UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

Nr. 2/1998

Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld

Ellen Banzhaf und Hans Dieter Kasperidus

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

ISSN 0948-9452

UFZ-Bericht Nr. 2/1998

Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld

Herausgeber

Ellen Banzhaf[1] und Hans Dieter Kasperidus[2]

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
[1] Sektion Angewandte Landschaftsökologie
[2] Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Leipzig, Januar 1998

Vorwort

Jürgen Breuste[1], Wolf Dieter Grossmann[2] und Holger Weiß[3]
[1] Projektbereichsleiter Urbane Landschaften
[2] Arbeitsgruppenleiter Regionale Zukunftsmodelle
[3] Projektbereichsleiter Industrie- und Bergbaufolgelandschaften

Die Umwelt des Menschen setzt sich zusammen aus einem äußerst komplexen natürlichen, immer stärker vernetzten und einem sozio-ökonomischen System, die sich beide höchst dynamisch verhalten. Diese dynamischen Aspekte erklären sich mehr aus der Natur der Wechselbeziehungen zwischen den Systemteilen als aus den Eigenschaften selbst. Die Landnutzung bildet die Schnittstelle zwischen dem natürlichen und dem sozio-ökonomischen System, da sie ökologische und sozio-ökonomische Aspekte integriert. Der Einsatz von Fernerkundung und geographischen Informationssystemen (GIS) zur Erfassung der Landnutzung und ihrer Veränderungen ist daher ein wichtiger Baustein im Verständnis von komplexen Systemzusammenhängen.

Die Anwendung der Fernerkundung hat auch in bereits terrestrisch relativ gut erforschten Ländern vielfach überraschende neue Ergebnisse erbracht. Insbesondere Gleichzeitigkeit der Datenerhebung, Schnelligkeit, einheitliche Genauigkeit und Kostengunst haben hier "traditionelle" technische Verfahren zum Teil ersetzt oder sinnvoll ergänzt. In besonderem Maße gilt dies neben der reinen Datenerfassung für die Dokumentation, Bewertung und Aufarbeitung von aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Ergebnissen in geographischen Informationssystemen.

Für die Erfassung und Auswertung schneller landschaftlicher Transformationsprozesse mit Fernerkundungsmethoden liegen inzwischen bereits differenzierte Erfahrungen vor. Damit bietet sich der Einsatz der Fernerkundung im Rahmen einer derartigen Transformation - wie sie sich gegenwärtig in den neuen Bundesländern vollzieht - geradezu an. Umnutzungsprozesse, Veränderungen von Landnutzung sowie Bodenbedeckung und völlig neue Perspektiven der Landschaftsentwicklung im Zuge des Umbaus altindustrialisierter Kulturlandschaften am Beispiel des Raumes Leipzig-Halle-Bitterfeld stehen deshalb im Mittelpunkt von Beiträgen aus der landschaftsbezogenen UFZ-Forschung.

Dieses seit Jahrzehnten übernutzte Gebiet mit den räumlich und kausal eng zusammenhängenden Landschaftstypen bietet für solche Untersuchungen ideale Voraussetzungen. Die Anwendung und Weiterentwicklung von Instrumentarien der Fernerkundung in Verbindung mit geographischen Informationssystemen haben sich hier als erfolgversprechende Forschungsrichtung erwiesen.

Die Dynamik dieser Landschaftsveränderungen verlangt intensive planerische Vorbereitung und Begleitung, die nur auf der Basis flächenbezogener Informationen effektiv sein kann. Voraussetzung hierfür ist nicht nur die Kenntnis des Zustandes von Landschaftsausschnitten zu bestimmten Zeitpunkten, sondern vor allem die Erfassung und Bewertung der natürlichen und anthropogen gesteuerten landschaftsverändernden Prozesse, um wissenschaftlich fundiert prognostische Aussagen zum Entwicklungspotential solcher Regionen treffen zu können.

Erst ein Verständnis dieser Prozesse gestattet die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur umweltverträglichen und ökonomisch vertretbaren Gestaltung sowie Nachnutzung derart überprägter Landschaftsteile.

Das UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH hat sich seit seiner Gründung im Jahre 1991 dieser Aufgabe gestellt und über die erreichten Ergebnisse laufend publiziert. Das vorliegende Heft der UFZ-Berichte konzentriert sich auf verschiedene Arbeiten zur Erfassung und Auswertung von Landnutzungsänderungen im vorgestellten Raum. Es wird versucht, ausgehend von landschaftsökologischen Positionen und methodischen Grundlagen zur Fernerkundung und zu geographischen Informationssystemen, unterschiedliche Themenbereiche zu behandeln. Die ausgewählten Arbeiten zur Landnutzung betreffen sowohl Agrarlandschaften (Raum zwischen Elbe und Mulde), als auch urbane Räume (Leipzig und Umland) und Bergbaufolgelandschaften (Südraum von Leipzig).

Bei der Untersuchung urbaner Landschaften stehen Ergebnisse visueller Luftbildinterpretation denen satellitenbildgestützter Fernerkundung gegenüber und dokumentieren die seit 1989 in wenigen Jahren verlaufenden Wandlungsprozesse der Flächennutzung. Brachfallen von Altindustrieflächen einerseits und gewerbliche Nutzung ehemals landwirtschaftlicher Standorte andererseits zeigen das auch landschaftsökologisch wirksame Spektrum dieses Prozesses. Die hier erzielten Forschungsergebnisse sind Teil eines umfangreichen Forschungsverbundes des Projektbereiches Urbane Landschaften des UFZ - Umwelt-forschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, der sich zusammen mit universitären Partnern mit der Erfassung von Konfliktbereichen des stadtökologischen Transformationsprozesses und der Erarbeitung von Konzepten zur umwelt- und sozialverträglichen Stadtentwicklung am Beispiel des Ballungsraums Leipzig-Halle seit 1992 befaßt.

Braunkohlenbergbau, Kohleveredelungs- und Chemieindustrie veränderten die Region in diesem Jahrhundert in einem unübersehbaren Maße. Vor allem der Abbau von Braunkohlen in Großtagebauen führte zu einer Inanspruchnahme von Flächen mit insgesamt nahezu 600 km^2 Ausdehnung. Sowohl die Rohstoffentnahme selbst als auch die anschließende Rekultivierung der Flächen führt zur Entwicklung physiographisch und ökologisch neuartiger, anthropogener Landschaften, die Gegenstand konkurrierender Nutzungsansprüche sind. Ansätze zur Ermittlung und Bewertung des ökologischen Entwicklungspotentials von Bergbaufolgeflächen der Region konnten anhand biotischer und abiotischer Parameter ermittelt werden, wobei die unterschiedlichsten Flächennutzungsformen (spontane und gepflanzte Sukzession, Landwirtschaft, Wasserflächen) differenziert wurden.

Der Schwerpunkt der einzelnen Beiträge liegt besonders im methodischen Vorgehen der Landnutzungserfassung und der Bilanzierung ihrer Veränderung. Dies wird es künftig gestatten, Methoden und Vorgehensweise auch bei der Analyse und Bewertung vergleichbarer Landschaften in anderen Teilen Mitteleuropas zu prüfen und gewonnene Erfahrungen zu übertragen. Dabei kommen die interessanten regionalbezogenen Einzelergebnisse keinesfalls zu kurz, sondern erlauben einen vielschichtigen Überblick über eine alte, differenziert genutzte mitteldeutsche Kulturlandschaft im Umbruch.

Perspektivisch bietet sich hier die Chance, Strategien und Verfahrenskombinationen zur multitemporalen Erfassung und Bewertung landschaftsverändernder Prozesse zu erarbeiten. Auf dieser Grundlage können Instrumentarien zur flächenhaften Überwachung und Qualitätssicherung optimierter landschaftsgestaltender Maßnahmen entwickelt werden.

Leipzig im Dezember 1997

Jürgen Breuste Wolf Dieter Grossmann Holger Weiß

Inhalt

1 Landschaftsökologie als angewandte Wissenschaft mit neuen Methoden und Technologien 1
Hans Dieter Kasperidus

2 Gebietsbeschreibung Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld 7
Rudolf Krönert & Ellen Banzhaf

3 Methodische Grundlagen 17

3.1 Fernerkundung 17
Ellen Banzhaf

3.1.1 Flächenhafte Erfassung von Strahlungstemperaturen aus Fernerkundungsdaten 29
Holger Lilienthal

3.1.2 Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen 37
Vera Heinz

3.2 Geographische Informationssysteme 53
Hans Dieter Kasperidus & Angela Lausch

4 Satellitenbildkarten zum Umweltmonitoring im landeskulturellen und regionalen Kontext 63

4.1 Die Satellitenbildkarte „Raum Leipzig-Halle" für das Jahr 1989 63
Martin Seger

4.2 Die Satellitenbildkarte „Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld" für das Jahr 1994 71
Ellen Banzhaf

5 Die Analyse der Landnutzung und ihrer Veränderungen in verschiedenen Maßstabsebenen 75

5.1 Ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen - Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf den Gebietswasserhaushalt 75
Rudolf Krönert & Steffi Erfurth

5.2 Der Raum zwischen Elbe und Mulde 83

5.2.1 Naturpark Dübener Heide und angrenzender Ballungsraum Bitterfeld - Dessau 83
Ellen Banzhaf & Carola Bühler-Natour

5.2.2 Ermittlung der landwirtschaftlichen Bodennutzung in der Dübener Heide anhand eines Landsat-5-TM Satellitenbildes 91
Carola Bühler-Natour

5.3 Leipzig und Umland 101

5.3.1 Landnutzungsänderungen in der Stadt und im Umland von Leipzig 101
Brigitte Usbeck

5.3.2 Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen in klassifizierten Landsat-5-TM Bildern am Beispiel der Stadtregion Leipzig 113
Vera Heinz

5.4 Der Südraum von Leipzig 127

5.4.1 Erfassung der Landnutzung im Südraum von Leipzig anhand einer Landsat-5-TM Aufnahme 127
Ellen Banzhaf

5.4.2 Landschaftsveränderungen im Gebiet des Tagebaus Espenhain 139
Uta Steinhardt, Angela Lausch, Felix Herzog, Eckhard Müller & Steffen Lehmann

5.4.3 Tagebau Borna-Ost / Bockwitz - Ansätze zur Durchführung eines Monitoring in der Bergbaufolgelandschaft 153
Angela Lausch & Annett Bellmann

6 Abkürzungen und Fachbegriffe 169

Autorenverzeichnis

Dr. Ellen Banzhaf, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Dipl.-Agr. Ing. Annett Bellmann, Universität Halle-Wittenberg. Diplomandin in der Sektion Angewandte Landschaftsökologie gemeinsam betreut mit der ökologischen Station Borna Birkenhain e.V. (1995/96)

Dipl.-Geogr. Carola Bühler-Natour, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie (bis 1/97)

Dipl.-Lehrerin Steffi Erfurt, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Dipl.-Geogr. Vera Heinz, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie (bis 12/97)

Dr. Felix Herzog, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Dipl.-Ing. Hans Dieter Kasperidus, UFZ, AG Regionale Zukunftsmodelle

Prof. Dr. Rudolf Krönert, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Dipl.-Biol. Angela Lausch, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Dipl.-Geogr. Holger Lilienthal, Universität Trier. Praktikum in der Sektion Angewandte Landschaftsökologie (1996)

Dr. Eckhard Müller, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Prof. Dr. Martin Seger, Universität Klagenfurt, Institut für Geographie

Dr. Uta Steinhardt, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Dipl.-Geogr. Brigitte Usbeck, UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie (bis 12/95)

Besonderer Dank für die Unterstützung bei der Fertigstellung des Manuskriptes gebührt Dipl.-Min. Christian Tonk.

1 Landschaftsökologie als angewandte Wissenschaft mit neuen Methoden und Technologien

Hans Dieter Kasperidus

Einleitung

Die Landschaftsökologie hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einer Disziplin entwickelt, die auf Basis wissenschaftlich fundierter ökologischer Erkenntnisse und mit Hilfe von integrativen interdisziplinären Methoden Basiskonzepte für ein umweltgerechtes Landnutzungsmanagement bereitstellt. Als ein weltweit etablierter wissenschaftlicher Zweig der Ökologie, der sich schwerpunktmäßig mit dem Menschen und der von ihm beeinflußten und gestalteten Landschaft befaßt (HABER, 1979; NAVEH & LIEBERMANN, 1994), liefert die Landschaftsökologie einen wesentlichen Beitrag zur Operationalisierung und Realisierung des globalen Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung (engl. sustainable development), wie es auf dem Umweltgipfel 1992 in Rio de Janeiro in der „Agenda 21" (UNITED NATIONS, 1992) formuliert und von der globalen Staatengemeinschaft als verpflichtend anerkannt wurde.

Um der großen Herausforderung des Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung gerecht zu werden, muß die Landschaftsökologie ihre Forschung und deren Ergebnisse so ausrichten, daß diese für Planungen und Prozesse der Entscheidungsfindung in der Umweltgestaltung des menschlichen Lebensraumes eingesetzt werden können. Die Landschaftsökologie darf sich daher nicht ausschließlich der Grundlagenforschung zur Wissenserweiterung widmen, sondern muß ebenso unter dem Aspekt der Landschaftsplanung, des Landschaftsdesigns, der Landschaftsentwicklung sowie des Landschafts-, Ressourcen- und Naturschutzes arbeiten (NAVEH & LIEBERMANN, 1994). Das Management des komplexen Mensch-Umwelt-Systems und der lebenserhaltenden Ressourcen kann dadurch wesentlich umweltverträglicher gestaltet werden als es bisher geschehen ist. Mitgetragen wird diese Bemühung durch die rasche Entwicklung der Computer- und Informationstechnologien, die zu einem stark verbreiteten Einsatz von geographischen Informationssystemen (GIS) und von Fernerkundungsmethoden zur Auswertung von Luft- und Satellitenbilddaten geführt hat. Die Bedeutung dieser Instrumentarien für das Landnutzungsmanagement hat in den letzten fünfzehn Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Diese Entwicklung wirkt sich auch auf die Fragestellungen, die Methoden und die Arbeitsrichtungen der Landschaftsökologie aus.

Das UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH stellt sich dieser Herausforderung der landschaftsökologischen Forschung und hat von Anfang an GIS und Fernerkundung in sein Instrumentarium aufgenommen.

Der integrative Ansatz der Landschaftsökologie

Der integrative Ansatz und der Einsatz moderner Technologien stand Pate bei der Entstehung der Landschaftsökologie. Der Geograph C. TROLL (1939) untersuchte mit Hilfe von Luftbildern die Interaktionen der abiotischen, biotischen und anthropogenen Faktoren wie Relief, Wasser, Boden, Vegetation und Landnutzung in einer ostafrikanischen Landschaft.

Er bezeichnete diesen integrierenden Ansatz als "Landschaftsökologie". Darunter verstand er einen Ansatz, der die Landschaft in ihrem „Totalcharakter" im Sinne Alexander von Humboldts untersuchte und die gesamte räumliche und visuelle Ganzheit des menschlichen Le-

bensraumes umfaßte. Landschaft ist danach eine integrierte holistisch zu erfassende Einheit und dementsprechend zu untersuchen. TROLL fordert daher die Zusammenarbeit von physischer Geographie und Ökologie, um jeweils die abiotischen und biotischen Komponenten einer Landschaft zusammenzuführen. Die moderne Landschaftsökologie wendet zur Strukturierung ihres Forschungsgegenstandes das Prinzip der hierarchisch organisierten Systemebenen an, wobei sie sich hauptsächlich mit den Ebenen der Lebensgemeinschaften, der Ökosysteme, der Landschaften und des Mensch-Umwelt-Systems befaßt (vgl. HABER, 1993; MILLER, 1996). In der Theorie der hierarchischen Organisation biologischer Systeme (ALLEN & STARR, 1982; O'NEILL et al., 1986) werden Landschaften als Struktureinheiten verstanden, die in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen organisiert sind. Alle diese Ebenen können sowohl unter ökologischen als auch unter sozio-ökonomischen Perspektiven untersucht werden, wobei sich die Ebenen durch unterschiedliche räumliche und zeitliche Dimensionen sowie durch verschiedene Fragestellungen unterscheiden. Vielfältige ökologische Faktoren und anthropogene Eingriffe beeinflussen die Struktur der Landschaft und die in ihr ablaufenden Prozesse. Dadurch werden zum Teil neue Strukturen geschaffen, die zu neuen ökologischen Prozeßmustern führen. Diese Eingriffe erfolgen auf allen räumlichen und zeitlichen Ebenen. Die europäische Landschaftsökologie hat diese theoretischen Ansätze immer mit praktischen Problemen der Landschaftsplanung und der Landespflege verknüpft. Sie versteht sich als wissenschaftliches Instrument dieser aus praktischer Lebensraumgestaltung und -planung resultierenden Anforderungen, die aufgrund der zunehmenden Eingriffe der Industriegesellschaft in die natürlichen Ressourcen, den Landschaftshaushalt und das Landschaftsbild immer wichtiger werden (BUCHWALD, 1963). Daher ist auch der Faktor Mensch ein wichtiger Untersuchungsgegenstand und nicht nur ein Störfaktor im wissenschaftlichen Experiment. LANGER (1973) betont besonders die anthropogenen Wirkungskräfte in einer Kulturlandschaft und die Notwendigkeit, sozio-kulturelle Aspekte in die Untersuchung von Landschaften zu integrieren. Sie beeinflussen nicht nur die natürlichen Geofaktoren, sondern bilden neue Landschaftseinheiten. Dieser Ansatz und die Verbindung naturwissenschaftlicher mit sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung ist heutzutage notwendiger denn je und wird als Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung des Konzeptes der Nachhaltigkeit angesehen, obwohl sich mit zunehmender Integration der anthropogenen Aspekte die Komplexität der zu bearbeitenden Probleme erhöht.

Landschaftsökologie und Fernerkundung

Parallel zur Entwicklung der konzeptionellen Basis der Landschaftsökologie wurde die Weiterentwicklung ihrer Werkzeuge und Methoden durch neue, computergestützte Technologien ermöglicht, um dem holistischen Charakter der Landschaftsökologie besser gerecht zu werden und um für die landschaftsökologischen Betrachtungsebenen aktuelle und genaue Raumdaten zu bekommen. Dabei spielt die Fernerkundung eine wichtige Rolle (NAVEH & LIEBERMANN, 1994). Fernerkundungsdaten, wie das Luft- oder Satellitenbild eines bestimmten Landschaftsausschnittes, geben zunächst einmal auf relativ einfache Weise einen Überblick über die Landschaftsstruktur und die Landnutzung eines Gebietsausschnittes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Geländeerhebungen ergänzen diese Informationen auf andere Weise, können jedoch nicht diesen Überblick verschaffen und sind in der Regel auch nicht von einer so hohen Informationsdichte. Fernerkundungsmethoden haben in praktisch allen Anwendungsbereichen der angewandten Landschaftsökologie Einzug gehalten (ALEXANDER et al., 1974) und wenn sie „nur" Kartierungsarbeiten im Gelände unterstützt haben.

Die Ergebnisse, die durch den Einsatz dieser Technologien erwartet werden können, hängen stark ab von der Auswahl der Plattformen und Sensoren, von der Auswahl der Techniken der Informationsverarbeitung sowie von der Informationsreduzierung für die Weiterverarbeitung in anderen Prozessen (vgl. Kap. 3.1, 3.2).

Für jede der landschaftsökologischen Betrachtungsebenen sind unterschiedliche Methoden adäquat, um räumliche Daten bereitzustellen. Für kleinräumige, großmaßstäbige Detailuntersuchungen sind meist Geländekartierungen notwendig, die durch Luftbilder unterstützt werden können. Mit zunehmend kleiner werdendem Maßstab ist eine Kartierung nicht mehr effizient durchzuführen. Hier wird der Einsatz der Fernerkundungsmethoden unabdingbar (vgl. Kap. 5.3).

Mit dem amerikanischen Satellitensystem Landsat Thematic Mapper (TM) und dem französischen Aufnahmesystem SPOT entstand die Voraussetzung für den Einsatz von Satellitenbilddaten in der Landschaftsökologie, da mit diesen Sensoren eine räumliche und zeitliche Auflösung erreicht wird, wie sie für großräumige landschaftsökologische Fragestellungen relevant ist. Diese beiden Sensoren werden hauptsächlich für mittel- bis kleinmaßstäbige Landnutzungserfassungen eingesetzt (vgl. Kap. 3.1).

Luftbilder, insbesondere Colorinfrarot-(CIR)-Luftbilder, haben sich für die Landnutzungs- und Biotoptypenkartierung im Maßstab 1:10000 bewährt. Dazu wurde eine bundesweit abgestimmte Kartieranleitung und Systematik der Landnutzungs- und Biotoptypen erarbeitet (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 1995). Die meisten Landesvermessungsämter stellen inzwischen flächendeckend Luftbildmaterial bereit. Da für viele Gebiete in Mitteleuropa auch Luftbilder aus früheren Zeiträumen vorliegen, lassen sich durch den Vergleich dieser historischen Bilder mit aktuellem Material Analysen der Landschaftsveränderung durchführen (vgl. Kap. 5.4.2).

Landschaftsökologie und geographische Informationssysteme

In den vergangenen Jahren hat die Landschaftsökologie auch von den Möglichkeiten der geographischen Informationssysteme profitiert (HERSPERGER, 1994). Erste Einsatzgebiete von GIS waren digitale Überlagerungen von thematischen Karten nach der Overlay-Methode, wie sie MCHARG (1969) für die manuelle Bearbeitung beschrieben hatte. Die auf Zeilendruckern ausgegebenen Ergebnisse der ersten rasterorientierten GIS-Anwendungen waren aus kartographischer Sicht schwer lesbar und im Vergleich zu den heutigen Möglichkeiten noch unbefriedigend. Jedoch konnten schon damals Verbesserungen in der komplexen Auswertung von Karteninformationen im Gegensatz zur manuellen Bearbeitung festgestellt werden (RHIND, 1977). Mit wenig Aufwand konnten für landschaftsplanerische Studien Auswertungen gemacht werden, die manuell nicht möglich waren (STEINITZ & BROWN, 1981).

GIS ist heutzutage in der landschaftsökologischen Forschung unverzichtbar, insbesondere für Erfassung, Analyse, Modellierung und Monitoring von räumlichen Phänomenen in der Landschaft. Die Auswertung statistischer Daten von politischen und administrativen Einheiten wird zunehmend mit Hilfe von GIS im räumlichen Zusammenhang dargestellt. Nach der Pionierphase der GIS-Technologie konzentrierten sich die Anwender auf die digitale Verarbeitung von bisher analog vorliegendem Kartenmaterial und die möglichst originale Wiedergabe durch Drucker oder Plotter. Oft wurde der Einsatz dieser Technologie nur an dieser technischen Leistungsfähigkeit der Hardware gemessen, wobei der Vorteil der Integrationsfähigkeit unterschiedlicher räumlicher Informationsebenen im Hintergrund stand. Heute, nachdem viele Darstellungsprobleme weitgehend gelöst sind, ist die Modellierung von landschaftsbezogenen

Sachverhalten ein wichtiges Gebiet der landschaftsökologischen GIS-Anwendung geworden. Die Simulation von Veränderungen in der Landschaft und die Bewertung der Konsequenzen von nicht vorhersehbaren Modifikationen ist besonders wertvoll. geographische Informationssysteme erlauben nicht nur die Analyse und Darstellung diskreter geographischer Informationen, sondern auch die Bearbeitung kontinuierlicher Informationen wie Höhen-, Grundwasserspiegel-, Niederschlags- oder Luftbelastungsdaten, die keine definierten Grenzen haben. Mit Höhendaten lassen sich dreidimensionale Geländemodelle generieren, die wiederum neue, funktionelle wie auch visuelle Auswertungen erlauben. Die Überlagerung von Satelliten- und Luftbildern mit Geländemodellen führen zu fotorealistischen, dreidimensionalen Landschaftsmodellen. Diese können mit Computerprogrammen animiert und in Form von Movies „durchflogen" werden (vgl. Kap. 5.4.3).

Fazit

Das Potential der Landschaftsökologie ist durch die Synergie der Methoden der Fernerkundung und geographischer Informationssysteme, landnutzungsorientierter Ökosystemtheorie und praktischer Anwendung sehr angewachsen (GOLLEY, 1993). Fernerkundungsdaten liefern aktuelle Informationen über die Landnutzung auch dann, wenn keine Karten vorliegen und wenn der Landschaftswandel eine so rasche räumliche und zeitliche Dynamik entwickelt, daß herkömmliche Kartierungsmethoden zu langwierig und zu kostspielig sind. Beide Situationen finden wir im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld. Zum einen ist dieser Raum innerhalb eines Jahrhunderts durch den Braunkohlentagebau in seiner Landschaftsstruktur, in seinem Landschaftshaushalt und Landschaftsbild in einer Dimension verändert worden, die bisher nur innerhalb geologischer Zeiträume erreicht wurde. Zum anderen haben mit der Wiedervereinigung beider deutschen Staaten diese anthropogenen Eingriffe in die Landschaft oftmals ein abruptes Ende gefunden oder werden nur noch in wenigen Teilbereichen fortgesetzt. Die Stilllegung vieler Tagebaue bringt neue Veränderungen in der Landschaft. Gleichzeitig setzte mit der Wiedervereinigung eine Umgestaltung des urbanen Raumes ein. Diese Landnutzungsveränderungen mit ihren positiven und negativen Effekten sind mit Fernerkundung als Werkzeug gut zu verfolgen. Ein anderer Aspekt ist die Umgestaltung des ländlichen Raumes durch die Umstrukturierung der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften der ehemaligen DDR zu privaten Betrieben. Daher hat die Fernerkundung im Gebiet der neuen Bundesländer und zur landschaftsökologischen Forschung in diesem Raum einen besonders hohen Stellenwert.

