

12 Bereitstellung von flächendeckenden Informationen zur Landnutzung mit Daten und Methoden der Fernerkundung

U. Steinhardt

UFZ Leipzig-Halle GmbH, Sektion Angewandte Landschaftsökologie, Leipzig

Abstract

Providing comprehensive land use information with data and methods of remote sensing

Human impacts – such as land use – influence the landscape balance (fluxes of water and material within landscapes) on a range of spatial scales, from the local to the global level. The realization of concepts for sustainable land use requires hierarchical approaches with solutions for all spatial scales. Data and methods of remote sensing represent an essential source of comprehensive land use information. There are many applications – especially in the field of agriculture in connection with agricultural policy measures.

Starting with a short overview of the physical and mathematical fundamentals of remote sensing, satellite data (Landsat 5 TM and IRS-1C LISS) from 1992, 1994 and 1997 are interpreted. The area of investigation is Querfurter Platte – a landscape used for intensive agriculture. The potentials and limitations of land use monitoring based on remote sensing data are discussed. In addition to standard classification techniques of multispectral data with respect to terrestrial reference data, an innovative approach to multitemporal classification is provided, which does without terrestrial data but integrates secondary spectral features (e.g. NDVI). The conditions of its application are discussed in detail. The overall results are classified data sets for all the three years with an accuracy down to the field scale. These results serve as input data for simulation models estimating the landscape water and matter balance.

Future work in interpreting remote sensing data is directed towards improving objectivity and classification accuracy. In this respect, context- or object-orientated approaches are a key concept. They include neighbouring effects as well as adjacent parameters. Whereas previously image analysis focused on structural parameters, future work will be done in the field to derive information concerning processes in the landscape from these structural parameters.

Zusammenfassung

Anthropogene Einflüsse wie Landnutzung und deren Änderung haben Auswirkungen auf landschaftliche Wasser- und Stoffflüsse vom lokalen bis zum globalen Maßstab. Die Realisierung von Konzepten der nachhaltigen Landnutzung erfordert deshalb die Integration landschaftshaushaltlicher Faktoren sowie die Anwendung hierarchische Lösungsansätze. Daten und Methoden der Fernerkundung stellen in diesem Zusammenhang eine wesentliche Quelle für flächendeckende Informationen zur Landnutzung dar. Insbesondere auf dem Agrarsektor ergeben sich vor dem Hintergrund agrarpolitischer Maßnahmen Anwendungsmöglichkeiten zum Monitoring der landwirtschaftlichen Bodennutzung.

Nach einem kurzen Abriss physikalischer und mathematischer Grundlagen der Fernerkundung werden anhand von Satellitendaten (Landsat 5 TM und IRS-1C LISS) aus den Jahren 1992, 1994 und 1997 für das intensiv landwirtschaftlich genutzte Gebiet der Querfurter Platte Potentiale und Limits eines Landnutzungsmonitorings mit Fernerkundungsdaten diskutiert. Neben Standardverfahren der Klassifikation multispektraler Datensätze auf der Basis terrestrischer Referenzdaten wird ein innovativer Ansatz zur multitemporalen Klassifikation ohne Referenzdaten unter Einbeziehung abgeleiteter Spektralmerkmale (NDVI) diskutiert. Anwendungsmöglichkeiten

und –grenzen dieses Verfahrens werden im Detail diskutiert. Im Ergebnis werden schlaggenaue Informationen zu Ackerkulturen für die drei genannten Jahre bereitgestellt, die als Inputdaten in nachfolgende Simulationsrechnungen zum landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushalt eingehen. Weiterführende Arbeiten auf dem Gebiet der Interpretation von Fernerkundungsdaten zielen auf eine weitere Objektivierung und verbesserte Güte der Klassifikation. Ein Schlüssel dazu stellen kontext- oder objektorientierte Verfahren, die Nachbarschaften und Umgebungsparameter einbeziehen, dar. Lag der Schwerpunkt der Auswertung bisher meist bei strukturellen Parametern, so werden zukünftig auch Untersuchungen dahingehend durchgeführt, wie man daraus Aussagen zu Prozeßgrößen und zum Prozeßgeschehen in der Landschaft ableiten kann.

12.2 Einleitung

Unter den derzeitigen Bedingungen schneller landschaftlicher Transformationsprozesse sind aktuelle Informationen zum Zustand der Erdoberfläche unverzichtbar. Dies gilt insbesondere für die intensiv genutzten Landschaften Mitteleuropas, die weiträumig durch Agrarflächen dominiert werden. Somit haben sich Daten und Methoden der Fernerkundung für die flächendeckende Erfassung der landwirtschaftlichen Bodennutzung als wesentliche Informationsquelle etabliert. Dies gilt auch für terrestrisch bereits gut untersuchte Gebiete, da durch Gleichzeitigkeit der Datenerhebung, Schnelligkeit, Genauigkeit und Kostengunst hier „traditionelle“ Methoden zum Teil ersetzt oder zumindest ergänzt werden können. Im besonderen Maße trifft das - neben der reinen Datenerfassung - für die Dokumentation, Bewertung und Aufarbeitung von aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Ergebnissen in Geographischen Informationssystemen zu.

Doch methodisch ist das Konzept von Fernerkundung nicht unproblematisch: Die Erdoberfläche wird von einem Sensor in kleine Einheiten (pixel) zerlegt, die nicht genau Einheiten der Oberfläche entsprechen sondern als Raster quer über alle Strukturen verlaufen. Anschließend werden diese Pixel dann ausgewertet und nachträglich zu möglichst sinnvollen Einheiten aggregiert. Trotz dieser Zurückhaltung und gewisser Limitierungen muss man davon ausgehen, dass nur Erdbeobachtungssysteme in der Lage sind, gesicherte flächendeckende Informationen mit ausreichend kurzem Wiederholungsrhythmus zu beschaffen. Methoden der Geoinformatik und der Fernerkundung erlauben in Kombination die Extraktion aktueller oder historischer Information und ein „Inwertsetzen“ mit anderen, raumbezogenen Daten. Erst dadurch sind wir in der Lage, Informationssysteme aufzubauen, um Veränderungen und Trends zu dokumentieren, Entwicklungen zu prognostizieren, zu simulieren und zu modellieren, Lösungsstrategien und Handlungsmaßnahmen abzuleiten und zum grundlegenden Verständnis der ablaufenden Prozesse beizutragen (HAEFNER 1999).

Im Agrarsektor ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten beispielsweise auf dem Gebiet der Ernteprognosen oder aber der Überwachung von Stilllegungsflächen. Auch auf wissenschaftlichem

Gebiet sind aktuelle flächendeckende Informationen zur Art der Landbedeckung unverzichtbar. So ist der Parameter Landnutzung eine Inputgröße für Modelle zum Wasser- und Stoffhaushalt von Landschaften. Vor diesem Hintergrund galt es, für das Gebiet der Querfurter Platte Informationen zur Landnutzung insbesondere der Art der landwirtschaftlichen Bodennutzung zu ermitteln und anderen Projektpartnern zur Verfügung zu stellen.

12.2 Material und Methoden

12.2.1 Fernerkundung und Fernerkundungsdaten

Fernerkundung ist eine spezifische geowissenschaftliche Arbeitsmethode, bei der ohne direkten Kontakt mit dem Aufnahmeobjekt – z.B. mittels Luft- oder Satellitenbildern – Informationen über Objekte der Erdoberfläche durch verschiedene Mess- und Aufnahmeverfahren gewonnen werden. Ermittelt werden Daten über Zustände und Prozesse an der Erd- und Wasseroberfläche sowie in der Atmosphäre. Fernerkundungsdaten sind in der Regel photographisch oder elektronisch gewonnene Abbildungen der Erdoberfläche in bestimmten elektromagnetischen Wellenbereichen. Das prinzipiell nutzbare elektromagnetische Wellenspektrum in atmosphärischen Fenstern (Spektalbereiche, in denen die Erdatmosphäre transparent ist) vom sichtbaren Licht (VIS, λ : 0,4-0,7 μm) über das nahe Infrarot (NIR, λ : 0,7–1,5 μm), das mittlere Infrarot (MIR, λ : 1,5-5 μm) und thermische Infrarot (TIR, λ : 5–20 μm) bis hin zum Mikrowellenbereich (MW, λ : ca. 1 cm bis einige dm).

Die technischen Eigenschaften der Aufnahmegерäte bestimmen die möglichen Anwendungen, deren wichtigste Auswertekriterien spektrale Signaturmerkmale einerseits sowie geometrische Merkmale andererseits sind. Geometrische Merkmale sind im wesentlichen Form- und Texturmerkmale. Texturen sind flächendeckende Muster, in denen Einzelobjekte nicht mehr signifikant aufgelöst sind (z.B. Baumkronenmuster von Wäldern, Siedlungen). Unter der spektralen Signatur eines Objektes versteht man demgegenüber die spektrale Verteilung der von ihm ausgehenden und vom Fernerkundungssensor messbaren elektromagnetischen Strahlung. Abb. 12.1 zeigt typische spektrale Signaturen von Vegetation, Gewässern und unbedeckten Böden im Spektralbereich 0,4-3 μm .