Literatur

ALLEN, T. F. H. & T. B. STARR (1982): Hierarchy - Perspectives for Ecological Complexity. - Chicago, University of Chicago Press.

ALEXANDER, L., et al. (1974): Remote Sensing Environmental and Geotechnical Applications. - The State of the Art. Engineering Bulletin 45. Dames and Moore, Los Angeles, California.

BUCHWALD, K. (1963): Die Industriegesellschaft und die Landschaft. - In: Beiträge z. Landespflege 1, S. 23-41.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (1995): Systematik der Biotoptypen- und Nutzungskartierung (Kartieranleitung). - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 45.

GOLLEY, F.B. (1993): Development of Landscape Ecology and its Relationship to Environmental Management. - In: Jensen, M. E. & P. S. Bourgeron (eds.): Eastside Forest Ecosystem Health Assessment. - Vol II, Ecosystem Management: Principles and Applications. U.S.D.A. Forest Service, Missoula, Montana, pp. 37-44.

HABER, W. (1979): Theoretische Anmerkungen zur ökologischen Planung. - In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 7, Freising-Weihenstephan, S. 19-30.

HABER, W. (1993): Von der ökologischen Theorie zur Umweltplanung. - Gaia 2, S. 96-106.

HERSPERGER, A. M. (1994): Landscape Ecology and its Potential Application to Planning. - In: Journal of Planning Literature, Vol. 9, No. 1, pp. 14-29.

LANGER, H. (1973): Ökologie der geosozialen Umwelt. - In: Landschaft und Stadt 5, S. 133 -140.

MCHARG, I. L. (1969): Design with Nature. - Doubleday/Natural History Press, New York.

MILLER, G. T. (1996): Living in the Environment - Principles, Connections, and Solutions. - In: 9th ed. Wadsworth, Belmont, p. 727.

NAVEH, Z. & A. S. LIEBERMANN (1994): Landscape Ecology: Theory and Application. - 2nd ed. Springer Verlag New York.

O'NEILL, R. V., D. L. DEANGELIS, J. B. WAIDE & T. F. H. ALLEN (1986): A Hierarchical Concept of Ecosystems. - Princeton Univ. Press, Princeton.

RHIND, D. (1977): Computer-aided Cartography. - In: Trans. Inst. Br. Geogrs (N.S.) 2, pp. 71-96.

STEINITZ, C. & H. J. BROWN (1981): A Computer Modelling Approach to Managing Urban Expansion. - In: Geoprocessing 1, S. 341-375.

TROLL, C. 1939: Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. - In: Z. Ges. f. Erdkunde. Berlin, S. 241-311.

UNITED NATIONS (1992): Agenda 21. - In: United Nations Secretariat in New York (eds.): Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, June 3-14, 1992.

2 Gebietsbeschreibung Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld

Rudolf Krönert & Ellen Banzhaf

Einleitung

Als Bezugseinheiten geographischer Betrachtungen dienen verschiedene Raumkategorien, die sich hinsichtlich ihres Inhalts und nach den Kriterien ihrer Abgrenzung voneinander unterscheiden. Es sind dies Naturräume, Landschaftsräume, Wirtschafts- und Lebensräume sowie administrative Einheiten. Jede dieser Raumkategorien ist hierarchisch aufgebaut. Eine Flächenkongruenz der unterschiedlichen Kategorien gibt es nicht, wenngleich zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den genannten Raumkategorien bestehen.

Die politisch-administrativen Einheiten kennzeichnen den Planungsträger. Die wirtschafts- und sozialräumlichen Einheiten stellen die anthropogenen Einflußgrößen dar, die über dem Landnutzungssystem der Landschaftsräume mit dem natürlichen System der Naturräume verbunden sind. Die eigentlichen Gestaltungsgrößen der Landschaftsplanung liegen dabei im Kopplungsbereich von Landnutzungssystem und Naturraum (vgl. BARSCH et al.,1994).

Eine solche Landschaftsstruktur liegt den regionalen Forschungsschwerpunkten der Sektion Angewandte Landschaftsökologie zugrunde, die sich mit den Teilräumen „Raum zwischen Elbe und Mulde", „Leipzig und Umland" und „Südraum von Leipzig" beschäftigen (vgl. Abb. 1). In den hier vorgestellten Arbeiten wird dabei besonderes Gewicht auf das Landnutzungssystem und ausgewählte Methoden zu dessen Erfassung gelegt.

Naturraum

Im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld können sieben deutlich voneinander verschiedene Naturraumeinheiten mittleren Ranges (Tab. 1) mit unterschiedlichen Potentialen und Reaktionen auf anthropogene Eingriffe differenziert werden.

Tab.1: Naturraumeinheiten in der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld mit Bodenformen und Niederschlägen

Naturraumeinheit	Bodenformen	Niederschläge
Hallesches Lößhügelland	Lößschwarzerden	weniger als 500 mm
Leipziger Land	Sandlöß-Parabraunerden Sandlöß-Staugleye	500 bis 650 mm
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	Sandlöß-Parabraunerden Sandlöß-Staugleye	500 bis 650 mm
Altenburg-Zeitzer Lößhügelland	Lößparabraunerden	600 bis 700 mm
Mittelsächsisches Lößhügelland	Lößparabraunerden	600 bis 700 mm
Dübener und Dahlener Heide	Sand-Braunerde-Podsol	550 bis 650 mm
Flußauen	Vega und Auengleye auf Aulehmen	i.d.R. etwas niederschlagsärmer als das Umland

Am besten lassen sich die Einheiten durch die in ihnen dominierenden Bodenformengesellschaften (vgl. HAASE & SCHMIDT, 1976/81) und die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen charakterisieren. Die Bodenformengesellschaften als ein ökologisches Hauptmerkmal sind zugleich Indikator für zahlreiche Naturraumpotentiale.

Landschaftsraum

Im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld gibt es sehr verschiedenartige *Landschaftstypen*, die sich nach der Landnutzung, nach ihrer Naturraumstruktur und damit auch nach ihren gesellschaftlichen Nutzungsfunktionen und in ihrem Landschaftshaushalt stark voneinander unterscheiden (KRÖNERT & ERFURT, 1994).

In den vorhandenen *Stadtlandschaften* hat sich wegen des hohen Anteils an baulich geprägten, versiegelten Flächen das für Städte typische ökologische Wirkungsgefüge herausgebildet, in dem Klima, Boden, Vegetation, etc. sich gegenüber dem Umland stark verändert zeigen. Die Flächennutzung in urbanen Landschaften wird fast ausschließlich von menschlichen Aktivitäten bestimmt (Wirtschafts-, Verkehrs-, Wohnfunktionen, etc.), die in der Vergangenheit aufgrund fehlender Schutzmaßnahmen zu einer extremen Umweltbelastung z.B. durch Luftverschmutzung führte. Insbesondere in der Großstadtregion Leipzig vollzieht sich zur Zeit eine außerordentlich rasche Zersiedelung des Umlandes durch Suburbanisation, hauptsächlich hervorgerufen durch die Trennung der Funktionen Arbeiten, Wohnen und Erholung und der damit verbundenen Verkehrszunahme (vgl. Kap. 5.3).

Die Region ist mitgeprägt von den *Bergbau-* und *Bergbaufolgelandschaften*. In allen Teilrevieren wurden insgesamt rund 600 km² für den Bergbau beansprucht. Die Kohlegewinnung ist von über 100 Mio. Tonnen auf weniger als 20 Mio. Tonnen zurückgegangen. Kohle wird nur noch in drei Tagebauen südlich von Leipzig gefördert (Zwenkau, Profen, Schleenhain). Da erst rund 50 % der Flächen rekultiviert sind, wird es in den nächsten Jahrzehnten weitere großräumige Landschaftsveränderungen mit Zunahme der Wasser- und Waldflächen geben. Rekultivierte Flächen, insbesondere Tagebaurestseen werden bereits intensiv für die Erholung genutzt (z.B. Bergwitzsee, Muldenstausee, Kulkwitzer See, Mondsee). Die Bergbaufolgelandschaften gewinnen somit zunehmend an Bedeutung für Erholung und Naturschutz. Neben dieser den Naturraum schonenden Funktionen werden an einzelnen Standorten allerdings auch Mülldeponien mit den nach sich ziehenden ökologischen Belastungen angelegt (vgl. Kap. 5.4).

Den größten Flächenanteil nehmen die ackerbaulich intensiv genutzten *Lößagrarlandschaften* ein. Durch Rückgang der Rinderhaltung auf die Hälfte des Produktionsniveaus vor der Wende und der Schweinehaltung auf ein Drittel, aber auch durch Rückgang der mineralischen Stickstoffdüngung hat die potentielle Grundwassergefährdung durch NO_3 abgenommen. Die Lößagrarlandschaften sind waldarm. Größere Waldungen gibt es nur in den Porphyrhügelländern und auf stauvergleyten Lößhügelländern. Diese spielen für die Erholungsnutzung und zum Teil für den Naturschutz eine große Rolle. Gleiches gilt für die Flußtäler mit ihren Restwaldungen an den Talhängen.

Einen eigenständigen Landschaftscharakter weist der Raum zwischen Elbe und unterer Mulde auf. Er gehört bereits zum pleistozänen Tiefland. Seinen Kern bilden die Dübener und die Dahlener Heide. Neben größeren Kiefernforsten und naturnahen Laub- bzw. Mischwaldresten bestimmen Agrarinseln und Agrarsäume in den Randbereichen zur Elbe hin und zwischen Dübener und Dahlener Heide das Landschaftsbild. Es ist vorgesehen, die Dübener Heide zu einem Naturpark mit sanftem Tourismus und Naturschutzfunktionen zu entwickeln. Es muß jedoch nachdrücklich betont werden, daß die land- und forstwirtschaftliche Produktion sowie die Grundwasserschutzfunktion unbedingt zu erhaltende und weiterzuentwickelnde Landschaftsfunktionen sind (vgl. Kap. 5.2).

Obwohl die *Auenlandschaften* der großen Täler von Elbe, Mulde, Weißer Elster und Saale vorwiegend landwirtschaftlich genutzt werden, besitzen sie aber noch naturnahe Auwaldreste,

die einem besonderen Schutz unterliegen und die für die Erholung sehr wichtig sind. Allerdings sind diese Wälder der Hartholzaue wegen der Grundwasserabsenkungen durch Flußregulationen und natürlicher Tiefenerosion der Flüsse gefährdet. Hervorzuheben ist das Biosphärenreservat Mittlere Elbe, in dem auch die traditionsreiche Dessau-Wörlitzer Kulturlandschaft liegt.

Wirtschafts- und Lebensraum

Als Wirtschafts- und Lebensraum ist die Region dem Ballungsgebiet Leipzig-Halle-Bitterfeld zuzurechnen. In diesem Ballungsgebiet, das länderübergreifend Teile von Sachsen und Sachsen-Anhalt umfaßt, werden *Ballungskern*, *Ballungsfeld* und *Ballungsrand* unterschieden, die sich durch unterschiedliche Einwohner-Beschäftigtendichten kennzeichnen lassen und zwischen denen vielfältige sozialräumliche und wirtschaftliche Verflechtungsbeziehungen bestehen. Nach der Verwaltungsgliederung, die bis Ende 1993 gültig war, gehörten innerhalb des Ballungsgebietes zum *Ballungskern* die Kreise Leipzig-Stadt, Leipzig-Land, Halle-Stadt, Saalkreis und Merseburg. Zum *Ballungsfeld* zählten die Kreise Borna, Altenburg, Zeitz, Hohenmölsen, Weißenfels (Südraum), Delitzsch, Bitterfeld, Gräfenhainichen, Dessau (Nordostraum) und zum *Ballungsrand* die Kreise Eilenburg, Wurzen, Grimma, Geithain, Torgau, Oschatz, Döbeln (Ostraum), Querfurt, Nebra, Naumburg, Eisleben, Sangerhausen, Hettstedt (Westraum), Bernburg, Köthen, Roßlau, Wittenberg (Nordraum). Die Gesamtfläche dieser Kreise beträgt 12 154 km². Das Ballungsgebiet wird von den Oberzentren Leipzig und Halle dominiert. Als weiteres Oberzentrum ist Dessau hinzugekommen. Die drei Oberzentren sind zugleich die Verwaltungszentren der gleichnamigen Regierungsbezirke. Nach der Kreisreform hat sich mit Beginn des Jahres 1994 die Zahl der Kreise deutlich vermindert. Die Mehrzahl der gegenwärtigen und der ehemaligen Kreisstädte fungieren als Mittelzentren.

Der Ballungsraum Leipzig - Halle - Bitterfeld und seine Randgebiete wiesen 1989 eine räumlich differenzierte Problemsituation auf (KRÖNERT, 1995). Diese resultierte einerseits aus der Industrie- und Bevölkerungsagglomeration, dem Braunkohlenbergbau in Kopplung mit Energieerzeugung und chemischer Großindustrie und andererseits einer intensiven Landwirtschaft in der mitteldeutschen trockenen und feuchten Lößprovinz, bei gleichzeitiger Waldarmut und Zurückdrängung naturnaher Ökotope. Infolge der Zerstörung alt- und mittelpleistozäner Schotterkörper durch den Braunkohlenbergbau sowie partieller Kontamination lokaler Grundwasservorräte erfolgt die Trinkwasserversorgung teilweise aus dem Rappbode-System des Harzes und durch Grundwasser aus der Elbaue bei Torgau.

Das Ballungsgebiet unterliegt seit 1989 nicht nur einem Strukturwandel, sondern einem Struktur*bruch*, der sich in der Landnutzung widerspiegelt. Die Zahl der in der Industrie Beschäftigten ist auf etwa 1/3, die der in der Landwirtschaft Beschäftigten auf etwa 1/4 gegenüber der Ausgangssituation im Jahre 1989 zurückgegangen. Die Zahl der in den Dienstleistungsbereichen Beschäftigten ist leicht gestiegen. Der Anteil der Arbeitslosen an der Wirtschaftsbevölkerung beträgt etwa 15 %. Ältere Bürger sind aus dem Berufsleben vorzeitig ausgeschieden, andere befinden sich in der Weiterbildung oder sind im Rahmen von Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen tätig. Diese Gruppe macht nochmals zusammen etwa 15 % der Wirtschaftsbevölkerung aus. Zwischen 1989 und 1992 hat die Einwohnerzahl in den Teilräumen zwischen 6 und 8 % abgenommen. Der Bevölkerungsrückgang hält jedoch bereits seit längerem an (vgl. Abb. 2).

Im Ballungsgebiet Leipzig-Halle-Bitterfeld haben sich die Umweltbelastungen zwischen 1989 und 1993 drastisch verändert und verschoben. Zugenommen hat der Verbrauch freier Land-

schaft durch Bebauung sowie verkehrsbedingte Luftbelastung. Abgenommen hat die Luftbelastung infolge der Verbrennung von Braunkohle. Die Gewässerbelastung und die Wahrscheinlichkeit der Grundwasserkontamination sind ebenfalls zurückgegangen. Die Kontamination der Aueböden mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen übersteigt im Bitterfelder Raum zum Teil die gültigen Grenzwerte. Die aktuelle Landschaftszerstörung durch Bergbau ist deutlich gesunken. Trotzdem bleiben aber mehrere Hundert Quadratkilometer zu rekultivieren. Der Abbau von Steinen und Erden ist in seiner flächenmäßigen Auswirkung auf die Landschaft nicht zu unterschätzen. Die Bodenerosion durch Wasser ist in den Lößhügelländern nach wie vor hoch. Auf den Löß- und Sandlößebenen ist dagegen die Erosion durch Wind bedeutsam.

Trotz aller Umweltbelastungen gibt es immer noch Teilräume mit einer hohen landschaftlichen Vielfalt. Zu nennen sind die Talauen von Mulde, Weißer Elster und Saale mit ihren Nebenflüssen, die Dahlener und Dübener Heide, kleine Teichlandschaften und aufgelassene Bergbauflächen. Neuerdings spielen auch Brachen eine wichtige Rolle für bedrohte Tier- und Pflanzenpopulationen. So hat sich die Biberpopulation an der Elbe gut erholt, die Fischpopulationen der Flüsse erholen sich rasch und in der Dübener Heide nisten Schwarzstorch und Adler.

Entwicklungsziele

Auf der 2. Regionalen Entwicklungskonferenz für den Großraum Halle-Leipzig am 18. September 1996 wurde von den regionalen Akteuren sowie den Ländern Sachsen und Sachsen-Anhalt die Übereinstimmung bekräftigt, schrittweise eine länderübergreifende regionale Entwicklungskonzeption zu erarbeiten und umzusetzen. Diese Konzeption bezieht sich vorrangig auf das Gebiet des Staatsvertrages zwischen den Bundesländern Sachsen-Anhalt und dem Freistaat Sachsen, zunehmend wird jedoch das gesamte Territorium der Regierungsbezirke Halle, Leipzig und Dessau einbezogen. Die Leitidee für die Entwicklung des Großraumes ist, eine international wettbewerbsfähige Metropolenregion von europäischer Bedeutung zu schaffen, die dem Prinzip der Nachhaltigkeit folgt. Es wurden zehn sektorale Leitbilder entworfen, zur Diskussion gestellt sowie ein Katalog prioritärer Projekte und Maßnahmen vorgestellt (REK HALLE-LEIPZIG, 1996). Die Bevölkerungspolitik strebt eine Stabilisierung der Bevölkerungszahl auf dem gegenwärtigen Niveau an. Leitziel für die wirtschaftliche Entwicklung ist ein innovationsgeprägter wirtschaftlicher Strukturwandlungs-prozeß. Im Einzelhandel soll die überproportional entstandene Einzelhandelsfläche im Außenbereich zugunsten der Innenstädte zurückgedrängt werden. Außerordentlich große Bedeutung wird dem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur beigemessen. Beim Ausweis von Gewerbeflächen und Wohnbauland sollen die Altstandorte und Wohnbaulandreserven in den Siedlungen stärker berücksichtigt werden. Die flächenbeanspruchenden Maßnahmen sollen sich insgesamt stärker am System der zentralen Orte orientieren. Bezüglich Naturschutz und Landschaftspflege wird festgeschrieben: „Der Raum Halle-Leipzig ist so zu entwickeln, daß die Regenerierbarkeit der Naturgüter Boden, Wasser, Luft, Tier- und Pflanzenwelt und die ökologischen Ausgleichsfunktionen nachhaltig gesichert und damit auch die Lebensbedingungen der hier wohnenden Menschen verbessert werden. Dazu ist flächendeckend eine umweltverträgliche Landnutzung anzustreben, die kulturlandschaftliche Vielfalt zu erhalten, neue Erholungsmöglichkeiten sind zu schaffen und eine weitere Zerschneidung bzw. Verringerung von Freiräumen zu vermeiden." (REK HALLE-LEIPZIG, 1996, S. 50). Bemerkenswert ist, daß die Leitbilder für den Landschaftsschutz differenziert für Landschaftstypen (Urbane Landschaften, Auenlandschaften, Bergbaufolgelandschaften usw.) formuliert werden. Die gegenwärtige Landwirtschaftsfläche

soll im wesentlichen erhalten bleiben, wobei landschaftsgliedernde Elemente, wie z.B. Baumreihen, Hecken, Feldgehölze, vermehrt in den Agrarraum eingebracht werden sollen. Die Waldfläche soll um 2 bis 3 % zunehmen. Bei der angestrebten Bewahrung der gegenwärtigen Kulturlandschaft wird es zahlreiche Veränderungen im einzelnen geben, wenn die Entwicklung den Leitbildern folgt. Ein Landschaftsmonitoring mit Hilfe der Geofernerkundung und GIS-Methoden wird die ablaufenden Veränderungen erfassen und analysieren, so daß Planungsinstanzen mit diesen Flächendaten kartographisch und statistisch aufbereitete Grundlagen erhalten, um gegebenenfalls steuernd einzugreifen zu können.

Literatur

BARSCH, H., G. SAUPE et al. (1994): Bewertung und Gestaltung der naturnahen Landschaft in Schutzgebieten, Erholungs- und Freizeitgebieten. - Teile 1, 2 und Anhang, Potsdam, Inst. f. Geographie und Geoökologie (Potsdamer Geographische Forschungen, Bd. 8).

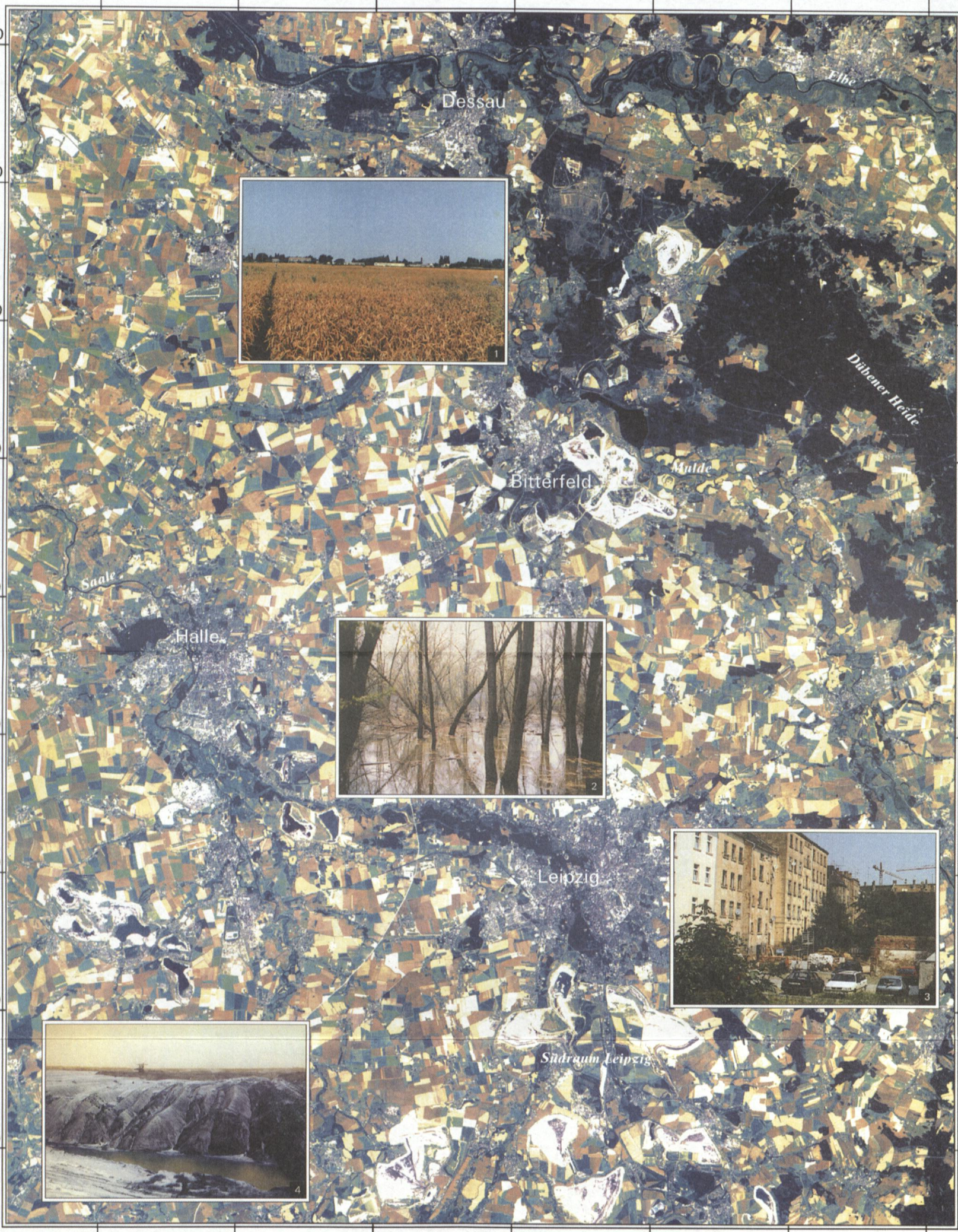
HAASE, G., R. SCHMIDT et al. (1976/1981): Böden. - In: Atlas Deutsche Demokratische Republik. Gotha, Blatt 6.

KRÖNERT, R., & S. ERFURTH (1994): Landnutzung und Landschaftsverbrauch im mitteldeutschen Ballungsgebiet. - In: Geographie u. Schule 16, H. 10, S. 18-24.

KRÖNERT, R. (1995): Ökologischer Handlungsbedarf zur Sicherung der Mehrfachnutzung im Raum Leipzig-Halle. - In: Zeitschr. f. d. Erdkundeunterricht, 47, H. 4, S. 163-173.

REK HALLE-LEIPZIG (1996): Regionale Entwicklungskonferenz für den Großraum Halle-Leipzig. Regionale Entwicklungskonzeption. Strategische Ausrichtung der Region. Regionales Maßnahmeprogramm. Diskussionsmaterial zur 2. Regionalen Entwicklungskonferenz für den Großraum Halle-Leipzig am 18. September 1996 (Stand August 1996). Erarbeitet durch die Raumordnungskommission Halle-Leipzig. Tagungsband.

Der Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld



Legende

Spektrale Information und Farbzuweisung
Kanal 1: blau
Kanal 2: grün
Kanal 3: rot

Fotografische Information
Foto 1: Agrarlandschaft auf der Querfurter Platte
Foto 2: Naturnahe Landschaft im Leipziger Auwald
Foto 3: Urbane Landschaft in Leipzig
Foto 4: Bergbaufolgelandschaft im Restloch Espenhain

Die Fotos wurden von den Projektbereichen zur Verfügung gestellt.

Datenquelle

Satellit: Landsat-5-TM
Aufnahmedatum: 21. 07. 1994
Bodenauflösung: 30 m x 30 m

Datenbearbeitung

Geometrische Entzerrung: 600 Paßpunkte, mit Polynom 2. Ordnung
Entzerrungsgrundlage: TK 25 (N), TK 50 (N)
Resampling: Nearest Neighbour / 25 m RMS: 0.9
Programm: ERDAS-Imagine 8.2

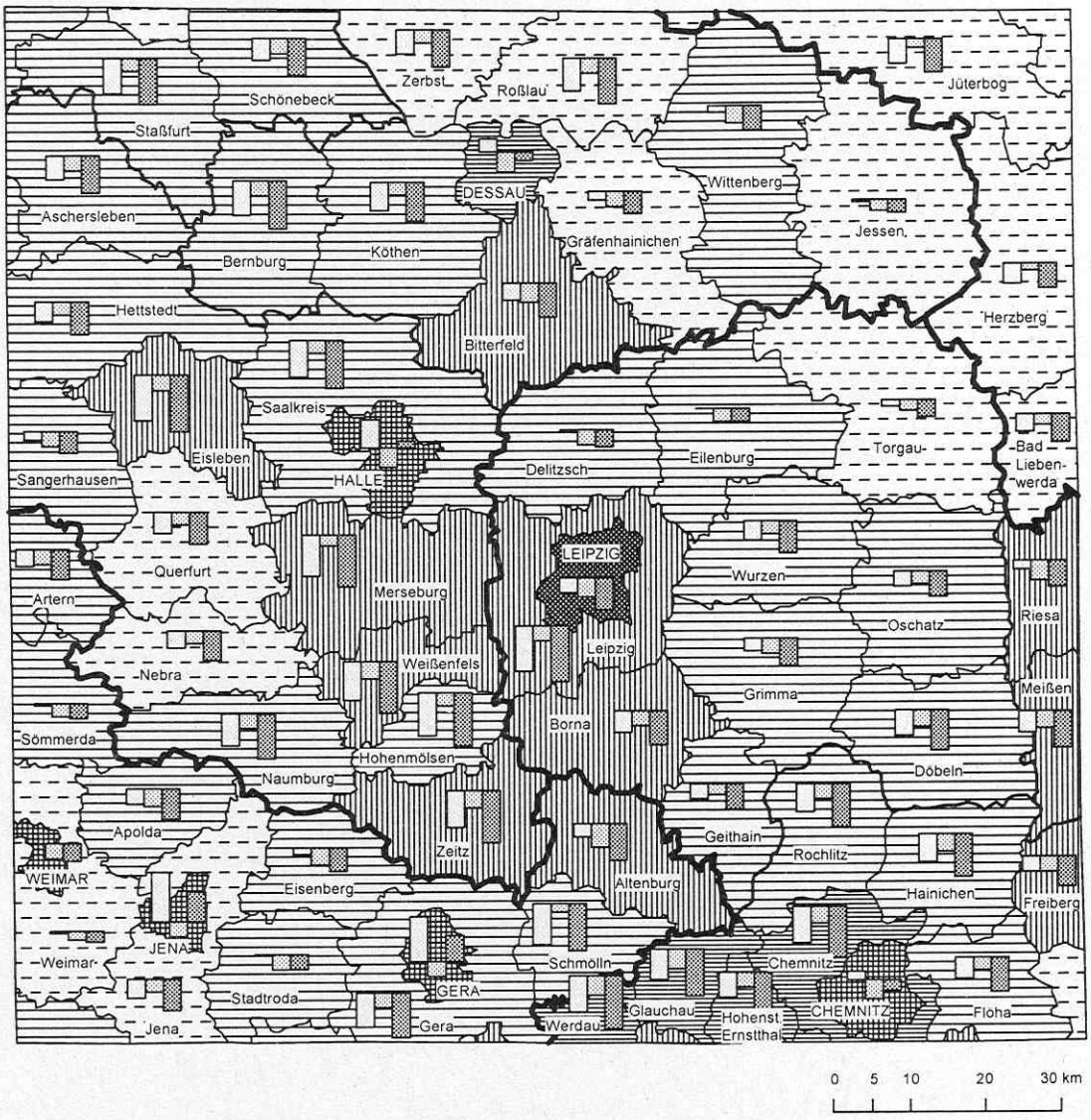
Maßstab 1 : 275 000

0 5 10 15 km

Bearbeitung: E. Banzhaf
Kartographie: R. Thamm

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Abb. 2: Bevölkerungsbewegung 1971-1992 [%]



Flächenschraffuren: Bevölkerungsdichte 1992

< 100	100 bis unter 200	200 bis unter 300	300 bis unter 1000	1000 bis unter 3000	≥ 3000

Säulendiagrammhöhe:
Bevölkerungsbewegung (in %)

Min: -28
Max: 23

1 5 10

Säulendiagramme:
Bevölkerungsbewegung (Zeitschnitte)

1971-1988
1989-1992
1971-1992

Namen:

LEIPZIG	Stadtkreis
Leipzig	Landkreis

Grenzen:

- Landesgrenze
- Regierungsbezirksgrenze
- Kreisgrenze

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Inhaltliche Bearbeitung: Prof. Dr. R. Krönert, K. Heinrich
Kartographische Bearbeitung: B. Breitfeld

Daten:
Statistische Jahrbücher der DDR
Statistische Jahrbücher der Länder

3 Methodische Grundlagen

3.1 Fernerkundung

Ellen Banzhaf

Menschliche Aktivitäten beeinflussen die Landoberfläche, die Wasserflächen und die Atmosphäre. Um die menschlichen Aktivitäten sorgfältig zu planen und ihre Auswirkungen zu kontrollieren ist es notwendig, die sich im komplexen Gefüge von Mensch und Naturhaushalt vollziehenden Veränderungen zu beobachten und besser zu verstehen. Dies alles erfordert Informationen über den Zustand und die Dynamik der Umwelt. Erhalten werden können diese Informationen, soweit sie den physikalischen Zustand der Umwelt beschreiben, vor allem durch Messungen vor Ort oder durch Fernerkundung. Letztere hat in den vergangenen Jahren durch ihren Raumbezug bei gleichzeitiger technischer und methodischer Weiterentwicklung an Bedeutung zugenommen.

Was ist Fernerkundung?

Fernerkundung ist die bildhafte Erfassung der Erdoberfläche. Sie umfaßt fotographisch dokumentierte Luftbilder sowie meist in digitaler Form gespeicherte Satellitenbilder. Während Aufnahme und Auswertung von Luftbildern bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts entwickelt wurden und seither ständig verbessert werden, etablierte sich die satellitengestützte Fernerkundung gerade in der zivilen Forschung erst in den letzten 20 bis 30 Jahren. Der Begriff Fernerkundung wurde aus dem Englischen abgeleitet, wo dieser als "Remote Sensing" um 1960 eingeführt wurde. In romanischen Sprachen wird diese Disziplin mit dem Begriff "Télédétection" (frz.) oder "Teledetección" (span.) beschrieben.

Fernerkundung ist also ein indirektes Beobachtungsverfahren, da es die Erdoberfläche mit Hilfe von Luft- und Satellitenbildern aus einer gewissen Distanz flächenhaft erfaßt und bildhaft wiedergibt. Erst ihre systematische Auswertung vermag das verfügbare Informationspotential voll zu erschließen und praktisch nutzbar zu machen. Dies setzt die Kenntnis darüber voraus, wie solche Bilder entstehen, welche Eigenschaften sie aufweisen und mit welchen Hilfsmitteln und Methoden die enthaltenen Informationen für verschiedene Anwendungen ausgewertet werden können.

Aufnahmesysteme im Überblick

Es steht eine breite Palette von Aufnahmesystemen mit unterschiedlicher räumlicher, spektraler und radiometrischer Auflösung zur Verfügung, die abhängig von der jeweiligen Fragestellung auszuwählen sind. Dabei bilden die bislang gewonnenen Satellitenbilder einen Ausschnitt der Erdoberfläche in einer mittelmaßstäbigen räumlichen Auflösung ab. Sie sind für ökologische Fragestellungen der chorischen Dimension geeignet, nicht aber für Aufgaben, die eine hohe geometrische Genauigkeit erfordern. Auch die spektrometrische Aufteilung ist für eine landschaftsökologische Auswertung von Bedeutung (vgl. Tab. 2), reicht die Unterschei-

dung der Wellenlängenbereiche doch vom sichtbaren Licht über fotographisches Infrarot, thermales Infrarot bis zu Mikrowellen.

Während „westliche" Länder hauptsächlich eine Weiterentwicklung digitaler Abtastsysteme vornahmen (USA: Landsat; Frankreich: Spot), konzentrierten sich die osteuropäischen Länder auf die Weiterentwicklung fotographischer (Multispektral-) Kameras (ehem. UdSSR: KFA 1000 und KVR 1000) (ALBERTZ 1991, S. 39/40). Bei digitalen Systemen besteht die Bildstruktur aus einem Raster, das aus Bildelementen (engl. picture elements ⇒ pixels) aufgebaut ist. Fotographisch erzeugte Bilder werden für die digitale Weiterverarbeitung eingescannt.

Die Aufnahmesysteme bestehen aus der Plattform (terrestrische, Flugzeug, Satellit sowie seiner Mission) und dem Sensor. So bezeichnet die Angabe Landsat-5-TM den Namen des Satelliten 'Landsat', die 5. Mission und den Sensor 'TM' (Thematic Mapper). Oft tragen Satelliten mehr als einen Sensor während ihrer Mission. So arbeitet auf Landsat-5 neben dem TM auch der MSS (Multi Spectral Scanner), wenngleich letzterer durch die radiometrische und geometrische Verbesserung des TM deutlich an Bedeutung verloren hat.

Seit Anfang der 90er Jahre sind eine Reihe neuentwickelter Satellitensysteme im Einsatz und liefern in regelmäßigen Abständen Daten. Für landschaftsökologische Fragestellungen zählen dazu der von der Europäern entwickelte Satellit ERS 1/2 (European Remote Sensing Satellite), der seit 1991 bzw. 1995 Aufnahmen liefert, und der 1992 gestartete japanische Satellit JERS (Japanese Earth Resources Satellite). Desweiteren haben die Kanadier 1995 den Satelliten RADARSAT erfolgreich in die Umlaufbahn gebracht, und der indische Satellit IRS (Indian Remote Sensing Satellite) übermittelt in seiner Mission 1C seit 1996 auch Daten über West- und Mitteleuropa. Derzeit ist der von der deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) entwickelte Modulare Optoelektronische Multispektrale Scanner (MOMS) für den Zeitraum von 18 Monaten in der Mission 2P Priroda auf der russischen Raumstation MIR installiert, bevor er als "Freeflyer" operationell eingesetzt werden kann. In den USA öffnet sich die Weltraum-Politik der Privatwirtschaft u.a. mit dem Programm Earth Watch, durch das ab 1997/98 hochauflösende Daten (1-4 m) verfügbar werden sollen (KRAMER 1996; JÜRGENS 1996). Tabelle 1 gibt eine Übersicht über operationell eingesetzte Fernerkundungssatelliten für die Umweltforschung und ihre Charakteristika.

Tab. 1: Auswahl aktueller, operationell eingesetzter Fernerkundungssatelliten (zusammengestellt aus KRAMER, 1996)

Land	Satellit - Sensor	Geometrische Auflösung	Datentypus	Repetitionsrate
USA	Landsat - TM	30 m	multispektral	16 Tage
USA	NOAA - AVHRR	1.1 km	elektro-optisch, infrarot	täglich
Frankreich	Spot - HRV	10 m	panchromatisch	26 Tage
Frankreich	Spot - HRV	20 m	multispektral	26 Tage
Europa	ERS 1/2 - AMI	30 m	Mikrowellen	3, 35 & 176 Tage
Kanada	Radarsat - SAR	ca. 4 - 8 m	Synthetischer Appertur Radar	24 Tage
Japan	JERS-1	18 m	SAR multispektral	44 Tage
Indien	IRS-1C - P2	5.8 m	panchromatisch	22 Tage
Indien	IRS-1C - LISS	23.5 m	multispektral	22 Tage

Elektromagnetische, räumliche und zeitliche Auflösung

Die Qualität der Bildverarbeitung und -auswertung hängt wesentlich von der Güte der räumlichen und elektromagnetischen Informationen ab. Alle Fernerkundungsdaten enthalten sowohl elektromagnetische (physikalische), räumliche als auch zeitliche Informationen. Die physikalische Information sagt zum einen etwas über die spektrale Zusammensetzung der empfangenen Strahlung aus, zum anderen bezieht sich die radiometrische Auflösung auf die Bildtiefe, d.h. die Anzahl diskreter Stufen, in die die gemessenen Signale unterteilt werden können (8 bit Bildtiefe = 256 Graustufen). Die spektrale Auflösung weist auf die Breiten der genutzten Spektralbereiche des Systems hin. Während die geometrische Auflösung ausdrückt, welchen räumlichen Bezug eine Information besitzt, gibt die zeitliche Auflösung Auskunft darüber, in welchem zeitlichen Zyklus ein Gebiet aufgezeichnet wird (vgl. WIENEKE 1988, S. 32).

Prinzipiell können im Weltraum wie im Luftraum die gleichen Aufnahmesysteme eingesetzt werden. Dennoch ergeben sich meist technisch bedingte Unterschiede zwischen Luft- und Satellitenbildern. In ihrer räumlichen Dimension sind Satellitenbilder großflächiger, bisher eher kleinmaßstäbiger und somit von geringerer räumlicher Auflösung als Luftbilder. Sie erlauben eher synoptische Einsichten in größere Räume und weisen eine relativ verminderte Detailerkennbarkeit auf. Hinsichtlich der zeitlichen Dimension werden Satellitenbilder eher periodisch wiederholt aufgenommen (Repetition) als einmalig oder in unregelmäßigen Zeitabständen durch gezielte Befliegungen. So liegt die Repetitionsrate beim US amerikanischen Satelliten Landsat - TM bei 16 Tagen, beim französischen Satelliten Spot beträgt die Rate 26 Tage. Luftbilder weisen demgegenüber eine geringere zeitliche Auflösung auf. Regelmäßige Wiederholungen sind eher selten, da sie sich als viel zu kosten- und aufwandsintensiv erweisen (vgl. Tab. 2).

Die Klima- und Wetter- Satelliten der US-amerikanischen NOAA Serie (National Oceanic and Atmospheric Administration) und das europäische meteorologische Programm METEOSAT liefern beispielsweise Bilder von hoher zeitlicher, jedoch geringer räumlicher Auflösung (vgl. Tab. 1). Sie sind damit für die Überwachung großräumiger, sich schnell ändernder Phänomene, wie dem Wettergeschehen, wichtig. Weltraumfotographie (z.B. Soyus-MKF 6, Kosmos-KFA 1000) wie auch Landsat und Spot liefern Bilder geringer zeitlicher, doch hoher räumlicher Auflösung. Diese Fernerkundungssysteme sind damit geeignet zur Untersuchung von großräumigen, langsamen Änderungen. Sehr schnell ablaufende Änderungen, die auch eine hohe räumliche Auflösung erfordern, müssen bisher durch eine kosten-, planungs- und auswertungsintensive Luftbefliegung mit mehrfacher Wiederholung erfaßt werden. Bisher ist es nicht gelungen, ein Weltraum-Fernerkundungssystem zu entwickeln, das Bilder der Erdoberfläche mit hoher zeitlicher und gleichzeitig hoher räumlicher Auflösung liefert. Die Planung und Entwicklung der neuen satellitengetragenen Fernerkundungssysteme (z.B. IRS, Earth Watch, MOMS) und der verstärkte Einsatzes von Radarverfahren (z.B. ERS, RADARSAT) verbessern die räumliche und spektrale Auflösung sowie die Wetterunabhängigkeit (speziell Radar).

Tab. 2: Dimensionen und potentielle Anwendungen von Satellitenbilddaten anhand ausgewählter Beispiele von Sensoren (ergänzt nach BANZHAF 1994, S. 36 und STEINHARDT 1994, S. 31)

Dimensionen von Satellitenbild-daten	**Beispiele von multispektralen Sensoren**			**Potentielle Anwendungen**
elektromagnetisch *spektrometrisch*: Breiten der genutzten Spektral-bereiche eines Sensors *radiometrisch*: Anzahl diskreter Werteniveaus (abhängig von der Kapazität der Detektoren eines Systems), in die die gemessenen Signale unterteilt werden können (z.B. 128, 256, 1024 Graustufen)	**Landsat-TM** Kanal 1 0.45-0.52µm (blau) Kanal 2 0.52-0.60µm (grün) Kanal 3 0.63-0.69µm (rot) Kanal 4 0.76-0.90µm (nahes IR) Kanal 5 1.55-1.75µm (mittl. IR) Kanal 6 10.40-12.5µm (therm. IR) Kanal 7 2.08-2.35µm (mittl. IR)	**Spot-MS** Kanal 1 0.50-0.59µm Kanal 2 0.61-0.68µm Kanal 3 0.79-0.89µm	**IRS-1C LISS** Kanal 1 0.52-0.59µm Kanal 2 0.62-0.68µm Kanal 3 0.77-0.86µm Kanal 4 1.55-1.75µm	• Trennen: Boden und Vegetation, Laub- und Nadelwald; küstennahe Gewässerkartierung • Untersuchung von Pflanzenstreß (hohe Reflexion für gesunde Vegetation) • Unterscheidung von Pflanzenarten (Chlorophyllabsorption) • Erkennung von Pflanzenvitalität; Untersu-chung der Biomasse • Differenzierung: Wolken / Schnee; Feuchtegehaltsmessungen bei Pflanzen • Thermalkartierungen; Untersuchung des Wärmeeinflusses auf Vegetation • Geologische Kartierung; Erkennung von Wasserstreß bei Pflanzen
räumlich Größe der Bodenelemente (in Abhängigkeit von den geome-trischen Eigenschaften des Sensors); Bildfeld	30 x 30 m (Kanal 1-5 und 7) 120 x 120 m (Kanal 6) 185 x 185 km	20 x 20 m 60 x 80 km	23.5 m (Kanal 1-3) 70.8 m (Kanal 4) 142 x 142 km	Mittlere Maßstabsebene (bei Verschneidungen z.B. mit Spot panchromatisch (10 m) oder IRS-1C panchromatisch (6 m) Übergang zur großmaßstäbigen Ebene möglich)
zeitlich Repetitionszyklus zwischen zwei Aufnahmen desselben Bildes (Wiederholrate)	16 Tage	26 Tage	24 Tage	Ressourcenmanagement für Land und Wasser; Landschaftsmonitoring

Die Auswertung des elektromagnetischen Spektrums für landschaftsbezogene Aufgaben

Die für die Bildauswertung zu messende Größe wird aus der vom Objekt an der Erdoberfläche reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung abgeleitet. So kann zum Beispiel der Chlorophyllgehalt bei Pflanzen aus einem bestimmten Teil der remittierten Strahlung erfaßt werden. Darüberhinaus ist für Fragestellungen des Bios auch wichtig, biotische von abiotischen Parametern abgrenzen zu können.

Sind mehrere Meßwerte in verschiedenen Wellenlängenbereichen aufgezeichnet, so handelt es sich um eine multispektrale Datenaufzeichnung. Sie kann folgende spektrale Information der passiven Aufnahmesysteme (a) bis d)) umfassen oder verschiedene Bänder aktiver Aufnahmesysteme (e)) abdecken .

a) Der für den Menschen sichtbare Bereich des Lichts liegt etwa zwischen 0.3 µm (violett) und 0.7 µm (rot). In diesem Spektralband ist die Atmosphäre zu fast 100 % durchlässig.

b) Der fotographische Infrarotfilm ist zwischen 0.3 µm (violett) und 1.0 µm (infrarot) sensibel, deckt damit Bereiche des sichtbaren Lichtes ab und zeichnet auch das nahe Infrarot (NIR) auf. Letzteres ist von größter praktischer Bedeutung, da dort gesunde Vegetation, anders als im Rotbereich, sehr stark reflektiert (Anstieg von 10 % auf 50 % Reflexion). Farbinfrarotfilme stellen das NIR als Rot dar und werden deshalb "Falschfarbenfilm" genannt.

   Im Anschluß an das fotographische Infrarot befindet sich der Bereich des Spektrums, für den die Atmosphäre nicht mehr vollständig durchlässig ist. Wasserdampf-, Kohlendioxid- und Ozon-Absorptionsbanden blockieren teilweise die Durchdringung, so daß nur spezielle Wellenlängenintervalle - die atmosphärischen Fenster - Strahlung passieren lassen. In diesen atmospärischen Fenstern können mittleres und thermales Infrarot registriert werden.

c) Das mittlere Infrarot (1.55 µm - 1.75 µm) eignet sich vor allem zu Feuchtegehaltsmessungen von Pflanzen und zur Differenzierung von Wolken und Schnee.

d) Das thermale Infrarot liegt im großen atmosphärischen Fenster etwa zwischen 8 µm und 14 µm, dient ebenfalls als Feuchteindikator und umfaßt den Bereich für die von den Objekten emittierte Wärmestrahlung.

e) Aktive Mikrowellenverfahren wie das Radar (**Ra**dio **D**etection **a**nd **R**anging) arbeiten in unterschiedlichen Bändern im cm - Wellenlängenbereich. Wegen der Eigenschaft der Mikrowellen, Wolken zu durchdringen, erscheint Radar für Mitteleuropa als ein gut geeigneter Sensor für die Erderkundung. Die Erfahrungen mit Radar-Daten sind im Gegensatz zum optischen Bereich noch relativ gering, ihre Auswertung erweist sich als schwierig (LÖFFLER 1994, S. 78-80).

Spektrale Reflektanz von Vegetation, Boden und Wasser

In Abbildung 1 sind typische Reflektanzkurven für die drei Hauptklassen Vegetation, Boden und Wasser dargestellt. Dabei handelt es sich um Kurven von Durchschnittswerten, denn je nach Chlorophyllanteil in der Vegetation, Trockenheit des offenen Bodens und Wasser kann die Reflektanz der jeweiligen Merkmale im Einzelfall stark variieren. Trotzdem lassen diese Kurven fundamentale Informationen hinsichtlich der spektralen Reflektanz erkennen.

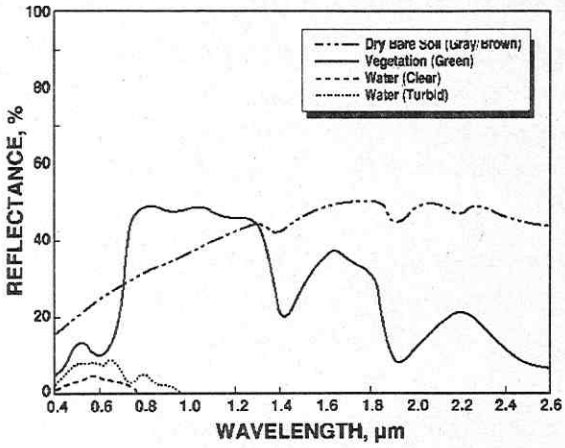


Abb. 1: Spektrale Reflektanz von Vegetation, Boden und Wasser
(LILLESAND & KIEFER 1994, S. 18)

Grüne Vegetation zum Beispiel absorbiert Chlorophyll in den Wellenlängenbereichen zwischen 0.45 und 0.67 µm stark. Beim Übergang vom sichtbaren zum nahen infraroten Bereich (ca. 0.7 µm) nimmt die Reflektanz der grünen Vegetation drastisch zu. Zwischen 0.7 und 1.3 µm reflektiert das Pflanzenblatt normalerweise 40 bis 50 % der Energie. Im daran anschließenden Wellenlängenbereich zwischen 0.7 und 1.3 µm resultiert die Pflanzenreflektanz aus der internen Struktur des Blattes, so daß hier Pflanzenarten unterschieden werden können und Pflanzenstreß untersucht werden kann. Ab 1.3 µm wird die Blattreflektanz invers wegen des Feuchtigkeitsgehaltes und der Blattstärke. Vereinzelt kommt es zum Abfallen der Reflektanzkurve bei 1.4, 1.9 und 2.7 µm, weil in diesen Spektralbereichen das Wasser in den Blättern stark absorbiert. Man spricht hier von Wasserabsorptionsbanden. Die höheren Reflektanzen erscheinen bei 1.6 und 2.2 µm zwischen diesen Banden.

Der Verlauf der Reflektanz beim Boden enthält dagegen weniger spezifische spektrale Bereiche. Bodenreflektanz wird vor allem beeinflußt von Feuchtigkeitsgehalt, Textur, Oberflächenrauhigkeit, Gehalt von Eisenoxiden und organischen Substanzen. So vermindert die Feuchtigkeit im Boden seine Reflektanz und dies vor allem in den bereits erwähnten Wasserabsorptionsbanden. Da Bodenfeuchte und Bodentextur eng zusammenhängen, besitzen zum Beispiel sandige Böden eine geringe Feuchte und erzeugen eine relativ hohe Reflektanz. Zwei Faktoren, die die Bodenreflektanz vermindern, sind die Oberflächenrauhigkeit und der Anteil an organischer Substanz. Auch der Gehalt von Eisenoxiden eines Bodens verringert die Reflektanz zumindest im sichtbaren Bereich.