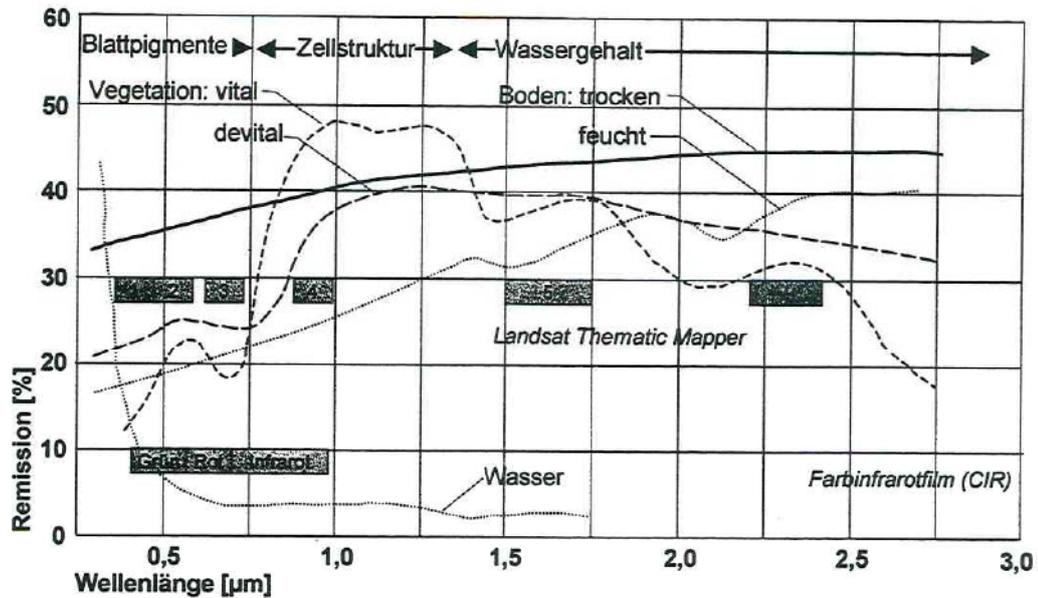


Abb. 12.1)

Spektralsignatur typischer Objekte der Erdoberfläche sowie Spektralbereiche, die mit dem System LANDSAT-TM und einem Farbinfrarotfilm (CIR) erfasst werden können

Für landwirtschaftliche Fragestellungen bilden spektrale Signaturen der Pflanzendecke und des Bodens ein wesentliches Auswertekriterium. Um Art und Zustand dieser Objekte aus den spektralen Signaturen interpretieren zu können, sind Kenntnisse darüber erforderlich, welche Objekteigenschaften in diesen spektralen Signaturen abgebildet werden. Für das System Pflanze–Boden sind das im wesentlichen die in Tab. 12.1 dargestellten stofflichen und morphologischen Merkmale. Primär wird die Spektralsignatur im Bereich 0,4–2,5 µm von der Architektur des Bestandes bestimmt. Je glatter und horizontaler die Blätter eines Bestandes sind und je größer der Blattflächenindex ist, desto höher ist im allgemeinen auch das Remissionsvermögen im visuellen Bereich sowie im nahen und mittleren Infrarot. Im Bereich 0,4–0,7 µm wird die einfallende Strahlung durch die Pigmente in den Blättern und im Spektralbereich 1,3–2,5 µm durch das in den Blättern enthaltene Wasser absorbiert. Die Tiefe der Absorptionsbanden hängt dabei von der architekturbedingten Remission sowie von Chlorophyll- und Wassergehalt ab. In Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad wird das entstehende Mischsignal im Bereich zwischen 0,4 und 0,7 µm vom Farbkontrast zwischen Boden und Pflanze und im Bereich zwischen 1,3 und 2,5 µm vom Kontrast zwischen dem Wassergehalt der Pflanzen und dem des Bodens bestimmt. Im thermischen Infrarot spiegelt sich die Temperatur des Pflanzenbestandes bzw. der Bodendecke wider, die sich aus der umgebenden Lufttemperatur, der Architektur des Bestandes, seiner Evapotranspiration, den Windverhältnissen sowie der Farbe und Struktur der Bodenoberfläche ergibt. Alle genannten Spektralmerkmale ändern sich im Laufe der phänologischen Entwicklung. Insofern stellen auch die temporären Veränderungen der Spektralsignatur ein wichtiges Auswertekriterium dar.

Tab. 12.1)

Stoffliche und morphologische Merkmale des Systems Pflanze – Boden, die sich in spektralen Signaturen abbilden (nach BARSCH & SÖLLNER 1987)

| | Merkmale | Bereich der spektralen Signatur |
|-----------------------------------|---|---|
| Pflanzendecke | Biomasse | VIS, NIR, MIR |
| | Pigmentgehalt, insbesondere Chlorophyll a und b | VIS: Absorptionsbanden bei 0,42; 0,45; 0,63-0,69 μm |
| | Wassergehalt | MIR: Absorptionsbanden bei 1,4; 1,9 und 2,8 μm |
| | Zellstruktur der Blätter, insbesondere Abhängigkeit vom Turgordruck | NIR-Remissionsplateau: 0,8 – 1,1 μm |
| | Architektur der Pflanze | VIS, NIR, MIR, TIR, Mikrowelle |
| | Bedeckungsgrad des Bodens | VIS, NIR, MIR |
| | Bestandsdichte | VIS, NIR, MIR |
| | Blattflächenindex (LAI) | NIR, MIR, TIR |
| | Wuchshöhe | VIS, MIR, TIR, Mikrowelle |
| | Phänologische Entwicklungsphase | VIS, NIR, MIR, TIR, Mikrowelle |
| Form und Orientierung der Blätter | NIR, MIR, Mikrowelle | |
| Boden | Gehalt an organischer Substanz | VIS |
| | Feuchte | MIR: Absorptionsbanden bei 1,4; 1,9 und 2,8 μm , TIR, Mikrowelle |
| | Körnung | VIS |
| | Oberflächenrauigkeit | TIR, Mikrowelle |

Die komplexen Zusammenhänge zwischen spektralen Signaturen und Merkmalen des Systems Boden–Pflanze lassen sich nur sehr schwer quantifizieren. Deshalb hilft man sich noch immer mit qualitativen Interpretationsregeln (SÖLLNER 2000):

- ⇒ Je vitaler eine Pflanze, desto niedriger ist die spektrale Strahlungsintensität in den Chlorophyll- und Wasserabsorptionsbanden sowie im thermischen Infrarot und desto höher ist die spektrale Strahlungsintensität im nahen Infrarot.
- ⇒ Bei Rückgang der biologischen Aktivität verringert sich zunächst der Chlorophyllgehalt und damit die Ausprägung der Absorptionsbande bei 0,6 μm . Das Remissionsplateau im nahen Infrarot bleibt so lange erhalten, bis auch die Zellstruktur zusammenbricht.
- ⇒ Je niedriger die von einem Pflanzenbestand im thermischen Infrarot emittierte Strahlungsintensität, desto höher sind die Transpirationsintensität und der Blattflächenindex und desto ausgeprägter ist die vertikale Gliederung des Pflanzenbestandes.
- ⇒ Mit steigendem Bedeckungsgrad sinkt die Strahlungsintensität im mittleren Infrarot nichtlinear zunehmend.

- ⇒ Böden sind durch relativ monotonen Verlauf der spektralen Signaturen gekennzeichnet. Mit steigendem Humus- und Wassergehalt nimmt die Remission im Bereich 0,4–2,5 μm gleichmäßig ab. Bei sehr hohem Wassergehalt prägen sich im mittleren Infrarot Absorptionsbanden aus.
- ⇒ Bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit und gleicher stofflicher Zusammensetzung des Bodens wird die emittierte Strahlungsintensität im thermischen Infrarot durch die Transpirationskühlung und damit durch die Größe der Bodenoberfläche bestimmt.
- ⇒ Eisen-Ionen im Bodensubstrat bewirken einen zu ihrer Menge proportionalen Abfall der Remission im Bereich zwischen 0,4 und 0,7 μm .

All diese spektralen Signaturen werden mit sogenannten Multispektralsensoren erfasst. Diese können als Multispektralkameras photographisch oder als Multispektralscanner elektronisch arbeiten. Beiden Systemen ist gemein, dass sie die von den Objekten remittierte Sonnenstrahlung oder die Temperaturstrahlung in mehreren Spektralkanälen registrieren. Tab. 12.2 enthält eine Zusammenstellung der technischen Eigenschaften einiger wichtiger Satellitensysteme.

Zielstellung der hier vorgestellten Arbeiten war ein Landnutzungsmonitoring auf der Querfurter Platte; die Verteilung von Landnutzungsformen unter besonderer Berücksichtigung ackerbaulicher Kulturen sollte für verschiedene Zeitschnitte ermittelt werden. Für den Untersuchungsraum standen folgende Aufnahmen zur Verfügung (Abb. 12.2):

- Landsat 5 TM vom 28.05.1992
- Landsat 5 TM vom 19.10.1992
- Landsat 5 TM vom 21.07.1994
- IRS-1C LISS vom 02.06.1997
- IRS-1C LISS vom 13.08.1997

Alle Datensätze wurden geometrisch transformiert und entzerrt, so dass eine möglichst weitgehende geometrische Identität mit topographischen Karten des Geländeausschnittes erreicht wurde. Entzerrungsgrundlage war die Topographische Karte TK25(N) Blatt Querfurt; die Entzerrung wurde mit einem Polynom 2. Ordnung durchgeführt. Jeder Bildpunkt kann nun einem Hoch- und Rechtswert der Gauß-Krüger-Koordinaten zugeordnet werden.

Tab. 12.2)

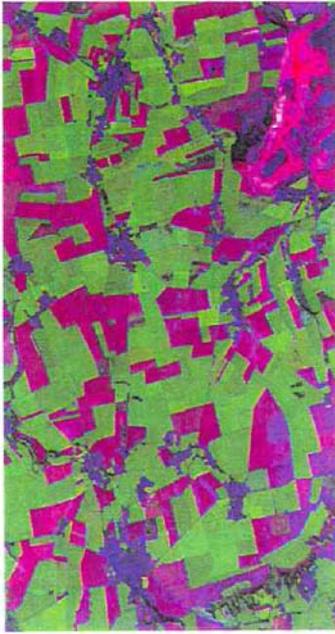
Technische Leistungsparameter einiger moderner Satelliten-Fernerkundungssysteme (nach LILLESAND & KIEFER 1999)

| System | Bahnhöhe [km] | I ¹ FOV/AV ¹⁾ [m x m] bzw. [m] | Schwadbreite [km] | Spektralkanäle [μm] | Wiederholrate [d] |
|-------------------------------|------------------|---|----------------------|--|----------------------|
| LANDSAT 5 TM LANDSAT 7 ETM | 705 | 30 x 30 120 x 120 15 x 15 ²⁾ | 185 | 0.45 - 0.52 0.52 - 0.60 0.63 - 0.69 0.76 - 0.90 1.55 - 1.75 2.08 - 2.35 10.40 - 12.50 0.45 - 0.90 ²⁾ | 16 |
| SPOT (Frankreich) | 830 | 20 x 20 10 x 10 | 60 | 0.50 - 0.59 0.61 - 0.68 0.79 - 0.89 0.51 - 0.73 | 26 |
| IRS-1C/D LISS (Indien) | 817 | 23.5 x 23.5 70.8 x 70.8 5.8 x 5.8 | 142 | 0.52 - 0.59 0.62 - 0.68 0.77 - 0.86 1.55 - 1.75 0.50 - 0.75 | 24 |

¹⁾ Instantaneous Field of View (IFOV) oder Ground resolution element; nicht identisch mit dem geometrischen Auflösungsvermögen (AV) eines Sensors. Es gilt: $AV \approx 1.5 \cdot IFOV$.