Klares Wasser absorbiert relativ wenig Energie unter 0.6 µm und reflektiert stark mit einem Maximum im blau-grünen Bereich des Lichts. Durch den Stoffeintrag reflektiert trübes Wasser im sichtbaren Bereich jedoch stärker. Je höher die Chlorophyll-Konzentration im Wasser ist, desto geringer ist die Reflektanz im blauen und desto höher im grünen Wellenlängenbereich. Trübes und klares Wasser absorbieren die Energie im nahen Infrarot, abhängig vom Stoffeintrag bereits bei 0.8 oder erst bei 1.0 µm (LILLESAND & KIEFER 1994, S. 17-20).

Kapitel 5.4.1 verdeutlicht, daß sich wenig tiefgründiges und Algenwuchs aufweisendes Wasser durch eine multispektrale Klassifikation nicht von Klassen mit ähnlichen Grauwerten unterscheiden läßt, sondern erst mit Hilfe einer Texturanalyse, also einer umgebungsbezogenen Klassifikation eindeutig zu separieren ist.

Auswertungsmethoden

Das technische Medium ist die digitale Bildverarbeitung. Neben Methoden zur Bildverbesserung und visuellen Bildinterpretation umfaßt sie die halbautomatische Auswertung des Materials. Diese Auswertung ist Teil der Arbeitsmethoden von Wissenschaftlern und Planern geworden, findet auf unterschiedlichen Maßstabsebenen ihren Einsatz in Raumplanung, Umweltschutz, Versorgungswirtschaft u.v.m. und ist Grundlage für die Erarbeitung und laufende Aktualisierung des flächenbezogenen Datenbestandes.

Bildverbesserung und visuelle Interpretation

Bildverbesserungen können durch Filterungen verschiedener Art vollzogen werden. Unter Filterungen wird die Umsetzung eines Eingabebildes in ein Ergebnisbild ohne Bildauswertung verstanden. Für Fehler oder sensorbedingte Schwächen gibt es Verfahren zur Verbesserung. Hierzu zählen beispielsweise:

- spektrale Bildverbesserungen z.B. durch Veränderung der Grauwertkurven und Histogramme, verschiedene Tiefpaß- und Hochpaß-Filterungen zum Entfernen von Störungen, Hauptkomponentenanalyse;
- räumliche Bildverbesserungen z.B. durch Filteroperationen (z.B. Kantenfilter zur Hervorhebung von Geländekanten, Häuserzeilen, etc.) oder durch Verschneidungsprodukte zweier Sensoren (z.B. Landsat-TM mit Spot panchromatisch, IRS-1C LISS mit IRS-1C panchromatisch, etc).

Aus der Vielzahl der möglichen räumlichen Bildverbesserungsverfahren sei hier anhand der Farbabbildung "Satellitenbildkarte Leipzig mit angrenzenden Tagebauen Zwenkau und Espenhain" ein Beispiel vorgestellt: Zwei unterschiedliche Sensoren werden so miteinander verschnitten, daß zur Bildoptimierung die höhere geometrische Auflösung des einen Sensors (Spot) verknüpft wird mit der höheren spektralen Auflösung des anderen Sensors (Landsat). Um diese Rechenoperation durchführen zu können, werden drei Kanäle des multispektralen Bildes aus dem Farbraum Rot, Grün und Blau (R,G,B) in den Farbraum Farbintensität (I=Intensity), Farbfrequenz (H=Hue) und Farbsättigung (S=Saturation) transformiert. Da die spektrale Information in der Farbfrequenz enthalten ist, kann die Farbintensität durch die Information der höheren geometrischen Auflösung, also durch den panchromatischen Kanal von Spot, ersetzt werden. Danach wird das dreikanalige Bild wieder in den Farbraum Rot, Grün, Blau rücktransformiert, um das Bildprodukt in seiner Farbdarstellung nicht zu verändern. Dies ist eine der gängigen multisensoralen Bildverarbeitungsschritte, die eine höhere visuelle Bildqualität und somit eine bessere Interpretation ermöglichen (vgl. dazu auch Kap. 3.1.2).

In der dargestellten Farbabbildung kann z.B. im Tagebau Zwenkau deutlich der Absetzer erkannt werden, ebenso die linienhafte Gebäudestruktur im Leipziger Stadtteil Grünau, große Ein- und Ausfallstraßen im gesamten Stadtbild, das Zentralstadion und der Hauptbahnhof mit seinem Gleiskörper.

Zur visuellen Interpretation werden alle Merkmale im Bild wie Farbe, Helligkeit, Textur, Muster, Form und Größe, Lage, Schatten, benutzt. Da bei dieser Interpretation nicht nur die einzelnen Bildelemente, sondern lokale und globale Informationen über das ganze Bild mit herangezogen werden, sind sehr weitgehende Aussagen sowohl über das Objekt als auch über die Funktion möglich. HEINZ (Kap. 3.1.2) diskutiert als Beispiel verschieden einzusetzender Fernerkundungsmethoden die Qualitäten von digitaler Visualiserung und Klassifikation und

kommt zu dem Schluß, daß in der visuellen Interpretaton eine Fülle von Detailinformationen enthalten ist, die in der quantitativen Vorgehensweise einer digitalen Klassifikation verloren gehen.

Rechnergestützte Auswertungsverfahren

Neben der visuellen Auswertung von Satellitenbildern bietet sich als zweite Methode die rechnergestützte Klassifikation an. Die bisher häufig benutzten Klassifikationsverfahren werten meist nur die bildelementbezogene Information aus. Die in den einzelnen Bildelementen enthaltene Information muß eine eindeutige Zuordnung zu den Objekten gestatten, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Bei den hier verwendeten Verfahren sind dies nur spektrale Merkmale, die Informationen über das Strahlungsverhalten einzelner Objekte enthalten. Es handelt sich um Reflexionsklassen der Landnutzung, und zwar als zusammenfassender Begriff für die Bedeckung von Bodenflächen und ihre Nutzung. Je nach Anteil der Vegetation werden beispielsweise Siedlungsbereiche abgegrenzt, wogegen landwirtschaftlich genutzte Flächen als Acker- oder Gründland bezeichnet werden.

Unter Verwendung von vorhandenen Erhebungsdaten und Satellitenfernerkundungsdaten wird z.B. die Veränderung der Landnutzung erfaßt. Sieht man vom Einfluß der Atmosphäre einmal ab, verändern Siedlungsflächen und Gewässer kaum ihre spektrale Signatur. Die mit Vegetation bedeckten Flächen unterliegen jedoch jahreszeitlichen Veränderungen. Bei der Auswertung muß daher der phänologische Zustand der Pflanzen zum Aufnahmezeitpunkt berücksichtigt werden (vgl. Kap. 5.2.2). Zur Verbesserung einer Klassifikation können die geometrische Überlagerung und die multispektrale Klassifikation der Datensätze verschiedener Satellitensensoren und deren Verknüpfung bzw. Verschneidung mit anderen Daten aus einem geographischen Informationssystem gehören. Dies ermöglicht flächendeckende Aussagen über eine Region oder über kleinräumige Gebiete. So verknüpfen LAUSCH & BELLMANN (Kap. 5.4.3) unterschiedliche Datenebenen, wie z.B. ein abgeleitetes Höhenmodell mit der Flächennutzung, um wichtige Schutzgebiete in der Tagebaufolgelandschaft ausweisen zu können.

Die rechnergestützten Klassifikationsverfahren lassen sich in zwei Gruppen, die überwachten und die unüberwachten, einteilen. Bei den *überwachten* Verfahren werden die einzelnen Bildelemente vorgegebenen Musterklassen zugeordnet. Um eine Klassifikation zu ermöglichen, müssen diese Musterklassen festgelegt und ihre Merkmale durch Referenzklassen (auch Test- oder Trainingsgebiete genannt) quantitativ beschrieben werden. Unüberwachte Klassifikationen erfordern im Prinzip keine Informationen über die Eigenschaften und Merkmale der Klassen. Daher liegen der Ausführung einer Klassifikation keine Trainingsgebiete zugrunde. Spektral ähnliche Bildelemente werden in entsprechende Klassen eingeordnet.

Klassifikationsgenauigkeit

Eine hundertprozentig richtige Zuweisung der Klassen für einen Bildausschnitt gibt es bislang nicht. Die natürliche Variation der spektralen Merkmale von verschiedenen Landnutzungsklassen bestimmt entscheidend die Genauigkeit. Je unzureichender die Geländeinformationen vorliegen, desto problematischer ist die korrekte Zuweisung. Fehler können z.B. auftreten, wenn verschiedene Oberflächen mehr oder weniger gleiches spektrales Verhalten aufweisen oder homogen angesehene Oberflächen Anteile von signifikant verschiedenen Klassen enthalten, was zu dem als Mischpixel bezeichneten Phänomen führt. Abhängig ist die Genauigkeit der Zuordnung vor allem von der Bodenauflösung des Aufnahmesystems und von dem

Reflexionsverhalten der jeweiligen Erdoberfläche/Nutzungsart. Überprüft werden sollte die Klassifikationsgenauigkeit sowohl visuell als auch über vorhandene statistische Kontrollverfahren (vgl. BÄHR & VÖGTLE 1991, S. 170 ff). So weisen die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Klassifikationen Genauigkeiten zwischen ca. 74 % und 90 % auf, wobei die qualitative Güte dieser Klassifikationen nicht von der statistischen Wertigkeit allein abhängt. Aus diesem Grund werden kleinräumige Fehlzuweisungen diskutiert, die eine Nachbearbeitung der Daten erforderlich machen, auch wenn die quantitative Güte zufriedenstellend ist.

Deshalb stellt sich gerade bei Landnutzungsklassifikationen, die eine wesentliche raumbezogene Information über ein Gebiet geben, die Frage nach der flächengenauen Abbildung der repräsentierten Landnutzungstypen. Da das multispektrale Klassifikationsverfahren auf Wahrscheinlichkeitsrechnungen basiert, muß es an Genauigkeitsgrenzen stoßen, die in der Methode begründet sind. Gegenwärtig wird zwar von verschiedenen Forschungsgruppen an der Entwicklung von objektorientierten Verfahren gearbeitet, die besonders für die Auswertung der mit neuen Sensoren und verbesserter räumlicher Auflösung gewonnenen Aufnahmen benötigt werden. Es ist jedoch frühestens in fünf bis zehn Jahren mit der Operationalisierung dieser Verfahren zu rechnen. Bis dahin muß die Spektralklassifikation weiter verbessert werden, z.B. durch Texturanalyse als umgebungsbezogene Klassifikation (Kap. 5.4.1), wissensbasierte Bildverarbeitung, Sub-Pixel-Klassifikation, spektrale Entmischung u.a., oder durch die Einbeziehung von Fuzzy-Set Methoden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die digitale Bildverarbeitung von Ratiobildungen, beispielsweise der Bestimmung des Vegetationsindizes durch Nutzung des unterschiedlichen Reflexionsverhaltens der Vegetation im sichtbaren Rot und nahen Infrarot über die Ableitung der Oberflächentemperatur aus dem thermalen Infrarot hin zur Erstellung und Auswertung von Landnutzungsklassifikationen reicht, um nur einige Anwendungen zu nennen, die in den anschließenden Kapiteln vorgestellt werden. Darüberhinaus kann eine Reihe weiterer landschaftsökologischer Einflußgrößen, wie z.B. Globalstrahlung, Klimatope, etc. aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden. Die in diesem UFZ-Bericht vorgestellten Methoden vermögen nur einen Teil der Anwendungsmöglichkeiten zu beschreiben. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der satellitenbildgestützten Fernerkundung.

Literatur

ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. - Darmstadt.

BÄHR, H.-P. & T. VÖGTLE (Hg.) (1991): Digitale Bildverarbeitung. - Karlsruhe.

BANZHAF, E. (1994): Die Regionalisierung der Wärmebelastung in Mainfranken anhand von Geofaktoren. -Dissertation. Freiburger Geographische Hefte 43.

JÜRGENS, K. (1996): Neue Erdbeobachtungs-Satelliten liefern hochauflösende Bilddaten für GIS-Anwendungen. - In: Geo-Informations-Systeme Vol. 9, No. 6, S. 8-11.

KRAMER, H.J. (1996): Observation of the Earth and Its Environment. Survey of Missions and Sensors. - 3rd enlarged Edition, Berlin.

LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER (1994): Remote Sensing and Image Interpretation. - 3rd Edition. New York.

LÖFFLER, E. (1994): Geographie und Fernerkundung. - 2. neubearb. und erw. Auflage, Teubner Studienbücher.

STEINHARDT, U. (1994): Nutzflächentypen - ihre Verknüpfung mit Naturraumtypen unter Einbeziehung von Fernerkundungsdaten. - In: Barsch, H. & G. Saupe (Hg.): Bewertung und Gestaltung der naturnahen Landschaft in Schutzgebieten, Erholungs- und Freizeitgebieten. Teil 1. Potsdam. S. 30-33.

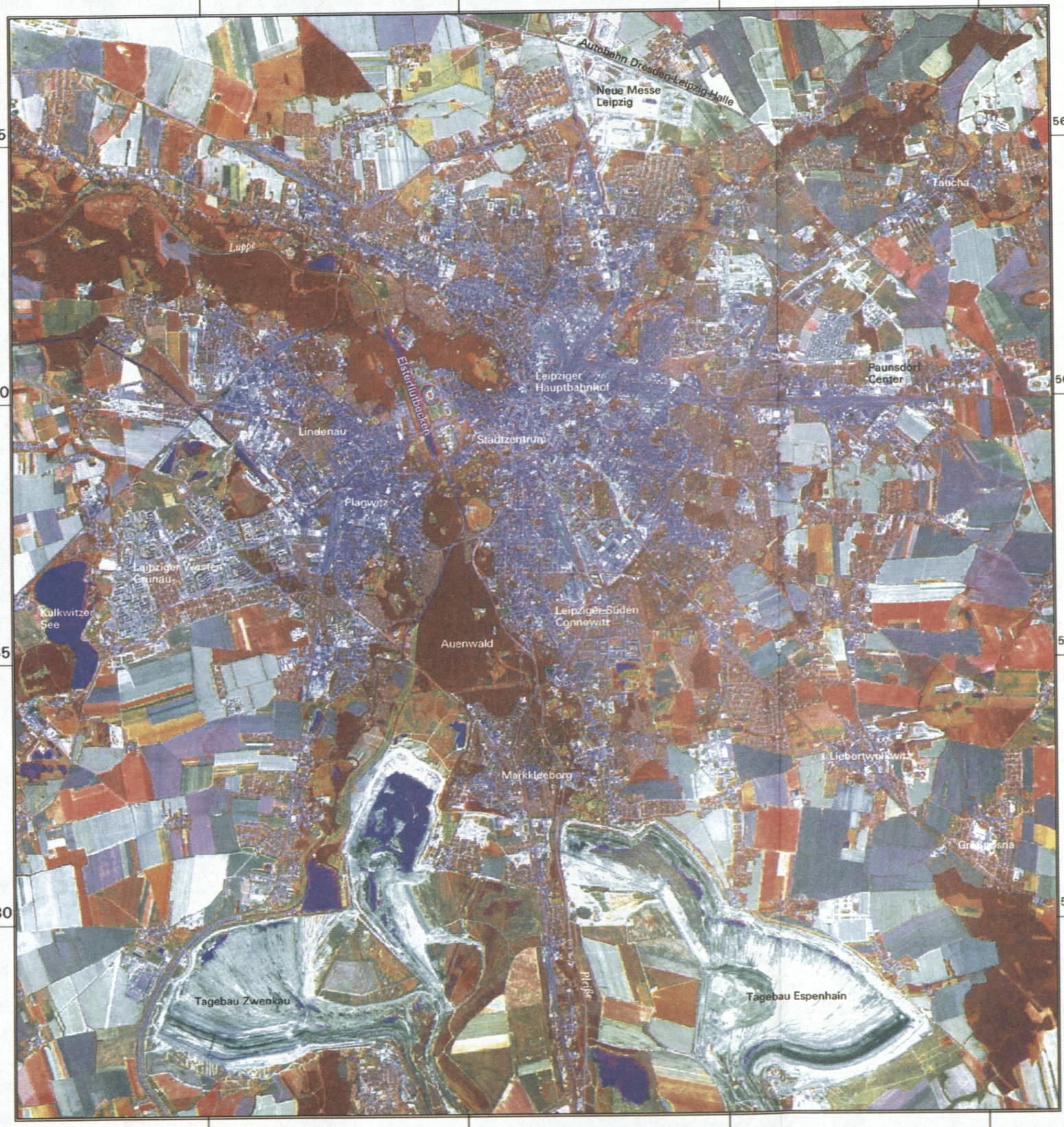
WIENEKE, F. (1988): Satellitenbildauswertung - Methodische Grundlagen und ausgewählte Beispiele. - Münchner Geographische Abhandlungen, Reihe A, Bd. A 38. - München.

Satellitenbildkarte Leipzig

mit angrenzenden Tagebauen Zwenkau und Espenhain

Maßstab 1 : 80 000

0 1 2 3 4 5 km



Legende

Spektrale Information und Farbzuweisung:

Kanal 4 (nahes Infrarot):	rot
Kanal 5 (mittleres Infrarot):	grün
Kanal 3 (roter Bereich des sichtbaren Lichtes):	blau

In dieser Kombination werden Vegetationsflächen (hoher Chlorophyllgehalt) in Rot-Tönen, vegetationslose Flächen in Türkis-Tönen und Siedlungen in dunklen Blau-Tönen wiedergegeben.

Datenquelle

Satellit:	Landsat-5-TM	SPOT Pan
Aufnahmedatum:	21.07.1994	16.05.1994
Bodenauflösung:	30 m x 30 m	10 m x 10 m

Datenbearbeitung

Geometrische Entzerrung:	160 Paßpunkte, mit Polynom 1. Ordnung
Entzerrungsgrundlage:	TK 25 (N)
Resampling:	Nearest Neighbour / 10 m RMS: 0.32
Modifizierung:	Überlagerung der Satellitenbilder durch RGB - IHS Transformation
Programm:	ERDAS-Imagine 8.2

Bearbeitung: E. Banzhaf
W. Koch
V. Konrad
U. Steinhardt
Kartographie: R. Thamm

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

3.1.1 Flächenhafte Erfassung von Strahlungstemperaturen aus Fernerkundungsdaten

Holger Lilienthal

Einleitung

Der thermale Spektralkanal vieler Multispektralscanner bietet vielfältige Nutzungs-möglichkeiten. Neben der Ermittlung von Oberflächentemperaturen können die Thermaldaten auch als Eingangsparameter für klimatologische Bilanzmodelle unterschiedlichster Art und auch als Zusatzinformationsebene für geographische Informationssysteme dienen. Da bei bodengestützten Meßkampagnen von einzelnen Punktmessungen auf die gesamte Fläche interpoliert werden muß, ist die flächenhafte Temperaturbestimmung größerer Gebiete sehr zeit- und kostenintensiv und birgt vielerlei Probleme. Dagegen bietet die Temperaturermittlung aus Fernerkundungsdaten den großen Vorteil, flächenhafte Daten zu verwenden. Der Nachteil besteht darin, daß die tatsächliche Oberflächentemperatur nur annähernd bestimmt werden kann. An dieser Stelle soll das Verfahren zur Ermittlung von Temperaturwerten aus Satellitenmessungen vorgestellt werden und einige Strategien zur Bestimmung von Strahlungs- und Oberflächentemperaturen diskutiert werden. Speziell die Daten aus Thermalbefliegungen haben den Vorteil, eine dichtere Zeitreihe zu ermöglichen (Tag-/Nachtmessung).

Physikalische Grundlagen

Im Gegensatz zum sichtbaren Spektralbereich wird in der Thermalfernerkundung nicht die reflektierte, sondern die emittierte Strahlung aufgezeichnet. Jedes Objekt, welches eine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (- 273,15° C, 0 K) hat, emittiert elektromagnetische Strahlung.

Die Hauptquelle für thermale Energie ist die absorbierte kurzwellige Strahlung, die den Materiebausteinen in Form zusätzlicher molekularer Bewegungsenergie übertragen wird, wodurch fühlbare Wärme entsteht. Die emittierte elektromagnetische Strahlung wird dabei in langwellige Strahlung umgewandelt. Allgemein kann die emittierte Energie in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Temperatur mit dem *Planck'schen Strahlungsgesetz* beschrieben werden:

$$L_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)}$$

L_λ = Strahldichte $\left[\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot m}\right]$; $c_1 = 1.19 \cdot 10^{-16}$ $\left[\frac{W}{m^2 \cdot sr}\right]$

λ = Wellenlänge $[m]$; $c_2 = 1.439 \cdot 10^{-2}$ $[m \cdot K]$

T = Temperatur $[K]$

(Gl. 1) *Planck'sches Strahlungsgesetz* (vgl. KRAUS/SCHNEIDER 1988, S. 53)

Die Fernerkundungssensoren (seien sie flugzeug- oder satellitengestützt) zeichnen diese emittierte Energie auf. Da die Atmosphärenbestandteile eine Eigentemperatur besitzen, emittieren diese ebenfalls Energie, die der Sensor gleichfalls aufzeichnet. Um nun Tempera-turen der Erdoberfläche ermitteln zu können, muß der Atmosphäreneinfluß abgeschätzt und korrigiert

werden. Das kann über Strahlungstransfermodelle geschehen (LOWTRAN, ATCOR, etc.), soll aber an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

Die eigentliche Problematik in der fernerkundlichen Temperaturermittlung liegt darin, daß das *Planck'sche Strahlungsgesetz* nur für ideale Strahler (sog. *Schwarzer Körper*, engl. *black body*) gilt. Ein *Schwarzer Körper* absorbiert die gesamte auftreffende kurzwellige Strahlung, wandelt sie in langwellige (thermale) Strahlung um und emittiert vollständig die Energie, die sich aus seiner Eigentemperatur ergibt. Das ist jedoch eine Idealvorstellung, in der Natur wird von den meisten Materialien weniger Energie emittiert, als es sich rechnerisch ergeben müßte. Diese Abweichung in der Strahlungsintensität wird durch den Emissionsgrad charakterisiert.

Emissionsgrad

Der Emissionsgrad ist das Verhältnis aus der emittierten Strahlung eines Objekts zur emittierten Strahlung eines *Schwarzen Körpers* bei der gleichen Temperatur. Durch den Emissionsgrad wird angegeben, in welchem Maße sich die Emission eines Materials vom Ideal des *Schwarzern Körpers* unterscheidet.

$$\varepsilon = \frac{L_{obj.}}{L_{bb}} \qquad \text{(Gl. 2)} \qquad \text{(vgl. KRAUS/SCHNEIDER 1988, S. 54)}$$

Die Emissivität kann theoretisch Werte zwischen 0 und 1 annehmen. CURRAN (1986, S. 37) hat aus verschiedenen Quellen die Emissionsgrade für einige Materialien zusammengestellt.

Tab. 1: Emissonsgrade für verschiedene Materialien

Oberflächenart	ε
geschlossene Vegetation	0,99
Wasser	0,98
offene Vegetation	0,96
feuchter, lehmiger Boden	0,95
trockener, lehmiger Boden	0,92
sandiger Boden	0,90
humoser Boden	0,89
Teer	0,97
Kunststoff / Farbe	0,96
Betonsteine	0,93
Bauholz	0,90
blanker Stahl	0,16

Im thermalen Spektralbereich zwischen 8-14 µm liegt der Emissionsgrad für natürliche Materialien zwischen 0,8 und 0,99. Eine besondere Stellung nehmen Metalle ein, sie besitzen einen äußerst geringen Emissionsgrad. Deshalb werden die Temperaturen für Metalle ohne Berücksichtigung des Emissionsgrades immer zu hoch eingeschätzt.

Da der Emissionsgrad mit der Temperatur, Wellenlänge und dem Beobachtungswinkel variieren kann (CAMPBELL 1987, S. 203), ist die Bestimmung der Oberflächentemperatur kritisch. In der Regel wird davon ausgegangen, daß es sich bei den meisten Materialien um sogenannte *grey bodies* handelt, das heißt um Körper, die wie ein *Schwarzer Körper* über das gesamte Spektrum emittieren, nur auf einem geringeren Niveau. Unter der Annahme eines *grey bodies* ist der Emissionsgrad wellenlängenunabhängig. Doch auch dies ist in der Realität nicht der

Fall. Die meisten Materialien sind selektive Strahler, der Emissionsgrad ist also wellenlängenabhängig (CAMPBELL 1987, S. 202).

Strahlungstemperatur

Da es sehr problematisch ist, die Emissionsgrade für jedes Pixel in einem Satellitenbild zu bestimmen, wird bislang direkt mit der gemessenen Strahlung eine Temperatur der Oberfläche errechnet, und zwar unter der Annahme, es handele sich um einen *Schwarzen Körper*.

Die so ermittelten Temperaturen werden als Strahlungstemperaturen (Strahlungsäquivalenttemperatur, engl. brightness temperature, aparent temperature) bezeichnet. Für qualitative Aussagen reicht es oft aus, die Temperatur ohne Berücksichtigung des Emissionsgrades zu bestimmen. Die so gewonnenen Temperaturwerte liegen aber deutlich über den wahren Oberflächentemperaturen.