²⁾ nur bei LANDSAT 7

1992



Landsat 5-TM vom 28.05.1992

Datenquelle

Satellit und Sensor:
Bodenaufösung:
Spektrale Auflösöng:

Landsat 5-TM

30 m
450 – 520 nm (VIS blau)
520 – 600 nm (VIS grün)
630 – 690 nm (VIS rot)
760 – 900 nm (NIR)
1550 – 1750 nm (SWIR)
2080 – 2350 nm (MIR)
10400 – 12500 nm (TIR)

Datenbearbeitung

Entzerrung:
Entzerrungsgrundlage:
Resampling:
Farbkomposit:

Polynom 2. Ordnung

TK25(N)

Nearest Neighbour (25m/ 20m)

SWIR (rot) – NIR (grün) – VIS-rot (blau)

1994



Landsat 5-TM vom 21.07.1994

1997



IRS-1C LISS III vom 02.06.1997



IRS-1C LISS III vom 13.08.1997

IRS-1C LISS III

23 m
520-590 nm (VIS grün)
620 – 680 nm (VIS rot)
770 – 860 nm (NIR)
1550 – 1700 nm (SWIR)

Polynom 2. Ordnung

TK25(N)

Nearest Neighbour (25m/ 20m)

SWIR (rot) – NIR (grün) – VIS-rot (blau)

Abb. 12.2) Basisdaten zum Landnutzungsmonitoring auf der Querfurter Platte

12.2.2 Klassifikation von Fernerkundungsdaten

12.2.2.1 Multispektrale monotemporale Klassifikation – dargestellt am Beispiel der Landsat-TM-Szene vom 21.07.1994

Ziel der verschiedenen existierenden Klassifikationsverfahren ist die Überführung des Satellitenbildes in eine thematische Karte. Im konkreten Beispiel galt es, auf der Basis schlagspezifischer Nutzungsinformationen für das Kerngebiet Barnstädt eine Karte der Ackerkulturen zu den genannten Aufnahmetermen für die gesamte Querfurter Platte abzuleiten.

Das gebräuchlichste Konzept für diese Auswertung der Fernerkundungsdaten ist das der vektoriellen Erkennung. Dabei werden die einzelnen Merkmalskomponenten x_i eines Objektes in sogenannten Merkmalsvektoren mit $X=(x_1, x_2, \dots, x_D)$ dargestellt. Die Einzelmerkmale können dabei durch spektrale, texturale oder auch temporale Merkmale gebildet werden. Aufgrund der Vielzahl der wirkenden Einflussgrößen wird ein Objekt im Merkmalsraum nicht nur durch einen Punkt sondern durch eine Punktwolke beschrieben. Abb. 12.3 veranschaulicht diesen Sachverhalt anhand eines zweidimensionalen Merkmalsraumes mit den Merkmalskomponenten x_1 und x_2 . x_1 und x_2 sind dabei die in einem Rot- und einem NIR-Kanal gemessenen spektralen Strahldichten. Den Objektklassen k_1 und k_2 sind Merkmalswolken zugeordnet, die jeweils durch einen Repräsentanten r charakterisiert werden.

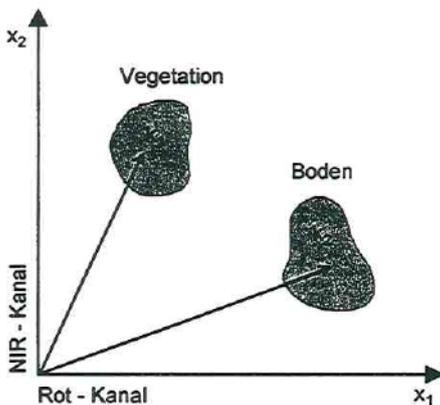


Abb. 12.3)
Beispielhafte Darstellung der spektralen Eigenschaften von Vegetation und Boden in einem zweidimensionalen Merkmalsraum mit den Spektralkomponenten Rot und NIR (nach SÖLLNER 2000)

Bei der Klassifizierung von Fernerkundungsdaten besteht die Aufgabe, eine Entscheidung über die Klassenzugehörigkeit der Merkmalsvektoren zu treffen. Dabei ist jeder Zufallsvektor zu analysieren und im Ergebnis formal einer Gruppe von bereits analysierten ähnlichen Vektoren oder einer vorgegebenen Musterklasse zuzuordnen. Entsprechend diesen beiden Herangehensweisen wird zwischen überwachter und unüberwachter Klassifizierung unterschieden.

Bei der überwachten Klassifizierung wird davon ausgegangen, dass die innerhalb eines Multispektralbildes auftretenden Objektarten bereits bekannt sind. Durch parallele Bodenerkundung wurden diese Objektarten für ausgewählte, dem Multispektralbild zuordenbare repräsentative Stichproben bestimmt. Diese terrestrischen Informationen wurden in Form einer digitalen Schlagkartei bereitgestellt. Sie setzen sich zusammen aus der Schlagtopographie des Barnstädter Kerngebietes (Schlagkarte im Gauß-Krüger-System) und taggenauen Angaben zur Flächennutzung. Somit konnten für die fünf verschiedenen Aufnahmetermine genaue Informationen zu den Ackerkulturen bereitgestellt werden (Abb. 12.4).

Bei der überwachten Klassifizierung liegt insofern eine klassifizierte Stichprobe für die zu bestimmenden Objektklassen vor. Aufgabe der überwachten Klassifizierung ist es dann, die flächenhafte Verteilung dieser Objektarten im Bild bzw. Datensatz zu bestimmen, d.h. es sind im allgemeinen Rayonierungsaufgaben für vorgegebene Objektarten mit dem Ziel zu lösen, das Ergebnis in einer Realnutzungskarte darzustellen. Für jeden Bildpunkt des Datensatzes ist eine Entscheidung über die Klassenzugehörigkeit zu treffen. Um dazu optimale Entscheidungen treffen zu können, wurden spezielle Klassifizierungsstrategien entwickelt, die in kommerzielle Bildverarbeitungssoftware implementiert sind: Bayes-Klassifikator, Maximum-Likelihood-Klassifikator, Minimum-Distance-Klassifikator sowie Box-Klassifikatoren (HILDEBRANDT 1996). In Tab. 12.3 ist der praktische Ablauf einer multispektralen Klassifikation dargestellt.

Tab. 12.3) Arbeitsschritte für die Klassifizierung einer Multispektralaufnahme (aus SÖLLNER 2000)

| Schritt | Arbeitsablauf |
|---------|--|
| 1 | Klärung der Aufgabenstellung und Bestimmung der zu klassifizierenden Objektklassen |
| 2 | Ausweisung mindestens einer repräsentativen Merkmalsfläche pro Objektklasse in der zu klassifizierenden Szene (je Musterklasse ca. 50 Pixel) |
| 3 | Schätzung der A-priori-Wahrscheinlichkeiten $P(k_i)$, im Zweifelsfall Vergabe von gleichen Wahrscheinlichkeiten für alle Objektklassen |
| 4 | Festlegung der theoretischen Verteilungsfunktionen für die Merkmalsvektoren X (z.B. Normalverteilung) |
| 5 | Belehrung des Klassifikators mit Hilfe der Musterklassen und Berechnung der Trennflächen im Merkmalsraum für alle Objektklassen (bei Annahme einer Normalverteilung der Merkmalsvektoren sind hierfür Mittelwertvektor und Kovarianzmatrix jeder Klasse ausreichend) |
| 6 | Klassifizierung des gesamten Bildes derart, daß der zu jedem Bildpunkt gehörende Merkmalsvektor X_{mn} daraufhin geprüft wird, in welche Objektklasse er im Merkmalsraum fällt. Diese Objektklasse wird dann dem Bildpunkt (m,n) zugewiesen. |

distance als Entscheidungsregel wählen. Die methodischen Unterschiede der dargestellten Varianten liegen in der unterschiedlichen Kombination von parametrischen und nichtparametrischen Regeln. Wie aber im Ergebnis deutlich wird, hat das im vorliegenden Beispiel kaum Einfluss auf das Gesamtergebnis. Bei allen drei Varianten werden allgemein bekannte Probleme bei der Klassifikation von Landnutzungsformen in agrarisch geprägten Räumen auf der Grundlage einer einzigen Szene offensichtlich:

- ⇒ Aufgrund der Ähnlichkeit des Remissionssignals ist es schwierig, unbegrünte Ackerflächen von offenen Tagebauflächen zu unterscheiden.
- ⇒ Aus dem gleichen Grund ist eine Differenzierung zwischen Grünland und begrüntem Ackerland ebenso problematisch.
- ⇒ Siedlungsgebiete sind aufgrund ihrer großen Heterogenität (mit unterschiedlichem Material versiegelte Flächen wie Gebäudedächer, Straßen und Wege wechseln auf engstem Raum mit mehr oder weniger begrünten Flächen wie Rasen, Bäume, Kleingärten) durch ein starkes Mischsignal gekennzeichnet. Erschwert wird die Klassifikation noch dadurch, daß dieser kleinräumige Wechsel sich meist innerhalb eines Pixels vollzieht, so daß die einzelnen Bildpunkte nicht eindeutig einer Klasse (z.B. versiegelte Flächen, Grünland, Wald) zugewiesen werden können. Die Klassifikation von Mischpixeln erweist sich dagegen noch immer als schwierig. Aufgrund dieser großen statistischen Störeinflüsse ist eine eindeutige Ausweisung von Siedlungsflächen sehr problematisch.
- ⇒ Aufgrund der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes im vorliegenden Beispiel nicht relevant ist das Problem der phänologischen Unterschiede innerhalb einer zu bearbeitenden Szene. Erstreckt sich der zu betrachtende Raum über große Distanzen (z.B. bei der Klassifikation einer gesamten Landsat TM-Szene mit einer Fläche von 185 x 185 km), ist mit teilweise sehr großen Differenzen in der phänologischen Entwicklung einzelner Ackerkulturen zu rechnen, die mit der vorgestellten Methodik einer monotemporalen multispektralen Klassifikation auf der Basis terrestrischer Referenzdaten nicht abgebildet werden können.

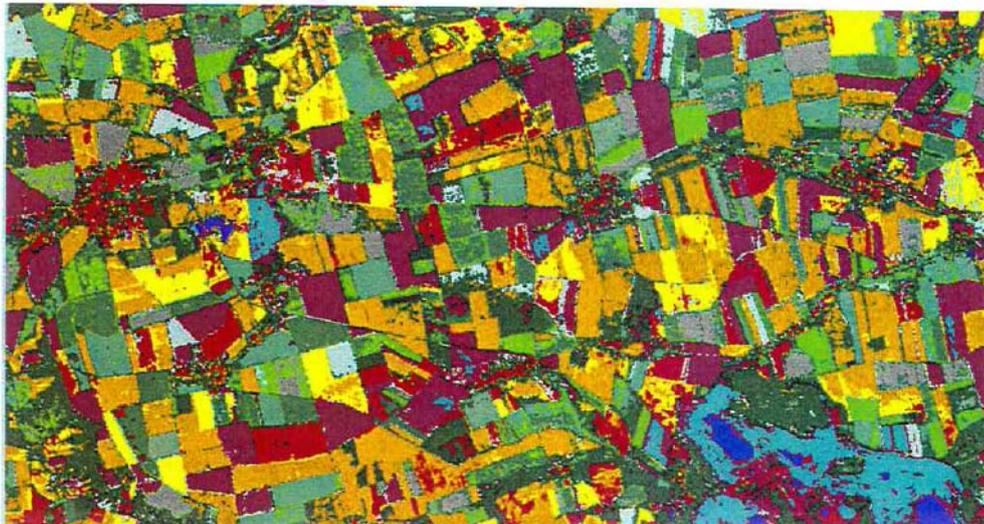
Zur Bewertung der Güte der Klassifizierung stehen verschieden statistische Kontrollverfahren bereit (BÄHR & VÖGTLE 1991). Tab. 12.4 gibt einen Überblick über die Klassifikationsgenauigkeit des Datensatzes vom 21.07.1994. Dazu werden in einer Matrix die Pixel der Referenzdaten mit den klassifizierten Pixeln dieser Flächen gegenübergestellt. Es wird nun quantitativ fassbar, was zuvor bereits die visuelle Interpretation ergab: Besonders problematisch sind die Klassen Grünland und Siedlung. Nur ca. 60 der als Grünland definierten Pixel zur Belehrung des Klassifikators wurden als Grünland klassifiziert. Die verbleibenden Pixel wurden den Klassen Silomais, Zuckerrüben oder

Sonnenblumen zugewiesen. Auch bei einigen Ackerkulturen erweist sich die Trennung als schwierig. So bestehen offensichtlich große Ähnlichkeiten im Spektralsignal von Sommergerste und Winterweizen oder Zuckerrüben und Sonnenblumen. Die Klassifikationsgenauigkeit von Tagebau- und Brachflächen erscheint unverhältnismäßig hoch. Dies demonstriert die Grenzen dieses Kontrollverfahrens: In die Güte werden lediglich die Flächen einbezogen, die zur Belehrung des Klassifikators herangezogen wurden (Signaturen, *AOI- area of interest*), nicht aber alle Bildpunkte. Die Information „Tagebau 100%“ bedeutet somit nichts anderes als: Alle Pixel, die als Tagebau definiert wurden, wurden auch als Tagebau klassifiziert und von den Referenzbildpunkten für andere Klassen wurde keiner als Tagebau definiert.

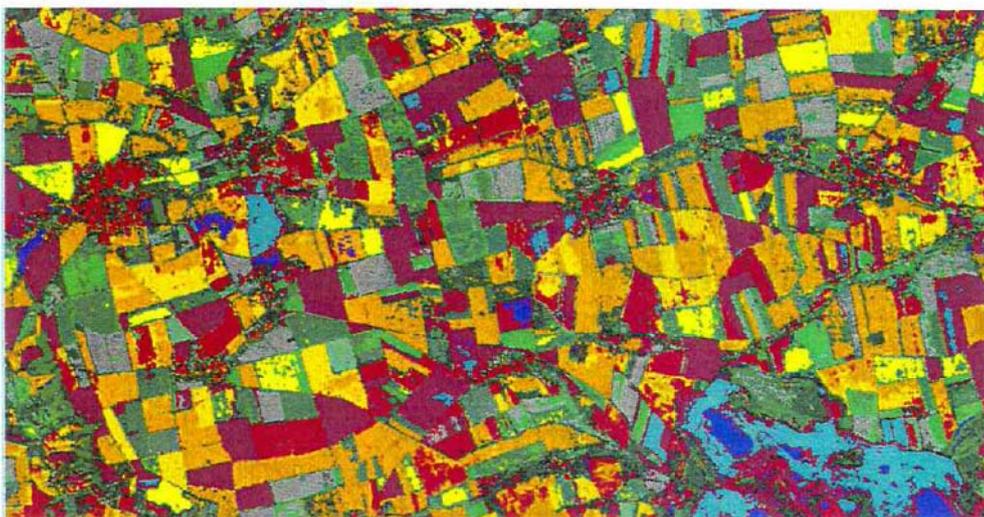
Im Mittel wird eine Gesamtgenauigkeit der Klassifikation von 88,29 % erreicht, was im Vergleich zu anderen Arbeiten (u.a. BANZHAF & KASPARIDUS 1998) als durchaus positiv zu bewerten ist. Im Hinblick auf die konkrete Aufgabenstellung kann dieses Resultat jedoch nicht befriedigen, so dass andere Lösungsansätzen gefragt sind, die sowohl die Objektivität der Klassifikation als auch deren Genauigkeit verbessern können.

Tab. 12.4) Klassifikationsgenauigkeit [%] für die überwachte Klassifikation der Landsat-TM-Szene vom 21.07.1994

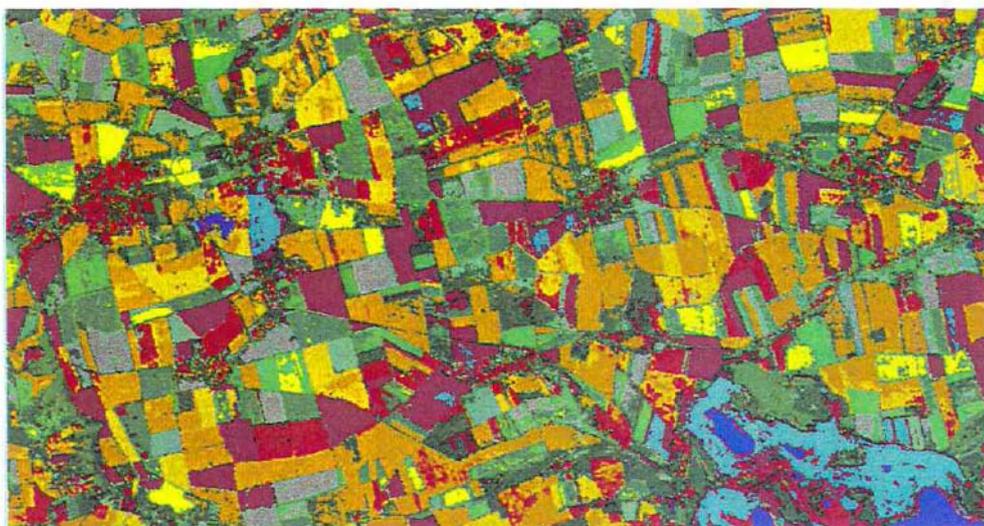
| Referenzdaten | | Winterweizen | Brache | Erbsen | Silomais | Zuckerrüben | Luzerne | Sommergerste | Sonnenblume | Wasser | Tagebau | Laubwald | Aufforstung | Grünland | Siedlung |
|----------------------|--------------|--------------|--------|--------|----------|-------------|---------|--------------|-------------|--------|---------|----------|-------------|----------|----------|
| Klassifizierte Daten | Winterweizen | 85,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 17,98 | 0,00 | 0,75 | 0,00 | 0,18 | 1,97 | 0,00 | 18,55 |
| | Brache | 0,00 | 98,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| | Erbsen | 0,15 | 0,76 | 96,84 | 0,09 | 0,22 | 0,30 | 1,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,64 | 0,00 | 1,17 |
| | Silomais | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 89,56 | 0,00 | 10,93 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 14,10 | 0,00 |
| | Zuckerrüben | 0,02 | 0,06 | 0,00 | 0,31 | 93,12 | 0,61 | 0,04 | 11,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,61 | 0,00 |
| | Luzerne | 9,77 | 0,00 | 0,00 | 7,24 | 0,15 | 86,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,97 | 0,00 | 4,59 | 0,00 |
| | Sommergerste | 0,00 | 0,02 | 0,36 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 76,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,62 | 0,00 | 1,95 |
| | Sonnenblume | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,22 | 0,00 | 0,00 | 85,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,61 | 0,00 |
| | Wasser | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 95,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Tagebau | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 |
| | Laubwald | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 0,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 92,14 | 5,57 | 0,00 | 0,00 |
| | Aufforstung | 1,91 | 0,14 | 1,17 | 0,94 | 1,04 | 1,21 | 1,43 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 6,71 | 89,59 | 0,00 | 2,93 |
| | Grünland | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 3,25 | 0,00 | 0,04 | 2,87 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,98 | 0,00 |
| | Siedlung | 2,21 | 0,43 | 1,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,89 | 0,00 | 3,33 | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 75,20 |



Variante 1: Non-Parametric Rule: None; Parametric Rule: Maximum Likelihood



Variante 2: Non Parametric Rule:Feature Space; Overlap Rule:Parametric; Unclassified Rule: Maximum Likelihood



Variante 3:
Non-Parametric Rule:Feature Space; Overlap Rule:Parametric; Unclassified Rule: Parametric
Parametric Rule: Maximum Likelihood