Verwendung finden die Strahlungstemperaturen zum Beispiel bei stadt- und geländeklimatologischen Fragestellungen wie bei der Identifizierung der städtischen Wärmeinsel oder Aufheizungsflächen innerhalb einer Stadt. Auch die Detektierung von Einleitungen in Gewässer ist prinzipiell möglich.

Zur Veranschaulichung wird die Strahlungstemperatur für einen Ausschnitt aus einer Landsat-5-TM Szene aus dem Raum Halle-Bitterfeld berechnet. Die Szene wurde zuvor georeferenziert und der Atmosphäreneinfluß korrigiert. In einem ersten Schritt werden die 8-bit codierten Grauwerte in die gemessenen Strahldichten zurückgerechnet. Diese Sensorkalibration wird auf der Basis der von GIBBONS et al. (1989, S. 905) veröffentlichten Konstanten durchgeführt. Durch Umformung und Einsetzen der Wellenlänge und der Konstanten in das *Planck'sche Strahlungsgesetz* ergibt sich die vereinfachte Berechnungsformel für die Strahlungstemperatur.

$$T_S = \frac{1260{,}56}{\ln\left(\frac{60.776}{L} + 1\right)} \qquad \text{(Gl. 3)}$$

(Quelle: GIBBONS et al. 1989, S. 905)

Es ist zu beachten, daß diese Formel nur für Kanal 6 von Landsat-5-TM gilt und daß die Strahldichte L in $\left[\frac{mW}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}\right]$ eingegeben werden muß.

Der Ausschnitt zeigt die Region zwischen Halle im Südwesten, Delitzsch im Süden, Bitterfeld und dem Westrand der Dübener Heide im Nordosten. Die Stadtbereiche von Wolfen, Bitterfeld, Delitzsch und Halle treten deutlich durch höhere Strahlungstemperaturen (30-40° C) hervor. Besonders hohe Temperaturwerte weisen die Tagebaue um Bitterfeld, d.h. Holzweißig-West und Goitsche, sowie Gröbern im Nordosten mit Maximalwerten von bis über 35° C auf. Deutlich sind ferner die geringeren Temperaturen der Landwirtschaftsflächen sowie der Fuhneaue und in der Dübener Heide mit Werten zwischen 15° und 25° C zu erkennen (vgl. Farbabb.).

Die Überschätzung der Temperatur durch die Annahme eines falschen Emissionsgrades zeigt sich besonders in den urbanen Räumen. Die hier auftretenden Temperaturen von 30° bis teilweise über 35° C entsprechen zum Aufnahmezeitpunkt (21.7.1994, 9.30 h) nicht der Realität. Trotzdem werden bereits bei der Darstellung der Strahlungstemperatur geländeklimatologische Einflußgrößen erkennbar. Die Dübener Heide und der Auenbereich der Fuhne fungieren

als potentielle nächtliche Kaltluftproduzenten, sind folglich nicht so stark aufgeheizt und trennen sich gegen die Wärmeinseln der Stadtbereiche und der offenen Tagebaue deutlich ab.

Oberflächentemperatur

Um Oberflächentemperaturen bestimmen zu können, ist es notwendig, die genauen Emissionsgrade zu kennen.

Dabei spielt auch die geometrische Auflösung eine entscheidende Rolle. Je feiner ein Pixel aufgelöst werden kann, desto wichtiger wird es, den Emissionsgrad genau zu kennen. So enthält ein NOAA AVHRR Pixel mit einer Auflösung von 1,1 x 1,1 km so viele verschiedene Materialkomponenten, daß sich im Endeffekt ein mittlerer Emissionsgrad einstellt, der den prozentualen Anteil der verschiedenen Materialien repräsentiert. Bei flugzeuggetragenen Thermalscannern kann die geometrische Auflösung in den Meterbereich gelangen, und dann spielen Metalldächer mit geringer Größe bei der Temperaturermittlung bereits eine wichtige Rolle.

VAN DE GRIEND & OWE (1993, S. 1121) stellten bei Geländemessungen eine hohe Korrelation zwischen dem Vegetationsindex NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) und dem Emissionsgrad fest. Dabei steigt der Emissionsgrad mit Zunahme der Vegetationsdichte logarithmisch an. Für Vegetationsbestände scheint es einen solchen Zusammenhang zu geben, allerdings schränken VALOR & CASELLES (1996, S. 170) ein, daß derartige Zusammenhänge nicht zu generalisieren sind, sie gelten genau genommen nur für die Regionen, in denen sie gemessen werden. Für dichte Vegetationsbestände geht der Emissionsgrad gegen 1. Die Korrelation scheint durch den Wassergehalt in der Vegetation gesteuert zu werden. Wasser hat einen Emissionsgrad von 0,99. Mit zunehmend dichter werdender Vegetation nimmt der Wassergehalt zu, und die Emissivität geht gegen 1. Eine Abschätzung des Emissionsgrades über den NDVI für wasserfreie Materialien kann daher zu zweideutigen Ergebnissen führen, die eine Korrelation unmöglich machen. Desweiteren ist es problematisch, eine Beziehung zwischen der thermalen Emissivität und einer Größe aus dem kürzerwelligen Spektralbereich aufzustellen, da die meisten Materialien selektive Strahler sind.

NICOL (1994, S. 1228) vereinfacht die Bestimmung des Emissionsgrades in ihrer stadtklimatischen Untersuchung Singapurs, indem sie mittlere Emissivitäten verwendet. Sie unterscheidet in Gebiete mit und ohne Vegetation und weist dann für Vegetation einen Emissionsgrad von $\varepsilon = 0.95$ und für Gebiete ohne Vegetation von $\varepsilon = 0.92$ zu. Dieser Ansatz scheint, auch wenn er doch stark vereinfacht ist, eine Lösung zu bieten. Über eine Land-nutzungsklassifikation können die homogenen Gebiete ausgewiesen werden, die Emissions-grade können aus zahlreichen Publikationen entnommen werden. Je nach zeitlichen und finanziellen Möglichkeiten können die Emissivitäten für die unter-schiedlichen Nutzungen im Gelände ermittelt werden, was schließlich zu einer höheren Genauigkeit führt. Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur bietet der Ansatz von NICOL die Möglichkeit, grob drei Klassen auszugegrenzen und ihnen Emissionsgrade zuzuweisen (mittlere Literaturwerte):

- Vegetation, $\varepsilon = 0.96$,
- Wasser, $\varepsilon = 0.99$,
- keine Vegetation, $\varepsilon = 0.92$.

Bei einer besseren Annährung des Emissionsgrades müßte es sogar möglich sein, differenzierte Flächen innerhalb bestimmter Landschaftseinheiten zu kartieren und damit Informationen für z.B. die Stadt- und Regionalplanung bereitzustellen. Allerdings zeigt sich ein konzeptionelles Problem der Atmosphärenkorrektur hinderlich, denn als Vereinfachung zur Model-

lierung der atmosphärischen Bedingungen wird eine horizontal homogene Atmosphäre angenommen, was in der Landschaft oft nicht gegeben ist. Ursache hierfür können lokale Thermikfehler sein, die durch Aufheizung von vegetationsfreien Flächen entstehen (hier z.B. Tagebauflächen oder urbane Landschaften), so daß die modellierten Temperaturen lokal zu hohe Werte erreichen würden.

Zusammenfassung

Der Ermittlung genauer Oberflächentemperaturen steht die mangelnde Kenntnis der Emissionsgrade und des Zustandes der Atmosphäre zum Aufnahmezeitpunkt gegenüber. Für qualitative Untersuchungen (Einfluß der städtischen Wärmeinsel) reicht in der Regel die Bestimmung der Strahlungstemperaturen aus. Werden genaue Oberflächentemperaturen (z.B. für Modellrechnungen) benötigt, ist die Kopplung mit einer Landnutzungsklassifikation möglich. Für hochwertige Genauigkeiten sind Feldmessungen unabdingbar.

Trotz der Schwierigkeiten liefern Thermaldaten sicherlich einen Informationszugewinn. Den Nachteilen steht letztlich der Vorteil gegenüber, daß echte flächenbezogene Informationen zur Verfügung stehen. Die Nutzungsmöglichkeiten von Thermalbefliegungen (Bestimmung von Temperaturamplituden) erschließt noch ein weitaus größeres Feld als die Satellitenbilddaten, die die thermale Situation nur zu einem Zeitpunkt wiedergeben.

In Kombination mit dem kurzwelligen Spektralbereich (Albedoberechnungen) ist die thermale Fernerkundung in der Lage, wichtige Glieder der Strahlungs- und Energiebilanz der Erdoberfläche bestimmen zu können.

Literatur

CAMPBELL, J. B. (1987): Introduction to remote sensing.

CURRAN, P. J. (1985): Principles of remote sensing. - London, New York.

GIBBONS, D. E. & G. E. WUKELIC (1989): Application of Landsat Thematic Mapper data for coastal thermal plume analysis at Diabolo Canyon. - In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 6, pp. 903-909.

KRAUS, K. & W. SCHNEIDER (1988): Fernerkundung - Band 1: Physikalische Grundlagen und Aufnahme-techniken. - Bonn.

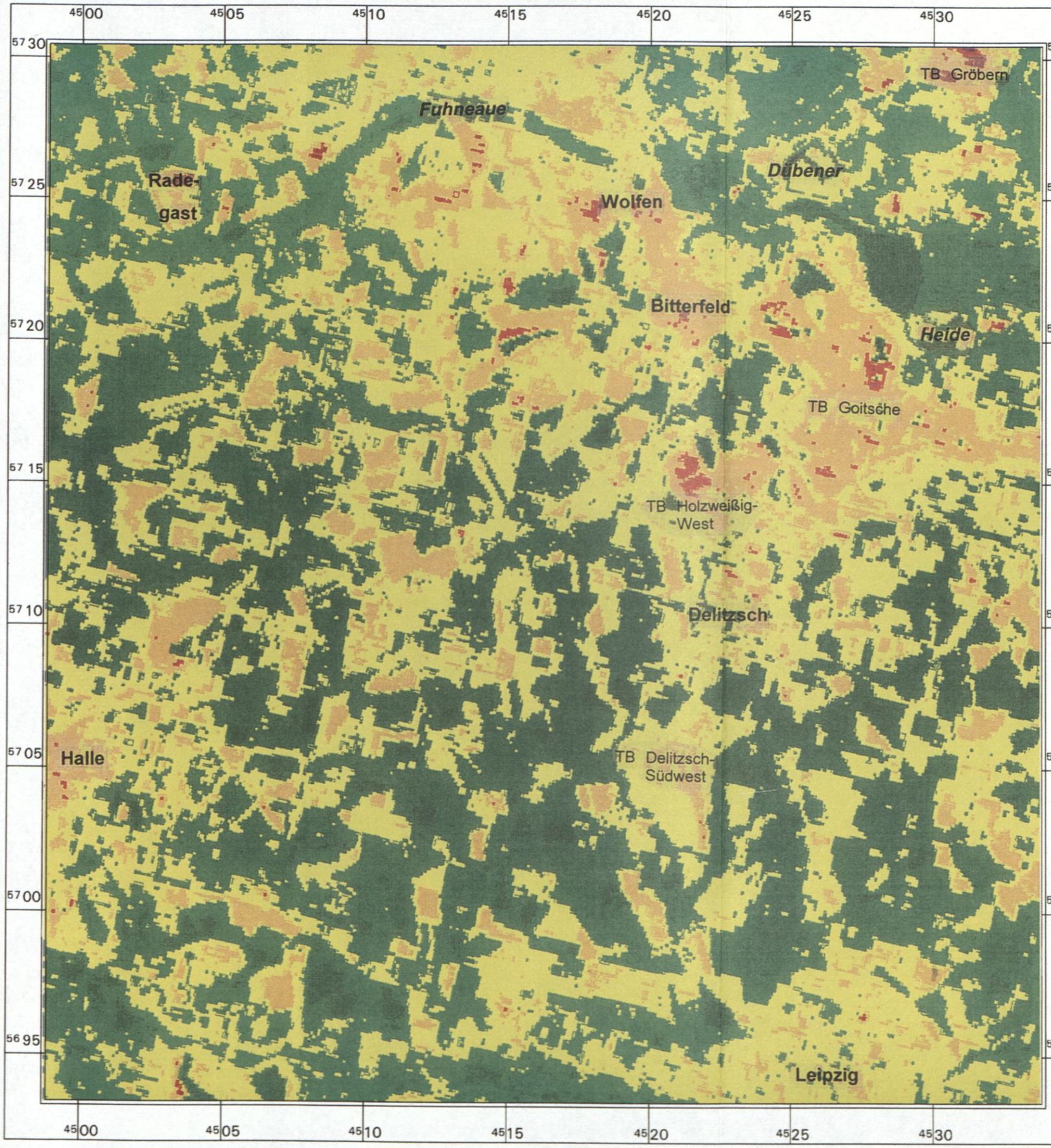
NICOL, J. E. (1994): A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates. - In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, No. 10, pp. 1225-1232.

VALOR, E. & V. CASELLES (1996): Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. - In: Remote Sensing of Environment, Vol. 57, No. 3, pp. 167-184.

VAN DE GRIEND, A. A. & M. OWE (1993): On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. - In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 14, No. 6, pp. 1119-1131.

Autor

Holger Lilienthal studierte bis Ende 1997 *Angewandte Physische Geographie* (Schwerpunkte Fernerkundung und Klimatologie) an der Universität Trier. Er leistete von Februar bis April 1996 ein Praktikum am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH unter der Leitung von Dr. Ellen Banzhaf, Sektion Angewandte Landschaftsökologie, Arbeitsgruppe Geoinformation.



Strahlungstemperatur am 21. Juli 1994 im Raum Leipzig - Halle - Bitterfeld

Maßstab 1 : 140 000

0 — 5 Km

Legende

Temperaturen in °C

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 35
- 35 - 40

Datenquelle

Satellit:	Landsat-5-TM
Aufnahmedatum:	21.07.1994
Bodenauflösung:	120 m x 120 m

Datenbearbeitung

Geometrische Entzerrung:	600 Paßpunkte (Vollszene), mit Polynom 2. Grades
Entzerrungsgrundlage:	TK 25 (N)
Resampling:	Nearest Neighbour, RMS: 0.9
Modifizierung:	Atmosphären-Korrektur Sensorkalibrierung, Berechnung der Strahlungstemperatur
Programm:	ERDAS-Imagine 8.2

Bearbeitung & Kartographie:	H. Lilienthal

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

3.1.2 Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen

Vera Heinz

Einleitung

Da heutzutage die städtische Raumbeobachtung im Zusammenhang mit stadtökologischen Fragestellungen zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist für die Planung die Laufendhaltung der Daten wichtiger denn je. Die herkömmliche Erarbeitung und Nutzung von Statistiken, Kartenmaterialien und CIR-Luftbildern erfordert ein hohes Maß an Arbeits- und Zeiteinsatz. Zusätzlich sind wiederholte Luftbildbefliegungen mit hohen Kosten verbunden und erlauben ohne zusätzlichen Bearbeitungsaufwand keinen räumlichen Gesamtüberblick. Auch der stete Prozeß der Urbanisierung kann somit von der Kommune nur schwer nachvollzogen werden.

Ziel

Vor diesem Hintergrund gilt es zu testen, inwieweit Fernerkundungsmethoden für das Er-kennen von Urbanisierungsprozessen eingesetzt werden können. Insbesondere soll die Erkennbarkeit der Flächennutzung und deren zeitliche Veränderung im Satellitenbild überprüft werden, da diese das Bindeglied in der Fernerkundung zur Urbanisierung darstellen. Hierfür werden unterschiedliche Datenmaterialien mit verschiedenen, möglichst einfachen Methoden bearbeitet und ihre Vor- und Nachteile sowie ihre Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen herausgearbeitet.

Die Stadt Leipzig fungiert als Testgebiet, da sie infolge der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland charakteristische Urbanisierungsprozesse innerhalb kurzer, nachvollziehbarer Zeitreihen wiederspiegelt (vgl. Kap. 5.3.2). Die Ergebnisse sind im Rahmen des von der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA) GmbH geförderten Projektes 'Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig' (FKZ 50 EE 9407) entstanden.

Verschiedene Fernerkundungsmethoden

Innerhalb der Fernerkundung stehen dem Nutzer neben der monosensoralen, monospektralen und monotemporalen Betrachtung einer Satellitenbildszene die multisensoralen, multispektralen und multitemporalen Verarbeitungsmöglichkeiten zur Verfügung (vgl. Abb. 1). Während beispielsweise die multispektrale Arbeit Informationen mehrerer Kanäle zumeist eines Sensors benutzt, werden bei der multisensoralen Bildverarbeitung relativ zeitgleiche Aufnahmen verschiedener Sensoren betrachtet. Für das Erkennen von mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderungen der Oberflächenbedeckung bietet sich das multitemporale Arbeiten an, da es einen Geländeausschnitt zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten betrachtet. Darüberhinaus stehen dem Bearbeiter zahlreiche Möglichkeiten der Raster-GIS-Verknüpfungen offen. Die Fernerkundungsdaten liegen heute zumeist digital mit einer geometrischen Datenbasis vor oder können in dieses Format übertragen werden. Dies erlaubt unzählige Kombinationen zwischen verschiedenen Datenebenen, die aus weiteren Bilddaten, digitalisierten Karten, Referenzdaten, Statistiken etc. bestehen können. Die visuelle Interpretation der

Daten kann direkt am Bildschirm erfolgen, wo mit Hilfe von ZOOM-Funktionen und verschiedenen - temporären - Bildverbesserungen (z.B. Filterungen) im analogen Bild nicht sichtbare Details hervorgehoben werden können.

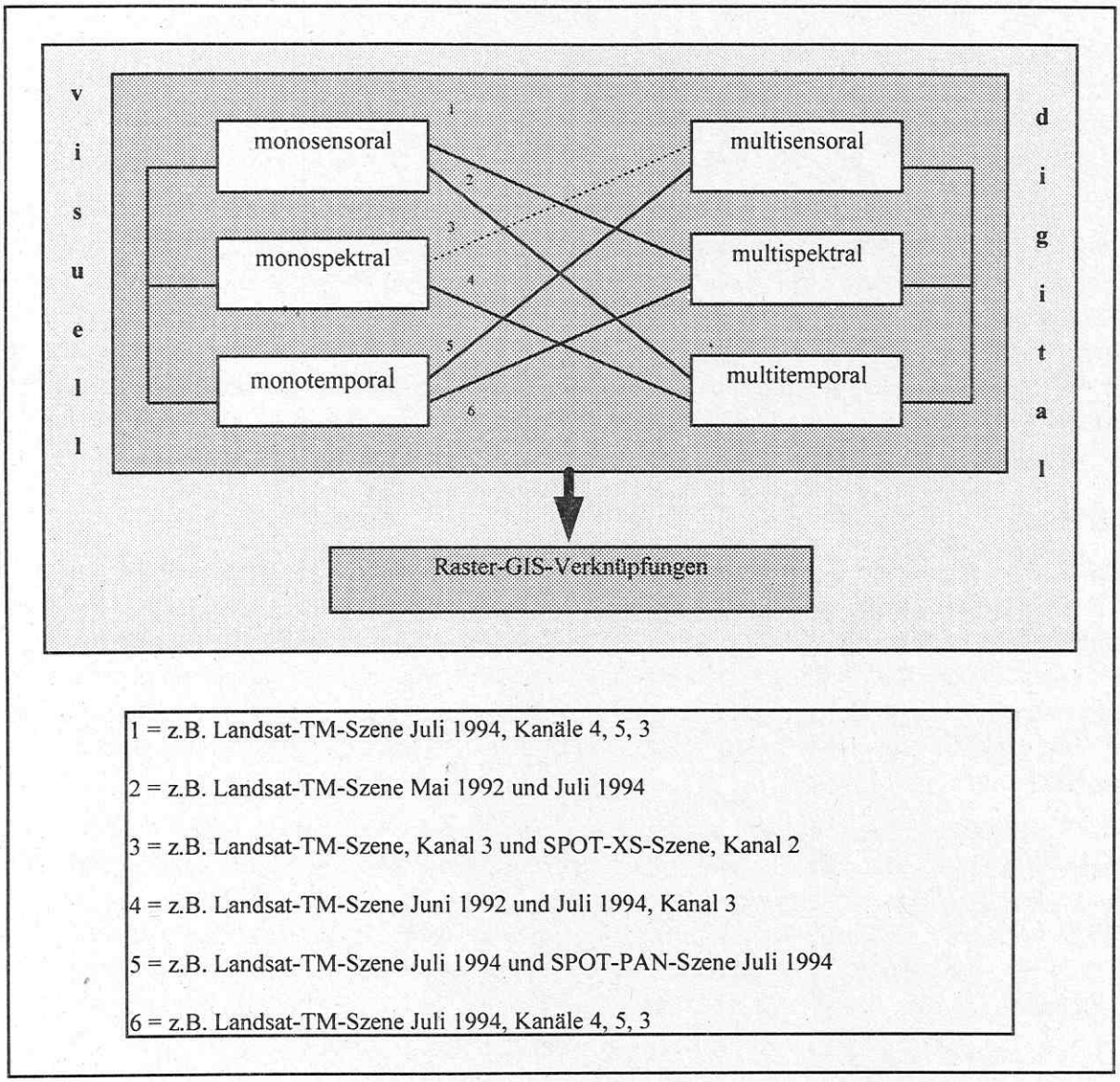


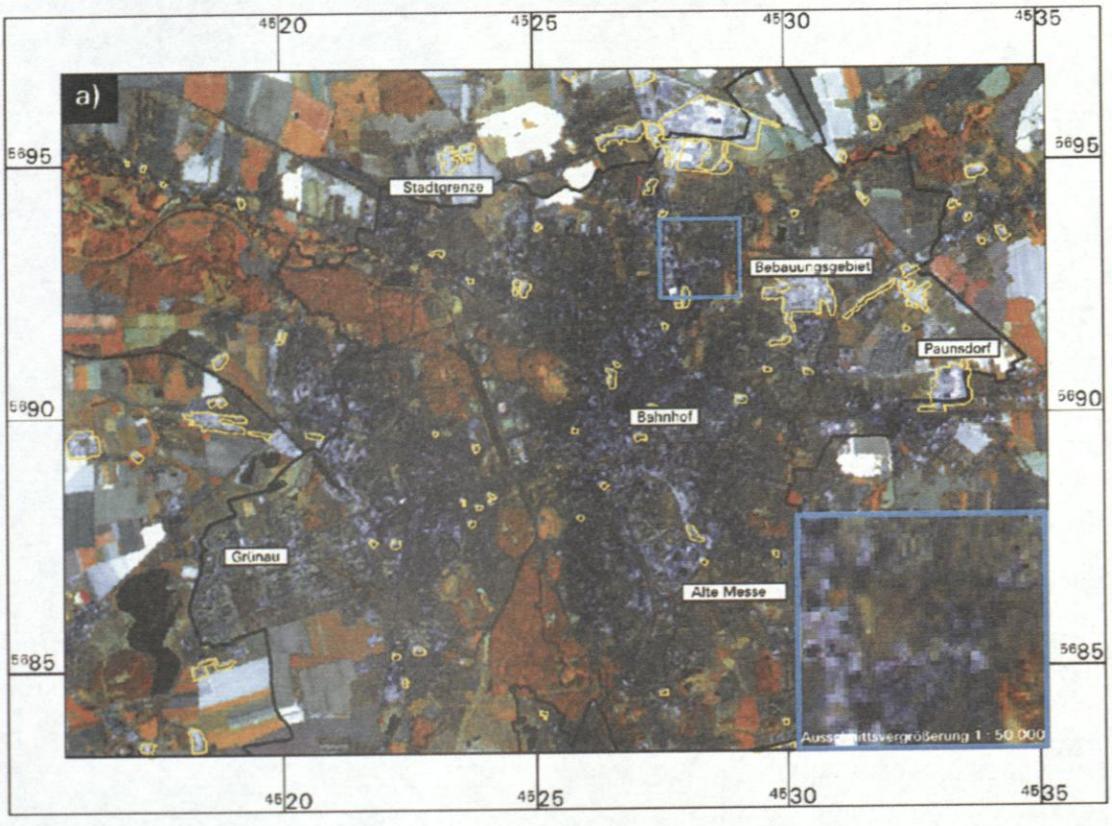
Abb. 1: Arbeitsweisen in der Fernerkundung

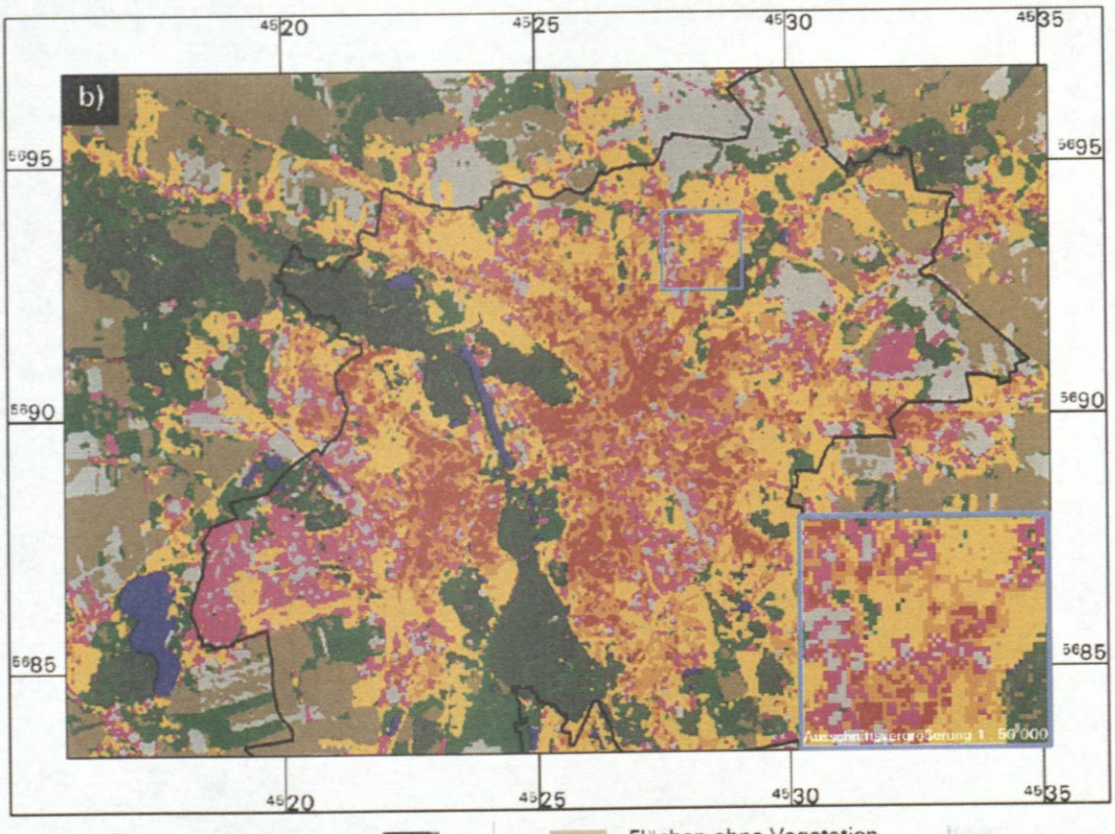
Digitale Visualisierung

Für die Betrachtung städtischer Bereiche in Maßstabsbereichen von 1 : 50 000 und kleiner ist die Darstellung von Landsat-TM-Szenen in der Kanalkombination 4-5-3 gut geeignet (vgl. Abb. 2 a)). Dies entspricht der Zuordnung des nahen Infrarotes (Kanal 4) der Farbe Rot, des mittleren Infrarotes (Kanal 5) der Farbe Grün und des Rots im sichtbaren Bereich (Kanal 3) der Farbe Blau. Demzufolge erscheinen die Flächen mit Vegetation in roten und rostbraunen Tönen, während sich die Stadt in verschiedenen Blautönen unterschiedlicher Helligkeit und Sättigung zeigt. Andere Darstellungen, wie z.B. die Echtfarbdarstellung der Kanäle 3-2-1 oder die Kanalkombination 5-4-2 (Vegetation in Grün und die restlichen Flächen in Falschfarben), eignen sich weniger gut für eine visuelle Interpretation, da innerhalb eines Stadtgebietes die verschiedenen Strukturen einen Informationsverlust erfahren (vgl. GLASER 1986, S. 53).

Abb. 2: Leipzig im Landsat-TM-Bild (Juli 1994)

a) Originalbild (Kanäle 4, 5, 3) mit digitalisierten Bebauungsgebieten
b) Klassifikation





Wasserflächen
Waldflächen
Sonstige Grünflächen
Ackerland
Großblockbebauung
Flächen ohne Vegetation
Flächen hoher Verdichtung
Flächen mittlerer Verdichtung
Flächen geringer Verdichtung

1 : 150 000
0 5 Kilometer

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: Dipl.-Geogr. V. Heinz

DARA gefördert durch: Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten GmbH

Direkt erkennbar auf der Abbildung 2 ist die Ausweitung der Stadt, die sich in dunklen Blau- und Brauntönen, durchsetzt von vielen helleren, bläulichen Pixeln zeigt. Durch die die Stadt umgebenden homogenen, zumeist rötlichen (= vegetationsbestandenen) Flächen wird die städtische Inhomogenität deutlich. Die bebaute Stadtfläche ist vom Umland visuell trennbar. Allerdings sind die Grenzen teilweise undeutlich, da die Außenbereiche der Stadt mit Ein- und Zweifamilienhäusern und Kleingärten viel Vegetation aufweisen und somit in entsprechenden rotbraunen Tönen ähnlich den sie umgebenden Landnutzungsflächen erscheinen. Sie grenzen sich durch ihre starke Reflexion im nahen und mittleren Infrarot aber gut zu den anderen Bebauungsarten ab. Interessant ist die visuelle Unterscheidungs-möglichkeit zwischen der sich zumeist linienhaft abbildenden Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartenanlagen mit ihren relativ homogenen Flächen. Zwei größere Gebiete im Westen (Grünau) und im Osten der Stadt (Paunsdorf) zeigen helle, bläuliche Pixel neben dunkleren, rotbräunlichen Bereichen und einen inhomogenen Charakter. Erkennbar ist die typisch blockige Struktur der abgebildeten Großformbebauung, die durch die großen Gebäude und winkelförmige Bebauung induziert wird.

Andere hellere Gebiete innerhalb der Stadt mit insgesamt kräftigerer Farbgebung und geringerer Blockstruktur sind den Industrie- und Gewerbegebieten zuzuordnen (z.B. Alte Messe). Sie lassen sich anhand nebeneinander vorkommender Bereiche sehr heller, blau-weißer und dunkelblauer Pixel erkennen. Dazwischen befinden sich weitere Blautöne in vielen Farbabstufungen sowie auch rosafarbene und grünliche Pixel. Diese Flächen zeichnen sich durch - die spektrale Inhomogenität verstärkende - verschiedenste Baustrukturen und unterschiedlichste Dachmaterialien aus. Hingegen bilden sich Altindustriegebiete im Satellitenbild nicht ab, da sich dort nur die Funktion der Fläche bei Beibehaltung der Oberflächenbedeckung verändert.

Des weiteren erscheint der Kernbereich der Stadt im Südwesten des Hauptbahnhofes als ein Bereich ähnlicher Inhomogenität wie der der Industriegelände. Er setzt sich aus kleineren Flächen bei geringerer Ausnutzung des Farbraumes zusammen. Der für Industriegelände verdeutlichte typische Charakter fehlt. Die übrigen städtischen Bereiche sind zumeist der Block- und Mischbebauung zuzuordnen.

Über den visuellen, multitemporalen Vergleich zweier Landsat-TM-Szenen, der pixelweise direkt am Bildschirm vorgenommen werden kann, lassen sich auf Urbanisierungsprozesse zurückzuführende Nutzungsänderungen anhand unterschiedlicher Farbgebungen erkennen. Momentane Bebauungsgebiete zeichnen sich durch auffällig helle, blaue und nahezu weiße Bereiche mit zum Teil erkennbaren einzelnen Gebäudestrukturen aus. Durch ihr markantes Hervortreten können sie im Satellitenbild visuell erfaßt und digitalisiert werden, bedürfen allerdings einer einzelnen Überprüfung im Luftbild oder durch Ortsbegehung. Für die Identifikation wird eine minimale Fläche von einem halben Hektar benötigt. Selbst innerhalb der Stadt können somit Großprojekte erfaßt werden.

Digitale Klassifikation

Eine weitere Möglichkeit der Informationsextraktion stellt die digitale Klassifikation einer Satellitenbildszene dar, bei der das Bild in verschiedene Flächennutzungsklassen thematisiert wird. Bei der unüberwachten Klassifikation - der sogenannten Clusteranalyse - werden die Klassen aufgrund der Lage der Merkmalsvektoren im Merkmalsraum auf rein mathematischem Wege gebildet. Hingegen wird bei der überwachten Klassifikation die Klassenbildung direkt durch den Bearbeiter beeinflußt, der mit der Auswahl sogenannter Testgebiete für die gewählten Klassen stichprobenhaft die spektralen Eigenschaften abfragt. Diese Stichproben-

grundlage charakterisiert die Klassen statistisch. Bei der nachfolgenden Klassenbildung erfolgt die Zuordnung der einzelnen Bildelemente zu diesen nach verschiedenen statistischen Zuordnungsregeln (VOGT 1990, S. 102ff.).

Nach einer erfolgreich durchgeführten Klassifikation ist die Ergebnisevaluierung wichtig, bei der mit Hilfe von Stichproben das klassifizierte Bild mit der Realität verglichen wird. Die Beurteilung der Güte des Ergebnisses zeigt neben einer prozentualen Gesamtgenauigkeit auch die Klassen mit größeren Unsicherheiten, bei denen eine Überarbeitung erfolgen sollte.

Als beste Methode für die Klassifikation einer Landsat-TM-Szene für die Fragestellung konnte eine hierarchische Klassifikation entwickelt werden, die interaktiv überwachte und unüberwachte Klassifikationsschritte sowie Maskierungen miteinander verknüpft (vgl. Abb. 3).

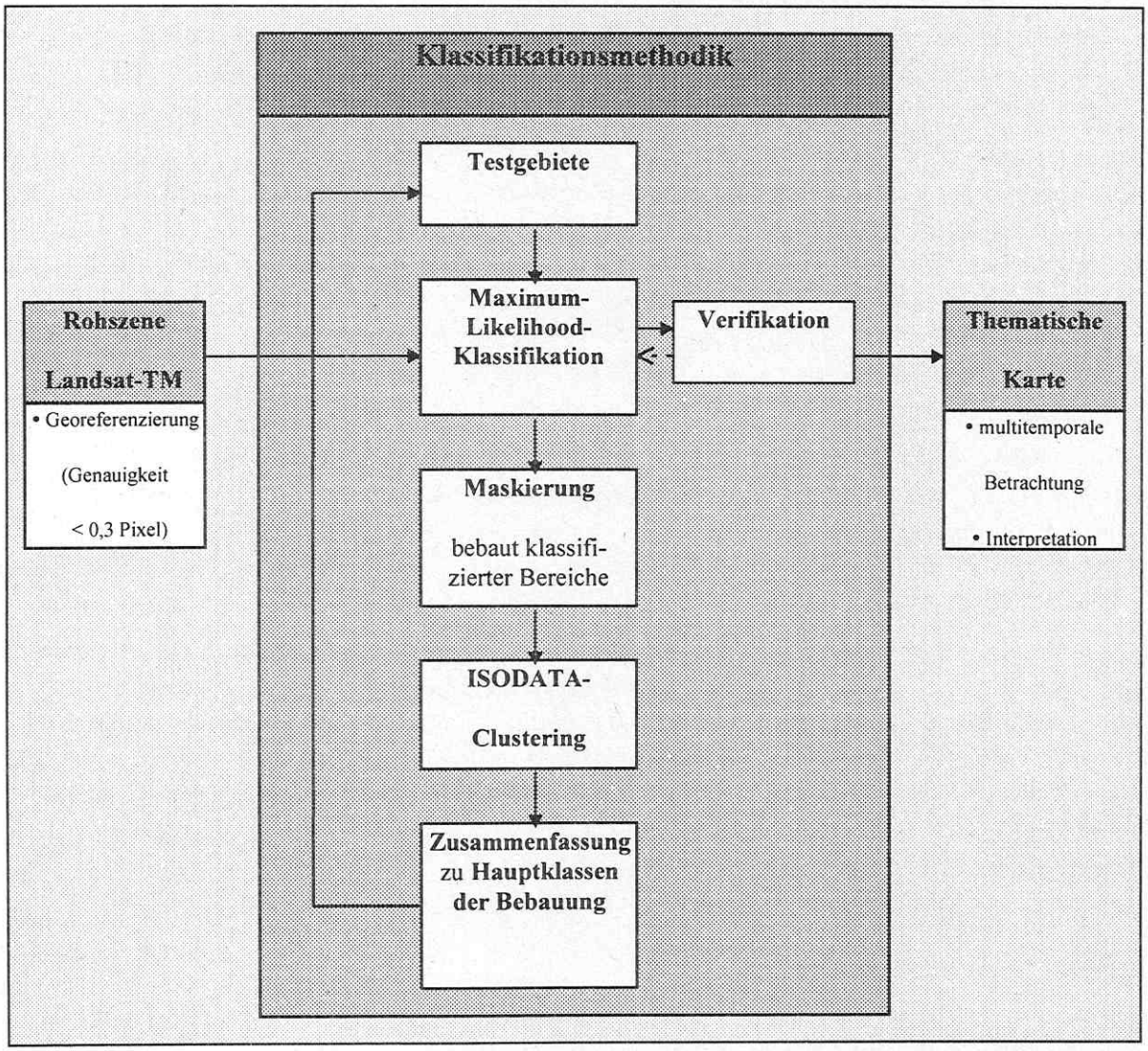


Abb. 3: Ablaufschema einer hierarchischen Klassifikation (eigener Entwurf)

Die Anwendung dieser Klassifikation auf eine Landsat-TM-Szene läßt ebenfalls die sternförmige Ausbreitung der Stadt entlang radialer Achsen deutlich werden (vgl. Abb. 2 b)). Innerhalb der bebauten Fläche können drei Bereiche unterschiedlicher Verdichtung und somit unterschiedlicher Durchgrünung differenziert werden. Aufgrund der konzentrischen Anordnung läßt sich ein Gradient der Versiegelungsdichte vom Stadtinneren (Flächen hoher Verdichtung) zu den Randbereichen (Flächen geringer Verdichtung) hin definieren. Während diese soge-

nannten 'Stadtklassen' aufgrund ihrer Kleinstrukturierung und ihrer Zusammensetzung aus Mischpixeln klassifiziert werden können, bildet sich die Klasse 'Großblockbebauung' infolge der vielen homogenen Pixel neben wenigen Mischpixeln lückenhaft ab. Sie wird durchzogen von Bereichen mit Flächen ohne Vegetation, so daß die relative Aussage abgeleitet werden kann, 'je weniger Pixel mit der Identität 'Fläche ohne Vegetation' neben Pixeln mit Großblockbebauung vorhanden sind, desto wahrscheinlicher ist die Fläche der Klasse 'Großblockbebauung' zuzuordnen'. Andererseits können viele Pixel mit der Identität 'Fläche ohne Vegetation' neben wenigen mit der Information für Großblockbebauung einen relativen Hinweis auf ein momentanes Bebauungsgebiet geben.

Die multitemporale Betrachtung setzt die Angleichung der Szenen aneinander und die möglichst genaue geometrische Entzerrung voraus. Mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung können einheitliche Klassifikationen dann pixelweise auf Flächennutzungsveränderungen hin untersucht werden, die als Veränderungen in den jeweils zugeordneten Klassen zu verstehen sind. Die Zuweisung der Bildelemente zu den einzelnen Klassen kann bei unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten differieren, da zum einen echte Nutzungsänderungen und zum anderen unterschiedliche Bildelementzuweisungen bei gleichgebliebener Flächennutzung aufgrund zum Beispiel der Phänologie und Unschärfen bei der Georeferenzierung vorkommen können.

Der Trend der Flächennutzungsänderungen - die mit Urbanisierungsprozessen einhergehende Ver- oder Entdichtung - ist im klassifizierten Satellitenbild bei multitemporalem Vergleich erkennbar. Aussagen im Einzelpixelbereich sind aber sehr unsicher. Für eine eindeutige Unterscheidung zwischen Ackerland und Flächen ohne Vegetation stellen drei Aufnahmen während der Vegetationsperiode ein Optimum dar.

Digitale Kombination von Daten unterschiedlicher Auflösung

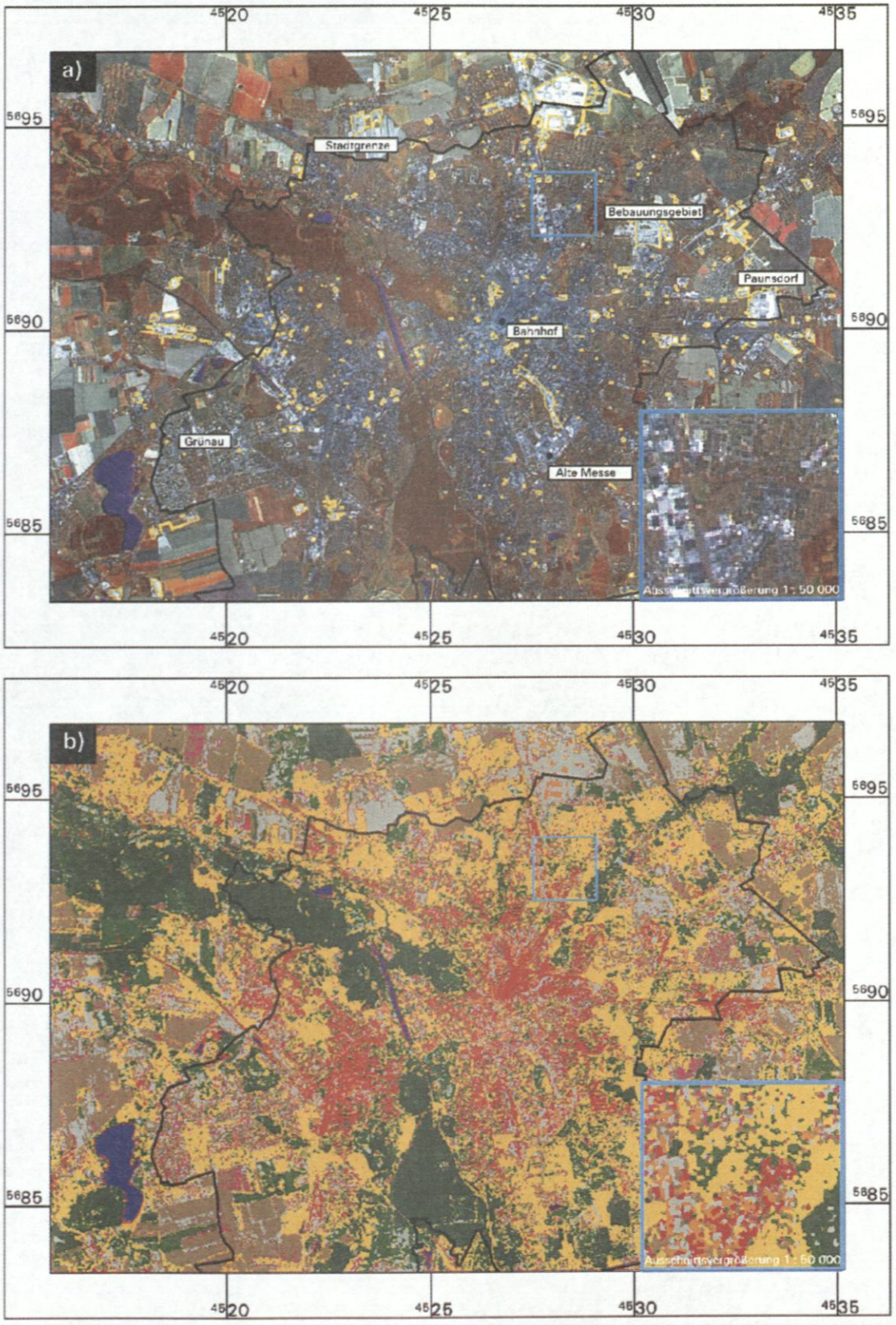
Von den softwareseitig angebotenen Verschneidungsmöglichkeiten von Bilddaten hoher geometrischer bei geringer spektraler mit Bilddaten geringer geometrischer bei hoher spektraler Auflösung (vgl. Kap. 3.1) hat sich die RGB-IHS-RGB-Transformation als Methode mit den besten Ergebnissen erwiesen.

Anwendungsbeispiel Landsat-TM - SPOT-PAN

Beispielhaft sei das Verfahren für Landsat-TM (höhere spektrale Auflösung) und SPOT-PAN (höhere geometrische Auflösung) vorgestellt, dessen Arbeitsbereich zwischen den Maßstäben 1 : 50 000 und 1 : 25 000 liegt. Die Grundvoraussetzung für die RGB-IHS-RGB-Transformation stellt wiederum die geometrische Entzerrung dar, die nach dem Bild-zu-Bild-Verfahren zwecks Fehlerminimierung durchgeführt werden sollte. Dann werden der gewünschte Bildausschnitt sowie die beste Kanalkombination im Landsat-TM-Bild bestimmt. Es sind dies die Kanäle 4, 5 und 3, die auch für die visuelle Interpretation eingesetzt worden sind. Sie werden nach dem Resampling der Pixel auf die Größe der Bildelemente des SPOT-PAN-Bildes aus dem RGB- (= Rot, Grün, Blau) in den IHS-Raum überführt (vgl. Kap. 3.1 - Bildverbesserung und visuelle Interpretation).

Abb. 4: Leipzig im Landsat-TM-/SPOT-PAN-Bild (Juli 1994)

a) Verschneidungsprodukt (RGB-IHS-RGB-Transformation) mit digitalisierten Bebauungsgebieten
b) Klassifikation



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: E. Banzhaf, C. Burkard, V. Heinz, W. Koch, U. Steinhardt

gefördert durch: Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten GmbH

Für städtische Fragestellungen lohnt sich eine vorherige Kantenfilterung des SPOT-PAN-Kanals zur Verstärkung seiner geometrischen Information. Die so entstandenen drei Kanäle werden wieder in den RGB-Raum transformiert. Das Ergebnis ist ein dreikanaliges Bild, das in seiner Farbgebung dem eines CIR-Luftbildes ähnelt. Die spektralen Informationen des Ausgangsbildes (Landsat-TM) sind durch die Kanten- und Linieninformation von Häuserkomplexen und Straßen des SPOT-PAN-Bildes ergänzt worden (vgl. Abb. 4 a)). Innerhalb der Stadt ist die Detailerkennbarkeit deutlich gegenüber dem Landsat-TM-Bild erhöht (vgl. Abb. 2 a)). Hierzu gehört zum Beispiel das Straßennetz, das sich vor allem im Süden der Stadt rechtwinklig abbildet. Es sind eine genauere Stadt-Umland-Abgrenzung sowie eine Unterscheidung verschieden bebauter Bereiche möglich. Der Stadtkern läßt sich eindeutig und mit höherer Genauigkeit als beim Landsat-TM-Bild identifizieren. Auch Industrie- und Gewerbegebiete sind visuell leichter erkennbar, da sie infolge des Nebeneinanders verschiedener Dachbedeckungen unterschiedliches Reflexionsvermögen aufweisen und zusätzlich mit der geometrischen Information des SPOT-PAN-Kanals belegt sind. Dies führt auch zur zusätzlichen Erkennbarkeit einzelner Häuserblöcke und durchgrünter Bereiche - unter anderem bei den Großblocksiedlungen.

Die verbesserte Identifikation von Einzelstrukturen sowie die gewählte Kanalkombination ermöglichen eine genauere Digitalisierung von Bebauungsgebieten als bei der Landsat-TM-Szene (vgl. Abb. 4 a) und Abb. 2 a)). Die Mindestgröße für ihre Erkennbarkeit liegt hier bei 0,06 ha (= 6 Pixel) und ist damit neun mal so gut wie im Landsat-TM-Bild. Schon ab 100 m² Größe sind mögliche Veränderungen sichtbar, die aber einer Fehlerquote von 50 % unterliegen.

Die Klassifikation des Verschneidungsproduktes zeigt mit 74 % Klassifikationsgenauigkeit ein deutlich schlechteres Ergebnis als die des Landsat-TM-Bildes mit 85 % (vgl. Abb. 4 b) u. 2 b)).

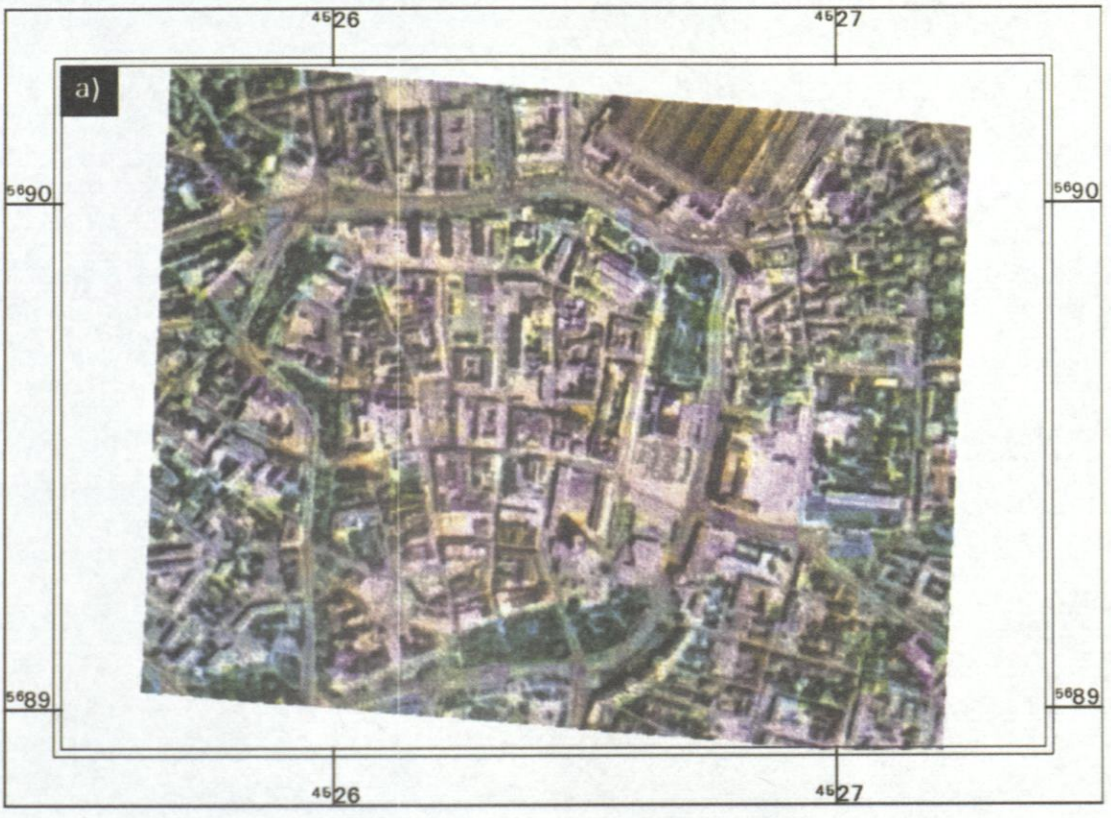
Das eigentliche Ziel einer Klassifikation - die Thematisierung des Bildes für eine vereinfachte Interpretation - wird nicht erreicht. Insgesamt veranschaulicht die abgebildete, gefilterte Klassifikation ein inhomogenes Bild, das die Stadt-Umland-Trennung und das Erkennen der Achsenstruktur erschwert. Durch das häufige Nebeneinander verschiedener Pixel unterschiedlicher Information lassen sich homogene Bereiche schwer ausgliedern. Die Großblockbebauung ist nicht identifizierbar. Sie setzt sich aus Pixeln mit der spektralen Information für Großblockbebauung, Ackerland und Flächen ohne Vegetation zusammen und erscheint dementsprechend zum Teil auch auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Problematisch gestalten sich die Randbereiche verschieden genutzter Flächen, da infolge der unterschiedlichen geometrischen Auflösung von SPOT-PAN und Landsat-TM neue Mischpixel durch die RGB-IHS-RGB-Transformation entstehen, die keine thematische bzw. spektrale Zuordnung erfahren können.