UFZ
UFZ Leipzig-Halle GmbH
Sektion ALOE
Dr. Uta Steinhardt

Abb.12.5 Landnutzung auf der Querfurter Platte 1994 (Ergebnisse verschiedener Varianten einer überwachten Klassifizierung der Landsat-TM-Szene vom 21.07.1994)
Maßstab 1:150.000

12.2.2.2 Multitemporale Klassifikation unter Einbeziehung abgeleiteter spektraler Signaturmerkmale – dargestellt am Beispiel der Datensätze aus dem Jahr 1997

Wie in Abschnitt 1 dargestellt, korrelieren die spektralen Eigenschaften der Bodenobjekte z.T. sehr stark mit stofflichen und phänomenologischen Merkmalen der Objekte. Durch Bildung geeigneter Kombinationen von Spektralkanälen lassen sich diese Korrelationen noch verbessern. Abgeleitete spektrale Merkmale sind darüber hinaus geeignet, die Objektivität und Vergleichbarkeit minimierenden Faktoren zu relativieren. Beispiele hierfür sind die sogenannten spektralen Vegetationsindizes. Sie basieren auf arithmetischen Kombinationen von Messwerten aus Spektralkanälen, in denen sich vitale Vegetation von unbewachsenen Oberflächen unterscheidet. Insbesondere bieten sich dafür Messwerte aus dem Rotbereich (Bereich der Chlorophyllabsorption der Pflanzen) und dem nahen Infrarotbereich (Remissionsmaximum der Pflanzen) an. Die einfachste Form eines Vegetationsindexes ist der Ratiovegetationsindex (RVI), bei dem die gemessene spektrale Strahldichte im nahen Infrarot zu der im Rotbereich ins Verhältnis gesetzt wird:

$$RVI = R_{NIR} / R_{rot}$$

Durch Normierung kann man diesen Index auf ein Intervall zwischen -1 und +1 beschränken:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{rot}) / (R_{NIR} + R_{rot})$$

NDVI steht dabei für Normalized Difference Vegetation Index. Dieser reagiert empfindlicher als RVI bei sehr geringer Vegetationsbedeckung des Bodens. Es ist eine der wenigen Möglichkeiten, die in Abschnitt 1 genannten Interpretationsregeln zu quantifizieren. Der NDVI fußt insbesondere auf Regel 2. Darüber hinaus wurden weitere Indizes entwickelt, bei denen der Rotbereich durch den Bereich des mittleren Infrarots ersetzt wurde:

$$NDI = (R_{NIR} - R_{MIR}) / (R_{NIR} + R_{MIR})$$

Dieser normierte Differenzindex (NDI) setzt eine Interpretationsregel um, die für die Wasserversorgung von Kiefernwäldern entwickelt wurde (BARSCH et al. 1994): Eine Verminderung des Wassergehaltes führt bei Kiefernwäldern zur Abschwächung der Wasserbanden im mittleren Infrarot und folglich zur Erhöhung der Remission. Zudem kann eine daraus resultierende Veränderung der Zellstruktur der Nadeln eine Verminderung der Remission im nahen Infrarot bewirken. Durch diese Regel lassen sich in Kiefernbeständen diejenigen Bestände abgrenzen, die unter Trockenstress leiden.

Bei der hier zu bearbeitenden Problemstellung bietet sich der NDVI als Zusatzinformation an, da es um wesentliches um die Interpretation unterschiedlicher biologischer Aktivitäten der verschiedenen

Landnutzungsformen geht. Die in Abschnitt 12.2.2.1 formulierten Probleme der Klassifikation eines monotemporalen Datensatzes lassen sich dann umgehen, wenn man für den zu untersuchenden Raum mehrere Datensätze aus einer Vegetationsperiode zur Verfügung hat. Das war für 1997 und 1992 der Fall. Dann nämlich ist es möglich, die unterschiedliche Phänologie der verschiedenen Objektklassen, d.h. die temporale Veränderung der Spektralmerkmale in die Klassifikation zu integrieren.

Der dabei beschrittene Weg soll anhand der IRS-1C-LISS-Datensatzes vom 02.06 und 13.08.1997 erläutert werden. Die Aufnahmetermine beider Szenen liegen im ersten und letzten Teil der Vegetationsperiode vieler Ackerkulturen. In einem ersten Schritt wurde für jeden dieser beiden Termine ein NDVI aus den Basisdaten berechnet, der die Informationen zur spektralen Vitalität der Vegetation komprimiert. Stark begrünte Flächen (Grünland, begrünte Ackerflächen) weisen demnach einen NDVI nahe +1 auf, schwach bzw. unbegrünte Flächen (unbegrünte Ackerflächen, Wasserflächen, Siedlungen, Tagebaue) im Gegensatz dazu einen NDVI nahe -1. Die unterschiedliche Entwicklung des Spektralverhaltens dieser beispielhaft genannten Objektklassen im Laufe der Vegetationsperiode wurde im nächsten Schritt berücksichtigt. Durch Differenzbildung aus den NDVI der beiden Termine entsteht ein Datensatz mit folgenden Eigenschaften:

- ⇒ Es gibt Teilflächen mit einem Differenzwert kleiner als Null. Dabei handelt es sich um Flächen mit abnehmender Begrünung, d.h. Ackerflächen, die mit Getreide bestellt waren, dessen biologische Aktivität in diesem Abschnitt der Vegetationsperiode rückgängig ist.
- ⇒ Es gibt Teilflächen mit einem Differenzwert größer als Null. Dabei handelt es sich um Flächen mit zunehmender Begrünung, d.h. Ackerflächen, die mit Kulturen bestellt waren, deren biologische Aktivität in diesem Abschnitt der Vegetationsperiode zunimmt (z.B. Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben).
- ⇒ Es gibt Teilflächen mit einem Differenzwert gleich Null. Dabei handelt es sich um Flächen ohne wesentliche Änderung der Begrünung in diesem Abschnitt der Vegetationsperiode (Grünland, Wald, Siedlung, Gewässer, Tagebaue)

Diese Dreiteilung wird auch in der deutlich ausgebildeten Dreigipfligkeit des Histogramms des Differenzenbildes deutlich (Abb. 12.6 oben links). Aufgrund dieses Histogramms ist eine unüberwachte Klassifizierung des Differenzenbildes durch Clusterung mit dem Minimum-Distance-Klassifikator möglich. Im Ergebnis entsteht ein Bild, das lediglich zwischen drei Klassen differenziert: Flächen mit abnehmender Begrünung, Flächen ohne Änderung der Begrünung und Flächen mit zunehmender Begrünung (Abb. 12.6 unten links). Mit Hilfe dieser drei Klassen werden im nächsten Schritt die Originaldatensätze maskiert (Abb. 12.7). Im Ergebnis dessen liegen Ausschnitte aus den Originaldatensätzen vor, in denen jeweils objektive Einschränkungen zum

Vorkommen und zur Varianz spezifischer Objektklassen möglich sind: Maske 1 (unveränderte Flächen) enthält keine Ackerflächen, Maske 2 (Flächen mit abnehmender Begrünung enthält mit großer Wahrscheinlichkeit Ackerflächen, die mit Getreide bestanden sind) und Maske 3 (Flächen mit zunehmender Begrünung) enthält Ackerflächen, die mit Hackfrüchten oder Mais bedeckt sind.

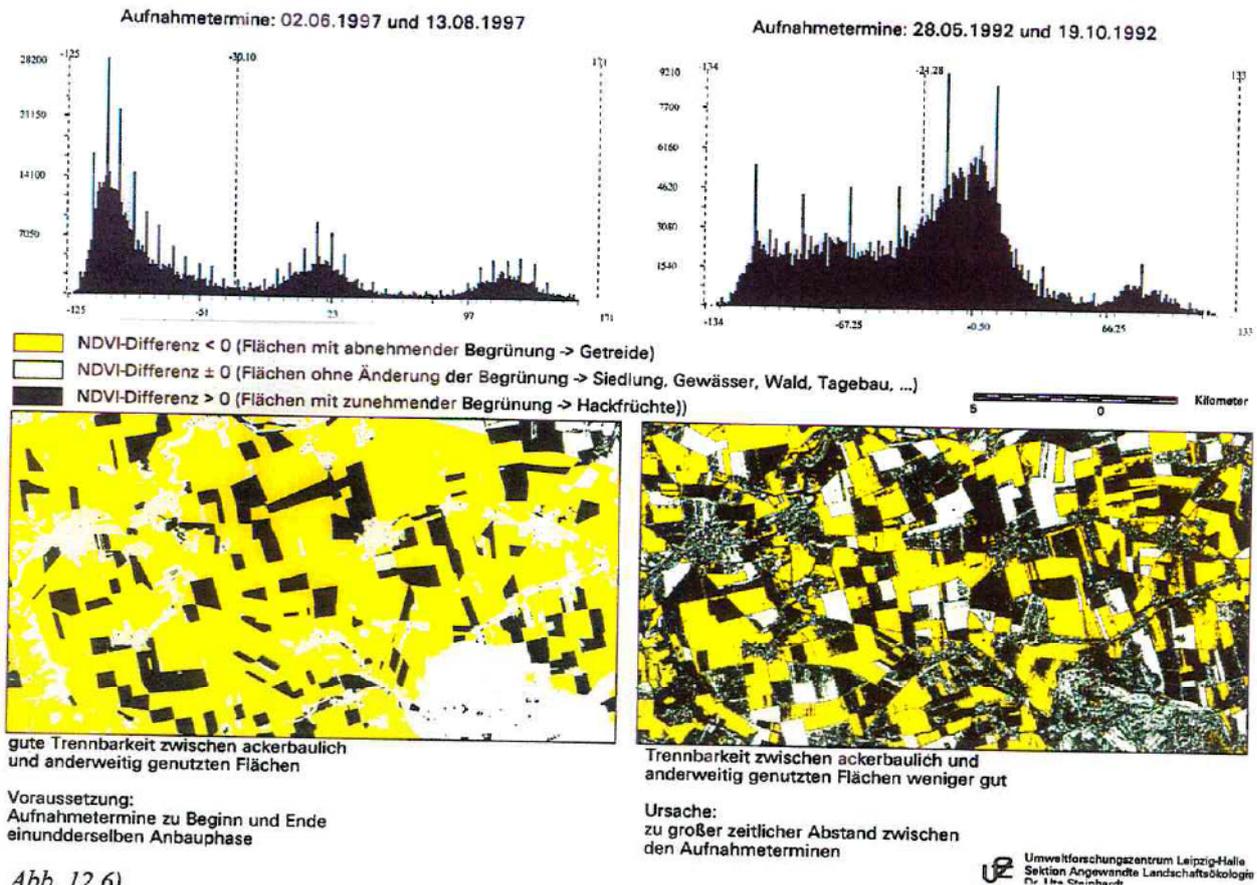
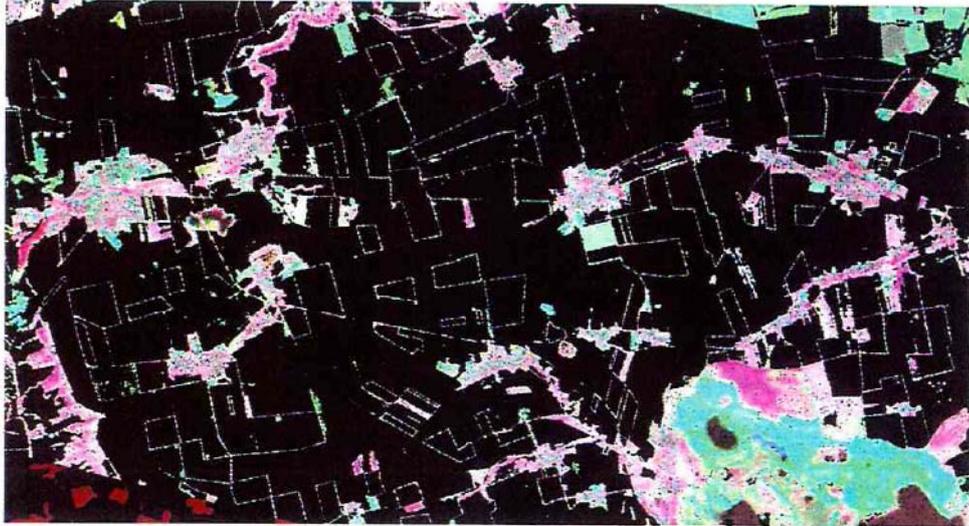