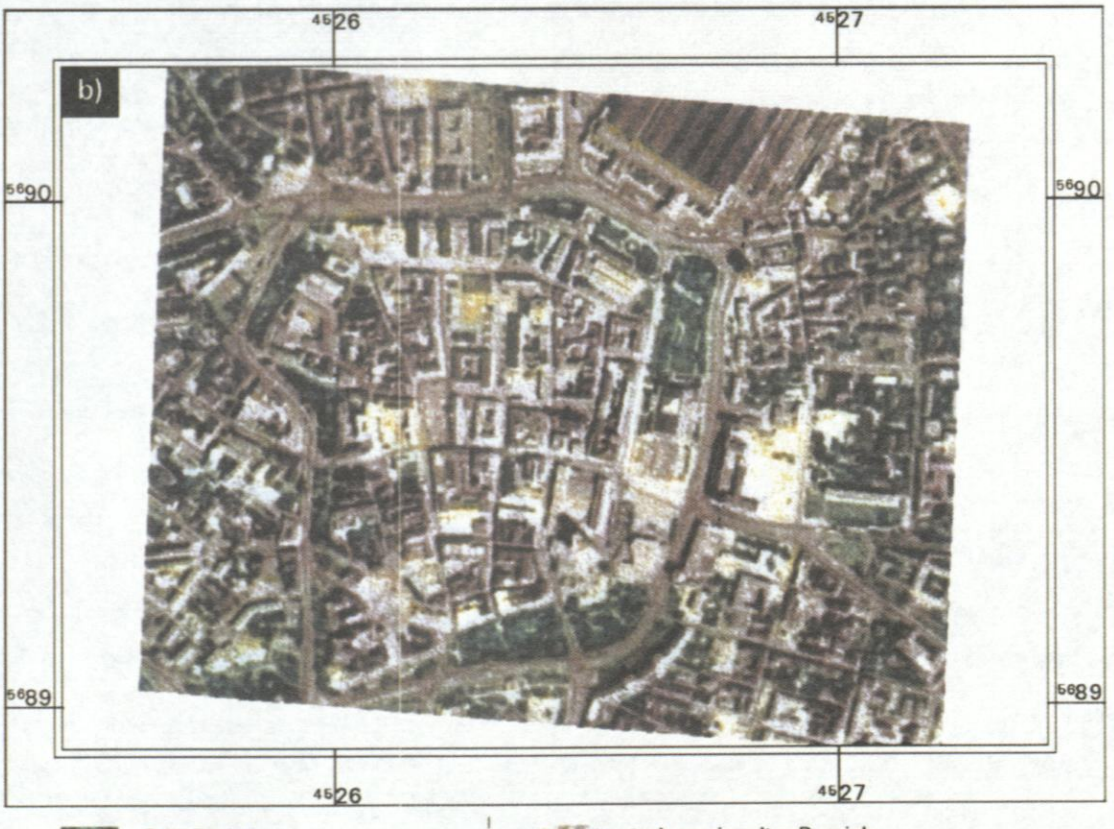
Anwendungsbeispiele KVR-1000 - Landsat-TM und KVR-1000 - KFA-1000

Zur Demonstration des Einflusses der geometrischen Auflösung und zur Darstellung der Möglichkeiten der Datenverschneidung sei das Verschneidungsprodukt Landsat-TM mit KVR-1000 (= High Resolution Camera) dem von KFA-1000 (= Photogrammetrische Color-Infrarot-Kamera) mit KVR-1000 mit seinem größeren Maßstabsbereich von 1 : 5 000 bis 1 : 10 000 am Beispiel der Kernstadt von Leipzig gegenübergestellt (vgl. Abb. 5 a) u. b)).

Abb. 5: Leipzig in Verschneidungsprodukten (Mai 1992)

a) Verschneidungsprodukt (RGB-IHS-RGB-Transformation) Landsat-TM (Kanäle 5, 4, 3) / KVR-1000
b) Verschneidungsprodukt (RGB-IHS-RGB-Transformation) KFA-1000 / KVR-1000





Grünfläche
Gebäude
Straße
Schatten
Bebauungsprojekt

stark versiegelter Bereich
stark durchgrünter Bereich

1 : 15 000
0 0,5 Kilometer

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: Dipl.-Geogr. V. Heinz

gefördert durch: Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten GmbH

Bei der Kombination der hohen geometrischen Auflösung (2 x 2 m) des KVR-1000-Bildes erscheint die spektrale Information von Landsat-TM infolge seiner geringeren geometrischen Auflösung nur annähernd mit Details übereinstimmend (vgl. Abb. 5 a)). Die 30 m-Pixel überragen zum Beispiel deutlich die Grünflächen des Innenstadtringes im Süden. Trotzdem erlaubt das Verschneidungsprodukt eine Trennung unterschiedlich stark durchgrünter Bereiche. So läßt sich im östlichen Teil des Bildes aufgrund des intensiveren Grüntones (Kanalkombination 5, 4, 3) auf eine stärkere Durchgrünung und somit einen geringeren Versiegelungsgrad schließen als im Bereich innerhalb des Ringes. Deutlich werden auch Unterschiede innerhalb der Bebauung. Bei ähnlicher Farbgebung kann aufgrund der detaillierten geometrischen Information zwischen Bereichen mit überwiegend Blockrandbebauung im Nordosten und Blockbebauung im Westen unterschieden werden. Trotz der groben Pixel von Landsat-TM heben sich einzelne Gebäude deutlich voneinander ab.

Das Verschneidungsprodukt KVR-1000 mit KFA-1000 wirkt infolge der hohen geometrischen Auflösung beider schärfer (vgl. Abb. 5 b)). Die vegetationsbestandenen Flächen können besser abgegrenzt werden, da sich die entsprechende spektrale Information relativ lagegenau abbildet. Unterschiedliche Gebiete werden nicht von fremden Informationen überdeckt. Schatten von Gebäuden, Strukturen innerhalb der Grünflächen und verschiedene Bebauungs- / Gebäudearten sind differenzierbar. Momentane Bebauungsprojekte lassen sich als helle, gelblich-weiß erscheinende Bereiche erkennen. Weiße, weiß-gräuliche bis hellbraun-rötliche Färbungen weisen auf stark versiegelte Bereiche hin.

Schlußfolgerung

Bei der fernerkundungsmethodischen Untersuchung der auf Urbanisierungsprozesse hinweisenden Veränderung der Oberflächenbedeckung sollte auch in Zukunft die visuelle Interpretation nicht vernachlässigt werden. Ein georeferenziertes 'Rohbild' enthält eine Fülle an Informationen zur Oberflächenbedeckung, die für eine Interpretation wichtig sind. Wie die Untersuchung gezeigt hat, können im Laufe der einzelnen Verarbeitungsschritte der digitalen Bildverarbeitung viele dieser Informationen für den Betrachter verloren gehen. Andere hingegen werden aber erst sichtbar. Zudem sind Klassifikationen infolge der Mischpixelproblematik und der Inkongruenz zwischen Flächennutzung (engl. land use) und Oberflächenart (engl. surface cover) fehlerbehaftet (ACHEN 1993, S. 54). Für eine umfassende Analyse der Veränderung der Oberflächenbedeckung als ein Teilbereich ablaufender Urbanisierungsprozesse erscheint es deshalb sinnvoll, - wie gezeigt - die Interpretation verschiedener Datenbasen (Rohbild analog und am Bildschirm, Klassifikation, Verschneidungsprodukt, etc.) auszunutzen und zu kombinieren. Zu beachten ist dabei, daß bei einer Erhöhung der geometrischen Auflösung die Detailerkennbarkeit zunimmt bei stark abnehmendem Informationsgehalt der jeweiligen Klassifikation infolge der vermehrt auftretenden homogenen Pixel. Je nach der Fragestellung sollten die am besten geeigneten Fernerkundungsmaterialien und -methoden für ein möglichst optimales Ergebnis eingesetzt werden. So ist für die Analyse der Stadtstruktur und deren Veränderungen im Zuge ablaufender Urbanisierungsprozesse die Klassifikation einer Landsat-TM-Szene - trotz ihrer geringeren geometrischen Auflösung - besser geeignet als ein Verschneidungsprodukt aus Landsat-TM- und SPOT-PAN-Szenen. Das Arbeiten mit Referenzdaten und Masken verbessert die Aussagen über verschiedene Nutzungstypen in urbanen Räumen wesentlich.

Bei der Durchführung von Klassifikationen können durch das Arbeiten mit Siedlungsmasken und Referenzmaterialien optimierte Ergebnisse erzielt werden. Die hierarchische Klassifikation (vgl. Abb. 3) mit ihrer Bestimmung der Oberflächenbedeckung innerhalb maskierter

Bereiche stellt für die Untersuchung von mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderungen der Flächennutzung eine genauere und detailliertere Methode dar als eine herkömmliche Maximum-Likelihood-Klassifikation.

Es ist deutlich geworden, daß neben der spektralen Auflösung vor allem die Erhöhung der geometrischen Auflösung zu einer Vergrößerung des Informationsgehaltes führt. Ab Auflösungen von ca. 5 m und besser werden Bereiche erreicht, in denen Veränderungen der Oberflächenbedeckung - zum Beispiel Neubauten oder Durchgrünungen - im Detail lokalisiert werden können. Erst diese Größenordnungen bieten für den Planer eine akzeptable Planungsgrundlage zur kostengünstigen Ergänzung teurer und zeitaufwendiger Luftbildbefliegungen. Weitere Vorteile liegen im Gesamtüberblick, der zeitlichen Repetition bei operationellen Aufnahmesystemen und dem digitalen Format, das jederzeit Verknüpfungen mit weiteren GIS-Daten und die Integration in dieses erlaubt. Während sich für die regionale Planung eher die geometrisch grob auflösenden Daten mit Maßstabsebenen zwischen 1 : 50 000 und 1 : 100 000 eignen, benötigt die Stadtplanung größere Maßstäbe bis hin zur Flurstückserkennbarkeit (1 : 5 000 bis 1 : 10 000). Diesbezüglich existieren heutzutage noch keine operationellen Fernerkundungssysteme. Mit den Daten des Stereoscanners MOMS-2P mit 4,5 m Auflösung im panchromatischen Bereich mit Stereomöglichkeit und 12,5 m Auflösung im Multispektralbereich wird ein nächster Schritt hin zur Nutzungsmöglichkeit auch in der kommunalen Planung erwartet. Er arbeitet probeweise seit Ende Mai 1996 auf der MIR-Station. Seine kommerzielle Nutzung - auch für die Unterstützung bei der Untersuchung von Urbanisierungsprozessen wird angestrebt (vgl. dazu auch Kap. 3.1 - Aufnahmesysteme im Überblick).

Literatur

ACHEN, M. (1993): Untersuchungen über Nutzungsmöglichkeiten von Satellitenbilddaten für eine ökologisch orientierte Stadtplanung am Beispiel Heidelberg. - Heidelberger Geographische Arbeiten, H. 91. Heidelberg.

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. Köln.

VOGT, J. (1990): Grundlagen der Digitalen Bildverarbeitung in der Fernerkundung. - Universität Trier.

3.2 Geographische Informationssysteme

Hans Dieter Kasperidus & Angela Lausch

Einleitung

Das Wesen von Informationssystemen ist die organisierte und strukturierte Daten- und Wissensspeicherung über bestimmte Gegenstände und Objekte der realen Welt. Durch die Verknüpfung der Daten sollen neue Informationen gewonnen und in kommunikativer Weise dargestellt und ausgetauscht werden (GANSER, 1995). Ein Informationssystem muß nicht unbedingt an ein technisches System gebunden sein. In der Regel fallen bei komplexen landschaftsökologischen Studien immense Datenmengen an, so daß heute jedoch kaum noch sinnvoll ist, Informationssysteme ohne die Hilfe von Computersystemen aufzubauen. Ein weiteres wichtiges Argument für ihren Einsatz ist der Datentransfer über Netzwerke. Ein Computersystem besteht aus Geräten (Hardware: Computer, Bildschirm, Netzwerkkarten, Drucker, Scanner, etc.) und den Programmen (Software), die die Datenverwaltung und Datenverarbeitung sowie die Darstellung und Ausgabe der Daten, Informationen und Auswertungsergebnisse ermöglichen. Nur mit leistungsfähigen Computersystemen, wie sie heute durchaus schon auf dem Personal Computer (PC) Markt angeboten werden, sind die hohen Ansprüche an die schnelle Verfügbarkeit, den globalen Informationstransfer über Netzwerke (Internet und Intranet), die intuitive Vermittlung von Informationen sowie an die Anwendung von komplexen Auswertungsmethoden möglich. Informationssysteme können die in Dateien gespeicherten Daten in vielfältigster Form verarbeiten und darstellen. Man spricht von der multimedialen Datenverarbeitung, die Zahlen, Texte, Graphiken, Fotos, 3-D-Darstellungen, Töne, Sprache, Animationen oder Videos verbindet. Mehrere fach- bzw. aufgabenspezifisch zusammengehörige Dateien, die in vielfältiger Weise in Beziehung zueinander gebracht werden können, werden als Datenbank bezeichnet.

Ein geographisches Informationssystem (GIS) wird speziell für raumbezogene Fragestellungen eingesetzt. Ein GIS ist eine organisierte Zusammenstellung von Hard- und Software, von geographischen, d. h. räumlichen Informationen und deren beschreibenden Merkmalen. Der zielgerichtete und weiterführende Einsatz von GIS erfordert Wissen über die Organisation und Struktur der Datenbasis sowie ihrer verschiedenen Möglichkeiten der Verknüpfung und Auswertung. Von gleicher Bedeutung ist das fachliche Know-how über die Inhalte und Aussagefähigkeit der Daten sowie die Anfertigung aussagekräftiger Ergebnisprodukte (z.B. thematische Karten, 3-D Darstellungen, Flächenstatistiken). Durch die Einbeziehung von Fachkräften, die mit einem GIS alle Formen von raumbezogenen Informationen erfassen, speichern, aktualisieren, modifizieren und es problembezogen zur Modellierung und Visualisierung verwenden (vgl. Abb. 1), wird eine rein technische Definition überwunden. Mit dieser Sicht, die den Inhalt und den Anwender mit seinem Know-how berücksichtigt, wird der Systemcharakter dieses Instrumentariums hervorgehoben. Die Rolle des Menschen als Anwender ist in dieser Frage elementar, gerade in Bezug auf die Auswahl und Bedienung der edv-technischen Komponenten sowohl der organisatorischen und inhaltlichen Strukturierung der Inhalte als auch in Bezug auf die Anwendungsmöglichkeiten und Nutzerfreundlichkeit des Gesamtsystems. Fehler im Gesamtkonzept eines GIS lassen sich nach der Implementationsphase nur mit hohem finanziellem Aufwand beseitigen (WALLACE, 1995).

Geographische Informationssysteme haben in vielen Bereichen der Forschung, Planung und Verwaltung ihren festen Platz als unverzichtbares Arbeitsinstrument gefunden. Das Vorhandensein eines GIS gibt allein jedoch noch keine Gewähr für akzeptable Problemlösungen. Dafür ist der Anwender verantwortlich.

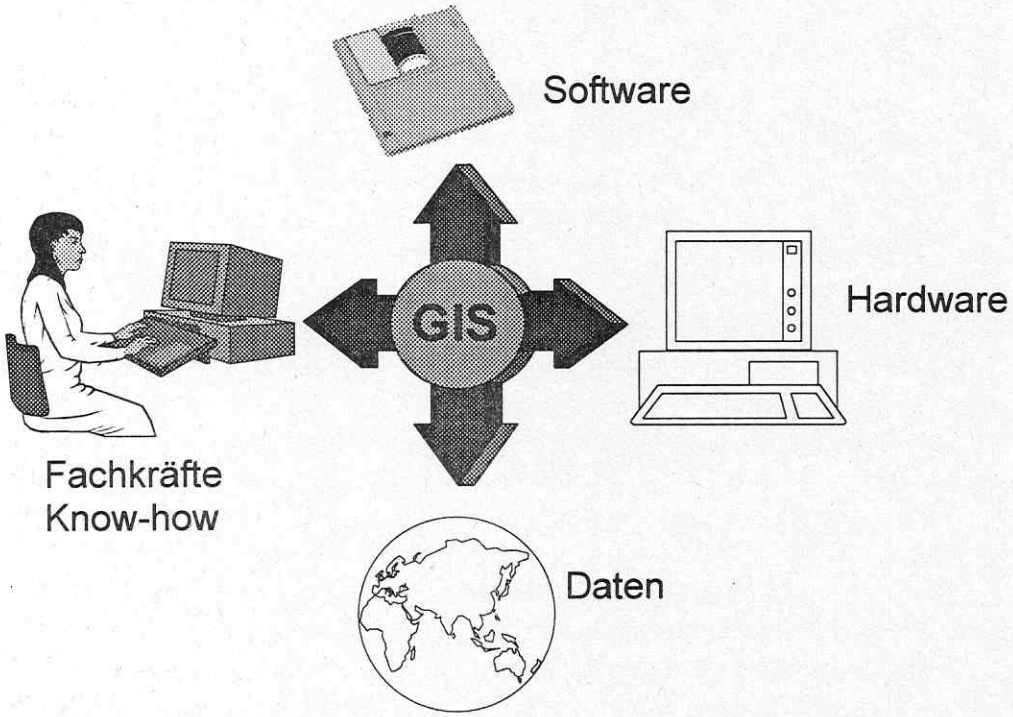


Abb. 1: Komponenten eines geographischen Informationssystems (nach ESRI, 1994).

Die Integration flächenbezogener Informationen - Overlay-Methode

In den 60er und 70er Jahren entwickelte sich ein neuer Umgang mit flächenbezogenen Informationen. Für viele Fragestellungen integrierter Studien der Raum- und Landschaftsplanung sowie des Ressourcenmanagements ist es notwendig, raumbezogene und in sich homogene Kategorien zu definieren. Die Kategorien umfassen Parameter wie Relief, Geologie, Boden, Wasserhaushalt, Vegetation, Landnutzung (vgl. Kap. 2; Kap. 5.1). Sie bilden die Basis für eine umfassende ganzheitliche Bearbeitung von Fragestellungen der Landschaftsökologie und Landnutzungsplanung.

Geographen und Landschaftsplaner - insbesondere Landschaftsarchitekten in den USA - entwickelten die Overlay-Methode zur Herstellung von integrierten Karten mit hohem Informationsniveau. Sie nahmen die zur Lösung ihres Planungsproblems benötigten Fachkarten, möglichst als durchsichtige Transparente, überlagerten sie auf einen Leuchttisch und schauten, welche Themenbereiche sich in welcher Art und Weise deckten und überlappten. Auf diese Weise konnten neue thematische Karten gezeichnet werden, die die relevanten Informationen aus den verschiedensten Themenbereichen miteinander verknüpften und die zu neuen Inhalten und Aussagen führten. Der amerikanische Landschaftsarchitekt MCHARG (1969) ist einer der bekanntesten, der diese Methode erfolgreich anwendete und publizierte. Das Problem dieser Methode war jedoch der immense und zeitraubende Prozeß des manuellen Kartenzeichnens und der manuellen Kartenauswertung.

Die Entwicklung der ersten GIS-Programme fällt auch in diese Zeit. Sie sollten dieses Problem lösen helfen. Die ersten GIS-Programme wie SYMAP, GRID, IMGRID, GEOMAP waren rasterorientiert und daher gut geeignet, verschiedene thematische Karten digital zu überla-

gern. Die erste Computergeneration hatte im Vergleich zu den Leistungsmerkmalen der heutigen Computer jedoch nur eine geringe Prozessorgeschwindigkeit und eine begrenzte Speicherkapazität, so daß die räumliche Auflösung der ersten digitalen Karten relativ gering war, da sie den technologischen Voraussetzungen angepaßt werden mußten. Außerdem gab es kaum leistungsfähige Ausgabegeräte, so daß die mit Zeilendruckern erstellten Ausgabekarten den hohen Anforderungen der etablierten Kartographie kaum genügen konnten (STEINITZ, 1993). Die Entwicklung der vektorbasierten GIS-Programme brachte hier eine spürbare Verbesserung der Ergebnisse, da analoge Karten detailgetreu in digitaler Form erfaßt und mit verbesserter Drucker- und Plottertechnik auf höherem kartographischem Niveau ausgegeben werden konnten. Auch konnte das Problem der Kartenverschneidung gelöst werden, so daß sich mit vektorbasierten GIS-Programmen integrative Informationssysteme auf hohem Niveau erstellen lassen. Dabei erfolgt die Überlagerung und Verschneidung der einzelnen digital erfaßten thematischen Karten und ihrer verknüpften Datenbanken zu einer Karte nach dem Muster der Overlay-Methode.

Für eine Vielzahl raumbezogener Fragestellung konnte nun der Einsatz von GIS helfen, die große Menge an heterogenen räumlichen Daten zu verwalten, Abfragen der Datenbanken hinsichtlich raumbezogener Objekte durchzuführen sowie Analysen und Modellierungen komplexer ökologischer, horizontal sowie vertikal verlaufender ökologischer Prozesse zu realisieren.

Datenhaltung im GIS

Viele der heutigen GIS-Anwendungen ermöglichen standardmäßig die Verarbeitung von Vektordaten oder Rasterdaten. Zum besseren Verständnis der in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse sollen kurz die Grundzüge der Konzepte von Vektor- und Rasterdaten dargestellt werden. Für die gleichzeitige Verwendung beider Datentypen in einem GIS sind oft Zusatzprogramme notwendig, oder es sind von vornherein entsprechend leistungsfähige Softwarepakete einzusetzen, die viele der dazu notwendigen Funktionsmerkmale in ihrer Grundausstattung beinhalten (vgl. Kap. 5.4.3).

Vektordaten

Unter den Vektordaten werden raumbezogene Elemente verstanden, deren geometrische Grundelemente Punkt, Linie, und Fläche darstellen. Der Punkt wird durch ein x,y-Koordinatenpaar, Linien durch mindestens zwei x,y-Koordinatenpaare, die miteinander verbunden sind, sowie die Fläche durch mindestens vier x,y-Koordinatenpaare, wobei Anfangs- und Endkoordinatenpaar identisch sind (vgl. Abb. 2), definiert. Zu den geometrischen Elementen können über verknüpfte Datenbanken eine Vielzahl von themenbezogenen Attributen gespeichert und zur Auswertung herangezogen werden. Die Elemente stehen normalerweise topologisch miteinander in Beziehung, d.h. das System speichert für jedes Element neben der Lage im Koordinatensystem weitere Informationen z.B. über die Zugehörigkeit, Lage und Laufrichtung im Bezug zu den anderen Elementen. Dadurch ist es möglich, Nachbarschafts- bzw. Netzwerkbeziehungen zu analysieren.

Die Tabelle 1 zeigt die Vor- und Nachteile eines vektorbasierten GIS.

Tab. 1: Vor- und Nachteile von Vektordaten

Vorteile	Nachteile
• beinhalten Punkte, Linien, Flächen	• schwierigere Ermittlung von Schnitten und Nachbarschaften
• beliebige unregelmäßige Formen und Raumeinheiten	• geringere Eignung von Vektordaten für die Analyse geometrischer Beziehungen
• geringerer Speicherplatzbedarf für einen gleichen kartographischen Sachverhalt bei einer höheren Detailgenauigkeit	• ungünstigere Darstellung zweidimensionaler Sachverhalte
• Vektordaten eignen sich besser für die Analyse thematischer Beziehungen	

Anwendungsgebiete

Vektordaten sind für die gesamte Maßstabsskala von Bedeutung, jedoch dominiert ihr Einsatz insbesonders im großmaßstäblichen Bereich von 1:100 bis 1:50.000.

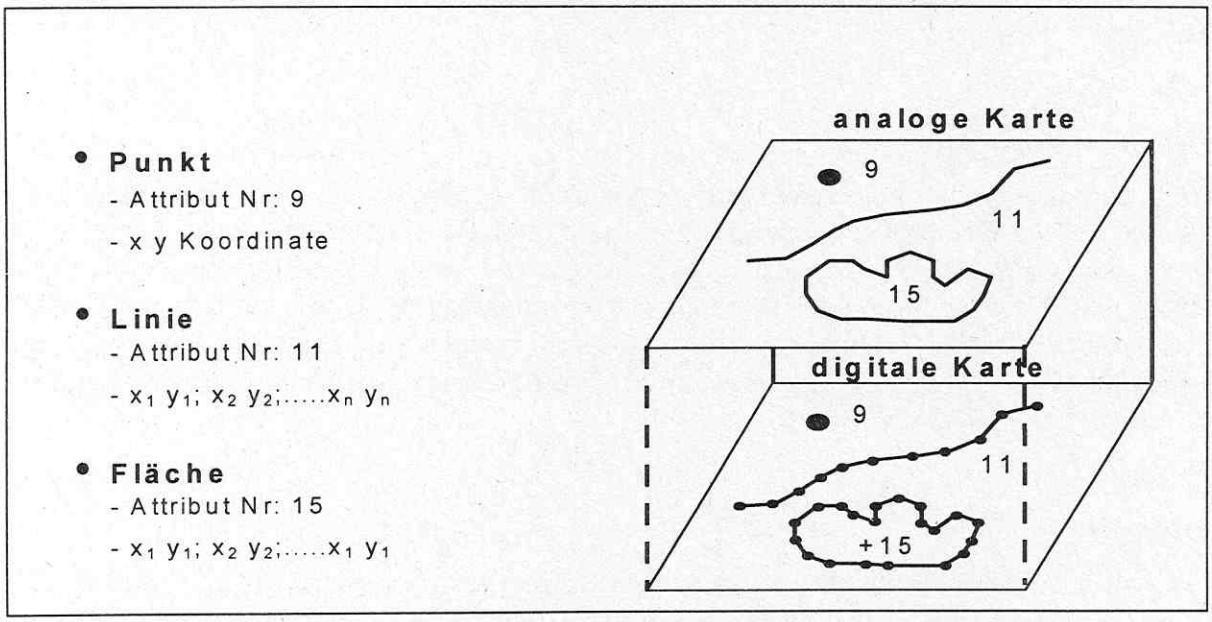


Abb. 2: Vektorkonzept

Rasterdaten

Rasterdaten beziehen sich direkt auf Flächen. Die geometrische Basis sind die sogenannten Rasterelemente (Bildelement, Pixel), die in einer Matrixstruktur in Zeilen und Spalten gleichförmig angeordnet sind. Jedes Rasterelement repräsentiert je nach Größe einen bestimmten Ausschnitt der Erdoberfläche. Eine Besonderheit gegenüber den Vektordaten ist, daß zwischen den einzelnen Bildelementen keine logische Verknüpfung existiert. Zu jedem Rasterpunkt, das durch seine Position in der Matrix definiert ist, kann zwar ein Attribut zugeordnet werden, welches aber lediglich Werte über die Eigenschaften der Pixel (Grau- oder Farbwerte, Höhen, Emissionswerte) enthält (vgl. Kap. 3.1; BILL & FRITSCH, 1993). Je nach räumlicher Auflösung der darzustellenden geometrischen Elemente wird ein entsprechendes Raster definiert, mit dem die analoge Karte aufgerastert wird. Mit höherer Auflösung erhöht sich die An-

zahl der notwendigen Raster und damit der notwendige Speicherbedarf. Die Tabelle 2 zeigt die Vor- und Nachteile von Rasterdaten.

Tab. 2: Vor- und Nachteile des Einsatzes von Rasterdaten

Vorteile	Nachteile
• Anordnung innerhalb von rechteckigen und regelmäßigen Rasterformen (homogen)	• elementare Bestandteile nicht mit x,y Koordinaten versehen, räumliche Lagebeziehung nur implizit (header) gespeichert, Probleme beim Datenaustausch möglich
• Darstellung zweidimensionaler Sachverhalte	• ab bestimmten Größen nicht mehr weiter differenzierbar (atomar)
• einfache Ermittlung von Schnitten und Nachbarschaftsbeziehungen	• Probleme in der Beschreibung linienhafter Elemente
• besser geeignet zur Analyse topologischer Strukturen	• hohe Datenmengen erfordern einen sehr hohen Speicherbedarf
• regelmäßige Einheiten leicht zu verarbeiten und zu überlagern (jede Zelle besitzt einen Wert)	• mit einer linearen Erhöhung der Auflösung wächst der Speicherbedarf exponentiell
• algorithmisch einfacher und damit mächtiger, stark bei Kontinua, Interpretation und Modellableitung	• bei gleicher Auflösung nie so flächenscharf wie Vektordaten
	• Analyse thematischer Beziehungen schwieriger als in Vektormodellen
	• Zugriff auf nur einzelne Zellen erfordert das Lesen von enormen Datenmengen
	• starke Abstraktion der Eigenschaften eines Objektes

Anwendungsgebiete:

Rasterdaten sind für die gesamte Maßstabsskala von Bedeutung, jedoch dominiert bisher ihr Einsatz insbesondere im kleinmaßstäblichen Bereich von 1:10.000 bis 1:1.000.000.

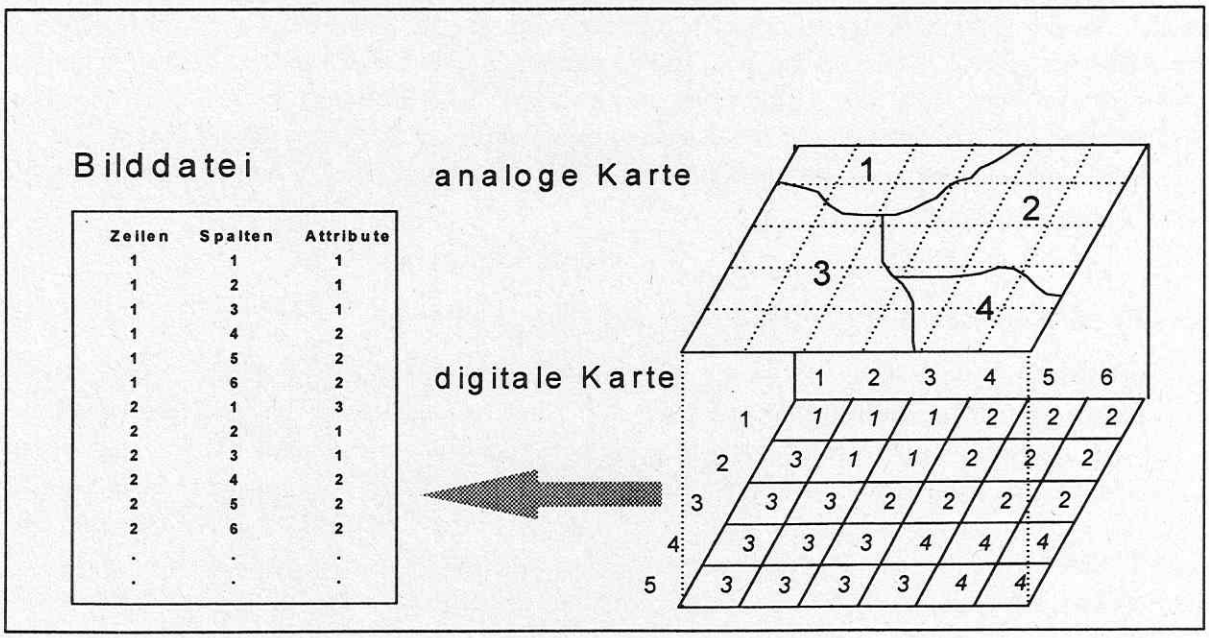


Abb. 3: Rasterkonzept

Datenbasis und Verarbeitung

Die Datenbasis eines GIS wird überwiegend aus kartographischen Grundlagen in Form von topographischen und thematischen Karten sowie aus Planwerken, Luft- und Satellitenbilddaten aufgebaut (vgl. Kap. 5.4.3). Die Karte ist die häufigste und meist verbreitete Darstellungsform von räumlichen Beziehungen durch ein System graphischer Zeichen. Die INTERNATIONALE KARTOGRAPHISCHE VEREINIGUNG (1973) definiert die Karte als maßstäblich verkleinerte, generalisierte und erläuterte Grundrißdarstellung von Erscheinungen und Sachverhalten der Erde, insbesondere der Erdoberfläche. Das Luft- und Satellitenbild, die Panoramakarte, der Globus werden als kartenverwandte Darstellungsformen bezeichnet (HAKE & GRÜNREICH, 1994). Karten dienen dem Menschen zur Orientierung im Raum, zur Klärung räumlicher Zusammenhänge und zur Darstellung der Funktionsbeziehungen von bestimmten Sachverhalten im Raum. Die wesentlichen Kriterien, die eine Karte zu einem wichtigen Informations- und Kommunikationsmittel machen, sind ihr Bezug zu Ortskoordinaten, ihre Maßstäblichkeit und ihr Modellcharakter, mit dem eine mehr oder weniger gute Beschreibung der wesentlichen Merkmale der Wirklichkeit eines Raumes oder Teile davon zum Ausdruck gebracht werden.

Im Planungsprozeß dienen Karten der vorausgehenden Bestandsaufnahme und -analyse, der Verdeutlichung von Konflikten, der Ermittlung von räumlichen Gliederungen und Typisierungen, der Bewertung von Ergebnissen und der Umsetzung von Zielvorstellungen in die eigentliche Planungsaussage.

Basisdaten

Die Tabelle 3 listet eine Auswahl von Basisinformationen in den Kategorien Topographie, Klima, Standort, Wasser, Landnutzung und sonstigen Raumeinheiten sowie verschiedenen Themen, die für den Aufbau eines GIS mit landschaftsökologischer Ausrichtung relevant sind. Die Frage, welches Datenkonzept und welcher Datentyp für jedes Thema am besten geeignet ist, läßt sich nicht generell beantworten. Es sind die verschiedenen Faktoren, die ein GIS ausmacht, bei der Entscheidung zu berücksichtigen, wie z.B. die zu bearbeitende Fragestellung, die dafür vorgesehene Maßstabsebene, die Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Software und Hardware, die Anforderungen an räumliche Analysen und Modellierung. Leistungsfähige Software erlaubt die Verwendung von Vektor- und Rasterdaten in einem System, wobei für spezielle Auswertungszwecke jeweils der eine Datentypen in den anderen Datentyp konvertiert werden kann.

Räumliche Analysen und Modellierung

Die besondere Funktionalität der geographischen Informationssysteme gegenüber herkömmlichen Informationsystemen besteht in der Ableitung neuer raumbezogener Informationsschichten aus bestehenden Datenbeständen. „Die räumliche Analyse schließt die Analyse und Synthese von raumbezogenen Daten zu einer Einheit. Dabei wird unterschieden zwischen der qualitativen und quantitativen Analyse, d.h. einerseits einer Untersuchung der Art und Beschaffenheit des Problems und andererseits einer Untersuchung der Menge und Größe der vorkommenden Phänomene. Jede räumliche Analyse beinhaltet die fachgerechte Interpretation der Ergebnisse“ (BILL, 1996).

Tab. 3: Auswahl von Basisinformationen für den Aufbau eines GIS

Kategorie	Themen	Beschreibung
Topographie	Höhenlinien	Charakteristik und Form der Geländeoberfläche
	Höhenpunkte	
	Hangneigung	
	Himmelsrichtung	
Klima	Strahlung	Punkt- oder flächenförmige Informationen über Klimadaten
	Temperatur	
	Niederschläge	
	Phänologische Daten	
Standort	Geologische Formationen	Kartierbare Gesteinsformationen, die sich durch besondere Eigenschaften in ihrer Bodenentwicklung und Standortsbedingungen unterscheiden
	Bodeneinheiten	Flächen mit gleichen bodenkundlichen und topographischen Eigenschaften
	Bodentyp	
	Bodenart	
Wasser	Fließ- und Stillgewässer	Fließgewässer (z.B. Flüsse, Bäche, Kanäle, etc.)
		Stillgewässer (z.B. Seen, Teiche, Stauseen, etc.)
	Wasserscheiden	Wassereinzugsgebiete, die zu bestimmten Vorflutern entwässern
	Grundwasserkörper	Grundwasserkörper mit signifikantem Einfluß auf die Vegetation sowie Schüttung für Quellen und Brunnen
Landnutzung und Bodenbedeckung	Nutzungstypen und Vegetation	Flächeneinheiten mit gleicher Nutzung und gleicher Vegetationsbedeckung
Sonstige Raumeinheiten	Ökologische Raumeinheiten	Raumeinheiten mit einheitlichen abiotischen und biotischen Konditionen, mit gleichartigem Potential für Pflanzenwachstumsbedingungen und Reaktion auf Managementeingriffen(z.B. Naturraumtypen, Anbaugebiete, forstliche Wuchsgebiete).
	Ökonomische und administrative Grenzen	Administrative Grenzen, wie Länder-, Kreis- und Gemeindegrenzen zur Anbindung von statistischen Daten (Bevölkerungs-, Agrar- und Forststatistik)

Ein der Fragestellung angemessener, fachgerechter Einsatz der notwendigen Analyseverfahren bedarf jedoch ein tiefgreifendes theoretisches sowie algorithmisches Verständnis und Wissen um den Einsatz dieser Methoden. Erst wenn diese Faktoren gewährleistet sind, ist eine hinreichend kritische und objektive Betrachtung der Ergebnisse möglich.

Durch die Computertechnik sind große Datenmengen rasch verfügbar, können transformiert und interaktiv modifiziert werden, so daß man in der Lage ist, verschiedenste Prozesse im Landschaftshaushalt zu analysieren und mit geeigneten Modellen zu simulieren. Es lassen sich rasch mögliche Entwicklungen von Trends oder aber die Auswirkungen von Planungsentscheidungen für alle im GIS vorhandenen sektoralen Informationsbereiche darstellen. Durch die Formulierung von unterschiedlichen Szenarien lassen sich differenzierte zukünftige Entwicklungsalternativen entwickeln. Sie ermöglichen die Abschätzung und Bewertung der möglichen Auswirkungen, die diese in der Landschaft haben könnten, ohne daß sie selbst in die Realität umgesetzt werden müssen und man vor der vollendeten Tatsache von irreversiblen Veränderungen in der Landschaft selbst steht. Das GIS wird dadurch zu einem Informations- und Planungsinstrument.

Der Einsatz von GIS wird daher durch die vier Komplexbereiche Analyse, Synthese, Simulation und Prognose getragen. Dabei können unterschiedlichste Verfahren in variierenden Kombinationen angewendet werden (vgl. Tab. 4)

Tab. 4: Kategorien und Verfahren im GIS-Einsatz

Kategorie	Verfahren
Geometrisch-topologische Methoden	• Zonengenerierung
	• Dreiecksvermaschungen und Nachbarschaftsgraphen
Statistische Methoden	• Univariate, bivariate und multivariate Verfahren
	• Approximation und Interpretation
	• Geostatistik
	• Klassifikation
Mengenmethoden	• Logikoperatoren
	• Sortier- und Suchverfahren
	• Funktionale Ableitung neuer Informationen
	• Aggregation
Simulationsmethoden	• Dynamische Modellierung
	• Celluläre Automaten
Prognostische Methoden	• Extrapolationsmethoden
	• Trendanalysen
	• Szenariotechniken

Ausblick

Die heutigen Einsatzfelder von GIS werden ermöglicht durch die rasante Entwicklung der Informationstechnologien bei gleichzeitigem Verfall der Preise für die Systembestandteile. Insbesondere die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Mikropozessoren und der Speichermedien, deren Weiterentwicklung noch nicht zum Stillstand gekommen ist, sowie die Verbesserung der Programmiersprachen und Vereinfachung der Bedienungsoberflächen, eröffnen auch für die Zukunft weit vielfältigere Einsatzmöglichkeiten und eine breitere Akzeptanz für den GIS-Einsatz. Damit ist die Plattform geschaffen, um eine Entwicklung von datenintensiven Anwendungen, wie sie der Einsatz von GIS und Fernerkundung darstellen, in einer praxisrelevanten Breite zu gewährleisten. Die jetzige Generation von Computern ist in der Lage, größere und komplexere Datenmengen, wie z.B. Darstellung rasterorientierter Satellitenbilddaten, zu einem für die Praxis erschwinglichen Preis zu verarbeiten. Die methodischen und inhaltlichen Probleme bei der Bearbeitung haben sich dabei nicht grundlegend geändert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten bleiben auch nicht mehr nur lokal verfügbar, sondern sind durch das weltumspannende Computernetzwerk des Internets prinzipiell global verfügbar und ermöglichen dadurch einen kostengünstigen Datentransfer zum Austausch und zur internationalen, interdisziplinären Bearbeitung von landschaftsbezogenen Informationen und Wissen. Dadurch eröffnet sich dem GIS-Einsatz ein weiteres neues Arbeitsfeld, in dem aktuelle Rauminformationen oder Planungsaktivitäten der Bevölkerung frühzeitig zugänglich und mit Hilfe von multimedialen Techniken leicht verständlich gemacht werden können, um dem Kommunikationsauftrag von Informationssystemen besser gerecht zu werden.

Literatur

BILL, R. (1996): Grundlagen der Geo-Informationssysteme - Band 2, Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen. - Wichmann-Verlag, Heidelberg, 414 Seiten.

BILL, R. & D. FRITSCH, (1993): Grundlagen der Geo-Informationssysteme - Band 1, Hardware, Software und Daten. - Wichmann-Verlag, Heidelberg, 414 Seiten.

ESRI (1994): Understanding GIS - The ARC/INFO Method. - Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California.

GANSER, K. (1995): Informationssysteme für die Raumordnung. - In: ARL Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hg.): Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, S. 484-490.

HAKE, G. & D. GRÜNREICH (1994): Kartographie. - 7., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Berlin, New York.

MCHARG, I. L. (1969): Design with Nature. - Doubleday/Natural History Press, New York.

INTERNATIONALE KARTOGRAPHISCHE VEREINIGUNG (1973): Mehrsprachiges Wörterbuch kartographischer Fachbegriffe. - Wiesbaden.

STEINITZ, C. (1993): Geographical Information Systems: a Personal Historical Perspective, the Framework for a Recent Project, and some Questions for the Future. - Presented at the European Conference on Geographic Information Systems, Genoa, Italy, March 30, 1993. (http://www.gsd.harvard.edu/brc/framework/steinitz.txt)

WALLACE, P. (1995): GIS: a System`s Engineering Perspective (or) Don´t forget the „S". - GIS Europe, April: 24-26.

4 Satellitenbildkarten zum Umweltmonitoring im landeskulturellen und regionalen Kontext

4.1 Die Satellitenbildkarte "Raum Leipzig - Halle" für das Jahr 1989

Martin Seger

Vorbemerkungen: Fernerkundung und regionale Realraumstruktur

Dieser Publikation ist eine mehrfarbige *Satellitenbildkarte* des Raumes Leipzig-Halle beigegeben, die ein vergleichsweise großes Gebiet in erstaunlicher räumlicher Auflösung darstellt. Kartengemäße Zusatzinformationen (Namensgut, Karteninhalte, Legende) unterstützen die räumliche Orientierung, die "Lesbarkeit" der bildhaften Raumwiedergabe und die Informationsgewinnung. Sowohl als "analoges Produkt", d.h. als Kartendruck, als auch durch die Wahrnehmbarkeit einer Großregion auf einem Blick unterscheidet sich dieses *kartographische Fernerkundungsprodukt* von jener Datenpräsentation, die primär an Bildschirmarbeit und damit an die Restriktionen der Monitore gebunden ist.

Umwelt-Monitoring im landeskulturellen und regionalen Kontext

Maßstab, räumlicher Zuschnitt und Informationsgehalt der Satellitenbildkarte legen einen Verwertungszusammenhang zu Fragen der Regionalplanung nahe. Abseits von örtlicher Raumordnung und Flächenwidmung verfolgt diese das Ziel, die räumlichen Konsequenzen einer gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung so zu steuern, daß Nachhaltigkeit auf verschiedenen Ebenen ebenso erreicht wird wie ein angemessen schonender Umgang mit ökologischen Ressourcen. Dazu bedarf es der Informationen über den Status quo des landeskulturellen Zustandes und der Landnutzung. Eine Fülle regionalstatistischer Daten steht hierzu zur Verfügung, meist jedoch nur auf der Basis der Raumeinheiten von Gemeinden. Aus der Frage nach der Darstellung realer räumlicher Strukturen, nach Verteilungen und Mustern der Landnutzungsklassen, ist seinerzeit die Bedeutung des Luftbildwesens erwachsen. Hier schneidet die Fernerkundung im regionalen Maßstab ein: die Satellitenbildkarte stellt den landeskulturellen Zustand eines großen Gebietes fotoartig differenziert, bildhaft und thematisch analysierbar dar. Luftbildartig, jedoch im regionalen Größenzuschnitt, eine Realraum-Information als Ergänzung zu amtlichen statistischen Daten, das sind die Merkmale dieser kartenmäßig umgesetzten Weltraum-Information. Das Kartenbild ist ganzheitlich-vielfältig und damit quasi ein Gegenstück zur restriktiv-symbolistischen topographischen Kartographie; es ist ungeneralisiert detailreich und damit ein optimaler Informationsträger für Fragen der Umweltbeobachtung.

Meßwerte - Landnutzungsklassen - Landschaftsstruktur: Wahrnehmungskategorien raumbezogener Visualisierung

Diese Umweltbeobachtung findet in Abhängigkeit von den Intentionen, Erwartungen und Bedürfnissen der "Anwender" in unterschiedlicher Weise statt. Hier sind zumindest drei Formen der Informationsnutzung zu unterscheiden: Fernerkundungsdaten dienen als Meßwerte, zur

Darstellung bestimmter Nutzungen oder als Modell der Landesstruktur. Diese Abfolge vom Monitoring einfacher (eindimensionaler) zur Darstellung komplexer Sachverhalte stellt zugleich einen Übergang von einer quantitativ-messenden zu einer qualitativ-bewertenden, visuellen Wahrnehmung dar.

Daten als Meßwerte

Die Einhaltung von Umweltstandards und Nutzungsnormen wird mittels geeigneten Sensoren überprüft, Fernerkundungs-Remissionswerte sind mit Umweltmeßwerten korrelierbar, Grenzwertüberschreitungen sind feststellbar. Zugleich ist eine „punktgenaue" Reaktion möglich.

Daten repräsentieren Nutzungskategorien

Ähnliche und benachbarte Rasterdatenwerte bilden visuell wahrnehmbare Fotomusterareale: Flächen, Linien, Punkte (kartographische Primitiva). Ihre Bedeutung, d.h. die Benennung der zugehörigen Landnutzungskategorie, erschließt sich in zweifacher Form: einerseits deduktiv, indem aus Spektralbereich, Reflexionsgrad und Aufnahmezeitpunkt eine bestimmte Oberflächenklasse abgeleitet wird. Und zum anderen empirisch-induktiv, indem Referenzflächen vor Ort erfaßt werden (engl. ground truth). Die Benennung von Bildarealen mit Begriffen aus Landnutzung und Raumordnung macht die Fernerkundungs-Bilddaten zu einem Instrument der Raumordnung, physikalische Meßwerte werden einer sozialwissenschaftlichen Typisierung zugeordnet.

Nutzungsflächen bilden Realraumstruktur

Die Anordnung und Vergesellschaftung von Nutzungs- bzw. Oberflächenklassen, ihre Texturmerkmale und ihre raumstrukturierenden Gestaltsmerkmale bilden darüber hinaus ein räumlich und inhaltlich differenziertes Modell des Realraumes. Eine zugehörige ganzheitlich orientierte visuelle Raumanalyse schließt Disparitäten des Naturraumpotentials ebenso ein wie gesellschaftliche und ökonomische Prozesse, die zum erfaßten Status quo geführt haben. Dessen bildhafte Repräsentation führt zur Bewertung, zu einem Ist-Soll-Vergleich und damit zu einer qualitativen, der Regionalplanung entsprechenden Nutzung der Fernerkundungsinformationen. Als Beispiel seien einige Fragen aufgeworfen, die sich aus der Satellitenbildkarte beantworten lassen: Welches Ausmaß an Landschaftszerstörung hat der exzessive Braunkohlenabbau hinterlassen? Wie hat die vormalige Agrarpolitik die Kulturlandschaft umgewandelt? Wo sind Restflächen kleinräumig-naturnaher Strukturen erhalten geblieben, und wo hat eine landeskulturell-ökologische Renaturierung vorrangig anzusetzen?

Technologische Erläuterungen: die Kartenherstellung

Der Herstellung der Satellitenbildkarte liegen die folgenden Zielsetzungen zugrunde:

a) Dokumentation der Landnutzung und des Landschaftsverbrauches zum Zeitpunkt der "Wende" in zwei Kernräumen der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt,

b) im regionalen Maßstab und unter Verwendung von multispektralen Landsat-TM-Datensätzen eines optimalen Aufnahmezeitpunktes