Abb. 12.6)

Anwendbarkeit multitemporaler Datensätze zur Klassifizierung der Flächennutzung

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Dr. Thea Steinhardt

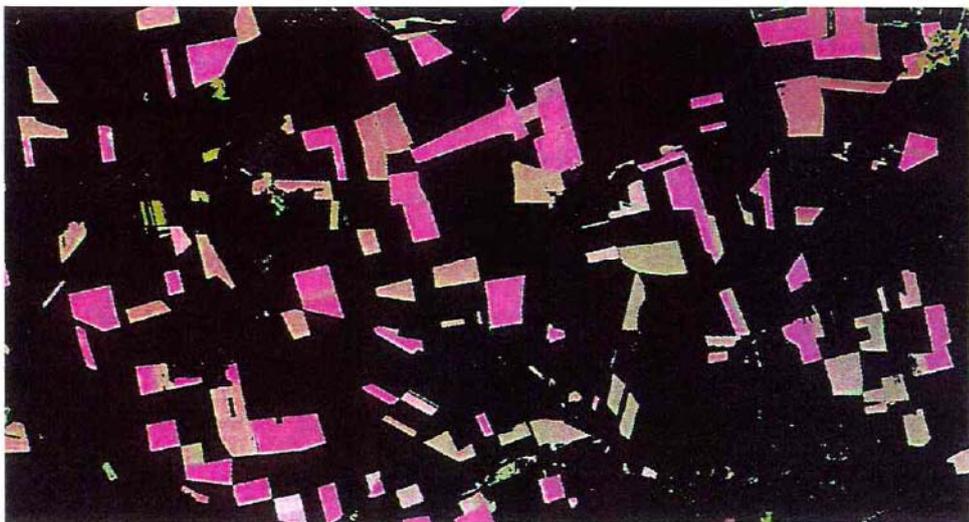
Nun schließt sich eine Klassifizierung innerhalb jeder dieser Masken an, die entweder überwacht (bei Vorhandensein entsprechender Referenzdaten) oder unüberwacht (ohne Referenzdaten) erfolgen kann. Innerhalb Maske 1 wird somit eine Trennung zwischen Siedlung, Wald, Grünland, Wasser und Tagebau möglich. Da sich (mit Ausnahme von Siedlung und Tagebau) diese Klassen deutlich in ihrem Spektralverhalten unterscheiden, liegt die erreichte Genauigkeit deutlich über der in Abschnitt 2.1. diskutierten. Innerhalb der Masken 2 und 3 kann dann bei entsprechenden Referenzdaten zwischen verschiedenen Getreiden bzw. Hackfrüchten differenziert werden. Liegen keine Referenzdaten vor, beschränkt sich die Klassifizierung der Ackerflächen entweder auf eine Unterscheidung zwischen Hackfrüchten und Getreide oder aber man versucht, innerhalb dieser Masken durch Clusterung weitere Unterschiede herauszufiltern, die anschließend entsprechend interpretiert werden müssen. Abb. 12.8 (unten) zeigt die auf diesem Weg abgeleitete Landnutzung im Untersuchungsraum für das Jahr 1997.



Maske 1: unveränderte Flächen



Maske 2: Flächen mit abnehmender Begrünung



Maske 3: Flächen mit zunehmender Begrünung

Abb. 12.7) Maskierter Originaldatensatz

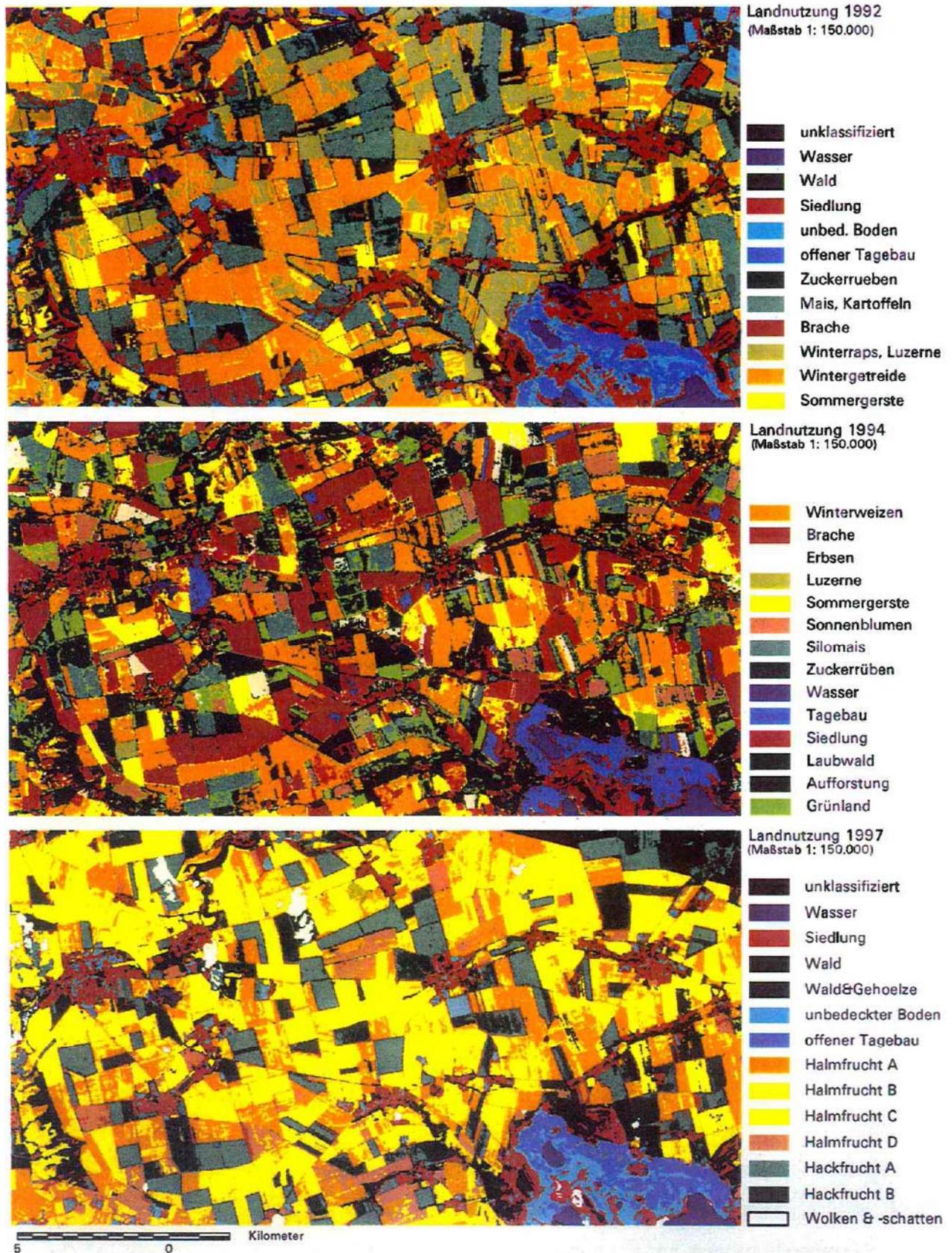


Abb. 12.8)
Landnutzung auf der Querfurter Platte 1992 - 1994 - 1997

Auch für 1992 standen zwei Aufnahmen aus einer Vegetationsperiode zur Verfügung (Landsat-TM vom 28.05. und 19.10.1992, vgl. Abb. 12.2). Versucht man, den eben skizzierten Ansatz auf diese Datengrundlage zu übertragen, so scheitert das Verfahren. Das Histogramm des Differenzenbildes (Abb. 12.6 oben rechts) zeigt bei weitem keine so klare Clusterung der Daten. Infolgedessen ist eine Maskierung der Originaldatensätze aufgrund des Differenzenbildes (Abb. 12.6 unten rechts) nicht sinnvoll. Grund dafür ist die Tatsache, dass die beiden Datensätze aus dem Jahr 1997 vom Beginn und Ende einundderselben Anbauphase stammen, was bei den Datensätzen aus 1992 nicht der Fall ist. Die Oktober-Szene gibt schon den Zustand nach der vollständigen Ernte aller Ackerkulturen des Jahres wider. Inzwischen sind schon erste Schritte der Bearbeitung für Zwischenfrüchte realisiert. Eine Trennbarkeit zwischen ackerbaulich und anderweitig genutzten Flächen ist demzufolge nicht mit der oben erläuterten Methodik machbar. Der zeitliche Abstand zwischen den beiden Aufnahmetermen ist zu groß, und es wurden Fruchtarten aus unterschiedlichen Vegetationsperioden bzw. anderen Fruchtfolgen aufgenommen.

Die Informationen für die Landnutzung 1992 muss auf dem gleichen – wenn auch weitaus weniger genauen und demzufolge befriedigenden Weg erfolgen wie in Abschnitt 12.2.1 beschrieben. Das Ergebnis ist in Abb.12.8 (oben) dargestellt.

12.3 Ergebnisse

Für den Untersuchungsraum der Querfurter Platte stehen nun – wenn auch auf unterschiedlichem methodischen Weg erzielte – Informationen zur Landnutzung zur Verfügung, welche die Grundlage eines Landnutzungsmonitoring bilden. Entsprechend der Aufgabenstellung konzentrieren sich die Aussagen im folgenden auf landwirtschaftliche Nutzflächen, insbesondere auf Ackerflächen. Abb. 12.9 gibt eine zusammenfassende Übersicht zur landwirtschaftlichen Flächennutzung auf der Querfurter Platte in den Jahren 1992, 1994 und 1997. Nach Generalisierung (Filterung zur Eliminierung von Einzelbildpunkten) und Vektorisierung wurden diese Informationen an die Arbeitsgruppe Modellierung übergeben, die sie als Basisinformation für Simulationen zum Wasser- und Stoffhaushalt nutzte (Modell CANDY; FRANKO et al. 1995; vgl. Kap. 11).

Aufgrund derartiger Zeitreihenuntersuchungen werden auch Aussagen zu Fruchtfolgen möglich. Abb. 12.10 zeigt getrennt für Getreide und Hackfrüchte ein schlaggenaues Monitoring der Kulturen. Damit wird es möglich, Flächen zu identifizieren, auf denen in aufeinanderfolgenden Jahren einunddieselben Kulturen angebaut werden. Auf der Basis der vorhandenen Datensätze ist dies nicht möglich, da die Aufnahmen nicht aus aufeinanderfolgenden Jahren stammen. Sie sind aber dazu geeignet, dieses Monitoring zu demonstrieren, wenn man vom konkreten Aufnahmedatum

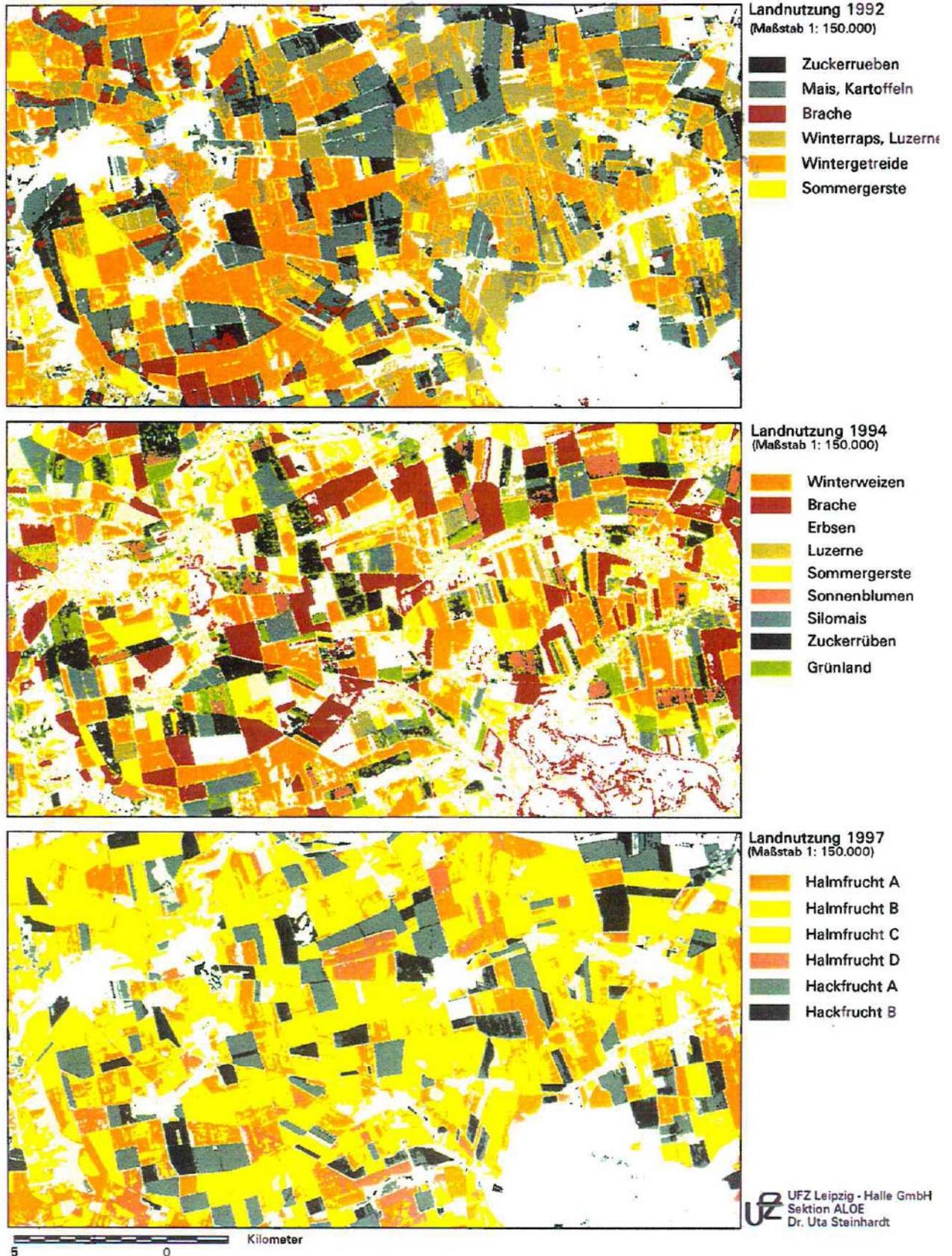
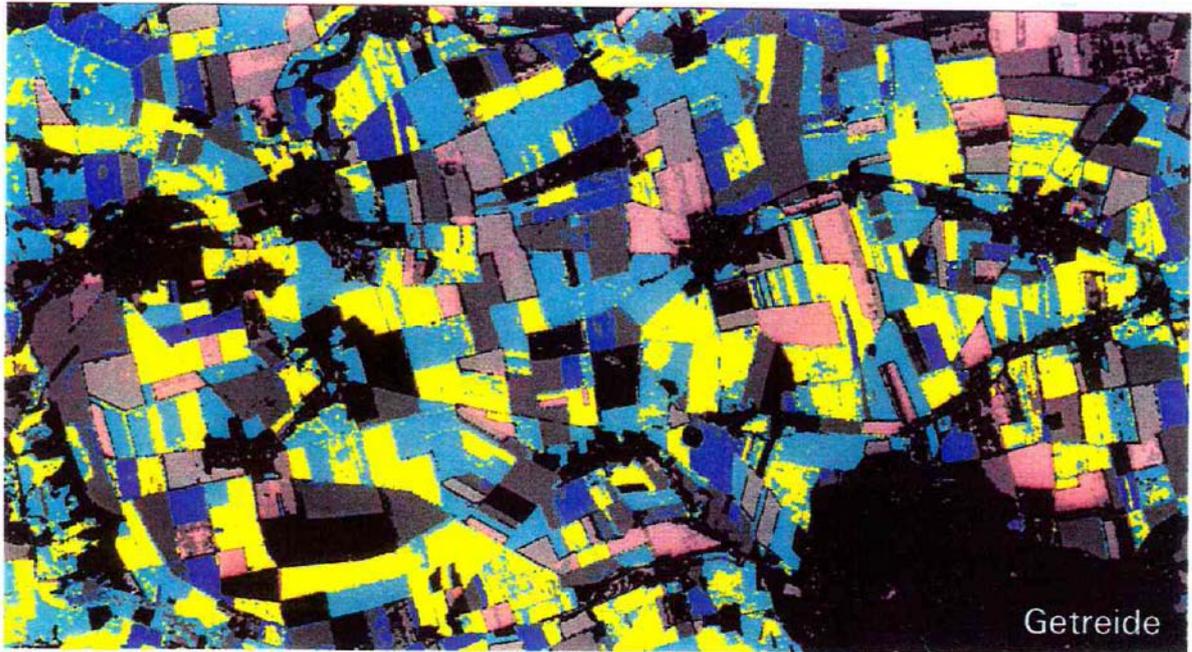


Abb. 12.9)
Landwirtschaftliche Flächennutzung auf der Querfurter Platte 1992- 1994 - 1997

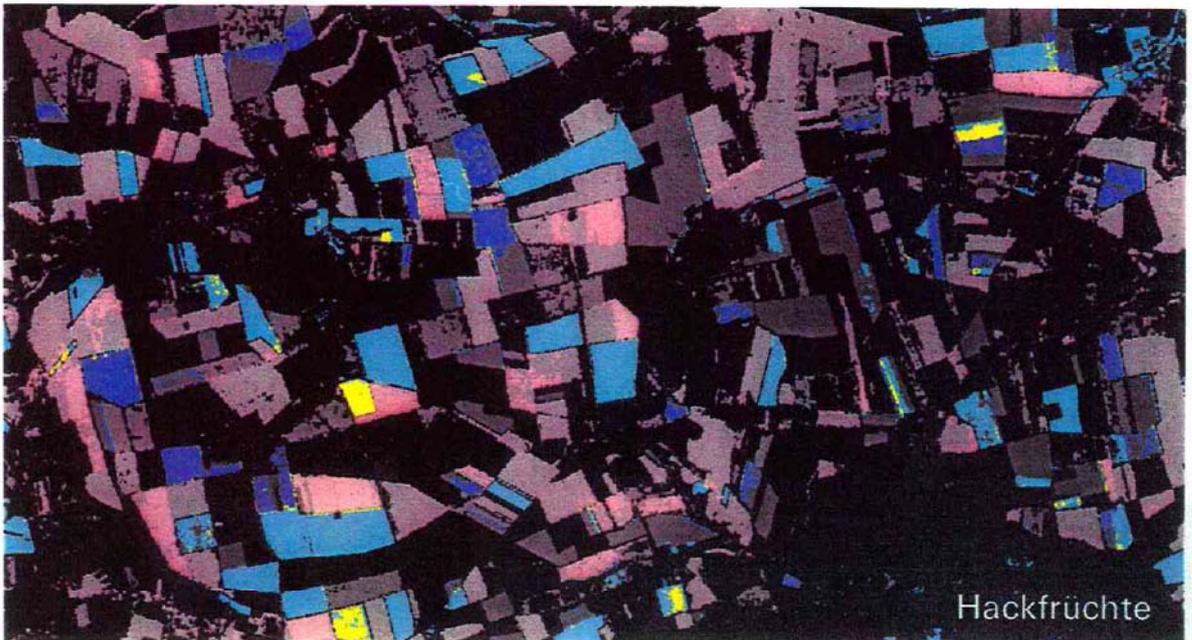
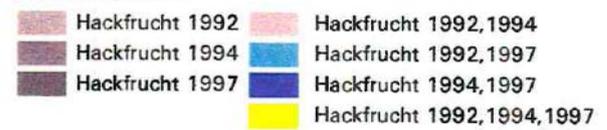


Getreide

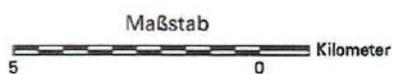
Getreideanbau



Hackfruchtanbau



Hackfrüchte



 Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Dr. Uta Steinhardt

Abb. 12.10)

Landwirtschaftliche Flächennutzung auf der Querfurter Platte; Anbau von Hackfrüchten 1992 - 1994 und 1997

absieht. Gesetzt den Fall, man verfügt über lückenlose Zeitreihen, so wird es möglich die Anbauverhältnisse kontinuierlich zu überwachen. Auf der Querfurter Platte beispielsweise wird deutlich, dass es eine große Anzahl von Ackerschlägen gibt, auf denen in jedem Jahr Getreide angebaut wurde. Bei Hackfrüchten ist das dagegen kaum der Fall.

12.4 Ausblick

Auch wenn die in Abschnitt 12.2.2. geschilderte Methodik der unüberwachten Bildsegmentierung unter Einbeziehung des NDVI bereits einen wesentlichen Schritt in Richtung Objektivierung und verbesserter Güte der Klassifikation darstellt, geht dieser Ansatz noch immer von einer pixelweisen Analyse der gemessenen Remissionswerte aus. Wertvolle Kontextinformationen bleiben dabei völlig ungenutzt: Erst durch seine Umgebung erhält ein bestimmter Wert eine Bedeutung. Wesentlich naheliegender als statistische Analysen ist die Annahme, dass ein zu betrachtendes Pixel zur gleichen Klasse wie sein Nachbarpixel gehört (BLASCHKE 2001). Die Grundeinheit, das Pixel, lässt sich zwar nicht ersetzen, dennoch erlauben kontextorientierte oder objektorientierte Verfahren, die Nachbarschaften und Umgebungsparameter einzubeziehen. Vor allem bei immer höher auflösenden Fernerkundungsdaten (Flugzeugscanner, „1-m-Satelliten“ etc.) werden zunehmend nachbarschafts- oder objektbezogene Verfahren benötigt. Durch diese Anforderungen werden die durch HAEFNER (1999) formulierten Perspektiven der Fernerkundung als Instrument der Landschaftsökologie unterstrichen:

- ⇒ Kontinuierliche Datenerfassung durch „etablierte“ Erdbeobachtungssatelliten ergänzt durch neue experimentelle Sensorsysteme, die Umfang und Genauigkeit der gewonnenen Informationen erweitern (hardware Aspekt)
- ⇒ Entwicklung neuer aufgabenspezifischer Algorithmen sowie Umsetzung experimentell erprobter Methoden in einfache, sichere, in der Praxis gut einsetzbare Verfahren (software Aspekt)

Ein diesbezüglich vielversprechender, innovativer Ansatz, der die Bilddaten in mehreren „Auflösungen“ (mittleren Objektgrößen) segmentiert und Beziehungen zwischen den Objekten und den Ebenen aufbaut, wird von BLASCHKE (2001) vorgestellt. Durch neue Methoden, die über multihierarchische Bildsegmentierung und wissensbasierte Klassifikationsverfahren menschliche Perzeptionsvorgänge nachahmen, sind ähnliche Ergebnisse wie in der traditionellen Luftbildinterpretation zu erzielen. Zahlreiche Anwendungen dürfte dieses multi-hierarchische Konzept in der Ökologie finden. Eine Landschaftsanalyse muss auch berücksichtigen, dass Organismen ihre Umgebung art- oder gar individenspezifisch wahrnehmen. Für den Schutz von

Arten und Lebensgemeinschaften ist es daher wichtig, Landschaft nicht anthropozentrisch, sondern organismusspezifisch zu begreifen.

Zur Analyse der raum-zeitlichen Dynamik der Landschaftsstruktur bietet sich auch die Integration sogenannter Landschaftsstrukturmaße an, die u.a. auf der Basis von Fernerkundungsdaten ermittelt werden können. Damit ergibt sich eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Klassifikationsergebnisse. Basierend auf dem „patch–corridor–matrix“ Konzept der nordamerikanischen Landschaftsökologie (FORMAN 1995, WIENS 1997) wurde eine Vielzahl von Indikatoren entwickelt, um Zustand und Veränderungen der Landschaft zu quantifizieren (McGARIGAL & MARKS 1994). Grundsätzlich wird dabei zwischen geometrie-basierten Ansätzen und Flächenstatistiken unterschieden. Auf der Grundlage von Korrelationen und Faktorenanalysen wird versucht, ein Set von Landschaftsstrukturmaßen zu entwickeln, das für das Landnutzungsmonitoring geeignet ist (HERZOG et. al 2001, LAUSCH & THULKE 2001).

Daneben hinaus gibt es Ansätze, durch Integration „sekundärer“ (Zusatz-)Informationen wie z.B. zum Boden oder zum Relief die Klassifikationsgenauigkeit signifikant zu verbessern. Erste Ansätze dazu, die Korrelationsanalysen zwischen Bodenparametern und den Grauwerten von Satellitenszenen basieren, werden beispielsweise bei MÖLLER (2000) vorgestellt. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht in der schlagübergreifenden Anwendbarkeit unabhängig von Vegetationsbedeckung und Substratheterogenität. Diese Erfahrungen fließen ein in eine Projekt zum Monitoring der Landnutzung und der landwirtschaftlichen Bodennutzung mittels Satellitenfernerkundung in Kombination mit Geographischen Informationssystemen für ein Flussgebiet mittlerer Größenordnung. Dabei wird insbesondere eine Unterscheidung der Flächennutzungsarten Acker- und Grünland sowie eine Differenzierung innerhalb der Flächennutzungsart Ackerland hinsichtlich Fruchtarten, Phänologie und Bedeckungsgrad angestrebt. Die Klassifikationsergebnisse sollen als Input-Daten für mesoskalige Modellierungen zum Wasser- und Stoffhaushalt dienen und dabei folgenden Ansprüchen genügen:

- ⇒ Nachvollziehbarkeit
- ⇒ Zielmaßstabsbezogene räumliche und inhaltliche Auflösung
- ⇒ Fähigkeit zur Veränderungsanalyse und Ableitung von Aussagen zum Prozessgeschehen in der Landschaft

Dabei wird der Ansatz verfolgt, digitale Fernerkundungs-, Boden-, Klima-, Relief- und Landnutzungsdaten über die Schritte Maskierung, Objektbildung und Attributierung zu Flächendatensätzen zu vereinigen. Die Anwendung von Auswertelgorithmen auf

Flächendatensätze führt zu Aussagen hinsichtlich der landwirtschaftlichen Bodennutzung und schließlich zum Prozessgeschehen in der Landschaft.

Ähnliche Ansätze werden auch auf dem Gebiet der Hydrologie verfolgt (HOCHSCHILD 2000): Hydrologische Fernerkundung bedeutet hochauflösende Kartierung hydrologischer Größen wie Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit, Interzeption, Schneedeckenverteilung oder Wasserqualität aus Fernerkundungsdaten. Diese aktuellen und flächendeckenden Datensätze bilden die Grundlage für verschiedene Niederschlags-Abflussmodelle. Landnutzungsdaten sind wegen der unterschiedlichen Abflusskoeffizienten der verschiedenen Oberflächenformen für die hydrologische Modellierung unerlässlich. Aus der spektralen Reflexion optischer Satellitendaten (Landsat TM, SPOT, IRS-1C), der Rückstreuung von aktiven Mikrowellensystemen (Bodenfeuchtigkeit) und der Kohärenz zwischen zwei interferometrischen Aufnahmen (Höhenveränderung durch Vegetationszuwachs oder Bodenbewirtschaftung) können Teile des Wasserkreislaufs in ihren hochgradig variablen Verteilungsmustern aufgenommen werden.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es nicht reicht, die in der Landschaft ablaufenden komplexen Prozesse und Veränderungen immer besser zu verstehen, zu erfassen und vorherzusagen, sondern dass wir die sich daraus ergebenden Konsequenzen auch wahrnehmen, die entsprechenden Entscheidungen treffen und die notwendigen Maßnahmen für sinnvolle, langfristige und nachhaltige Lösungen umsetzen. In diesem Sinne kommt der Fernerkundung als Teil der Geographischen Informationswissenschaft eine wesentliche Aufgabe von der ersten Informationserhebung bis zur Lösungsstrategie, Beschlussfassung und Handlungslösung zu (HAEFNER 1999).

UFZ-Bericht

**Einfluß der Landnutzung auf Landschaftshaushalt
und Biodiversität in agrarisch dominierten Räumen**

Heidrun Mühle (Hrsg.)

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH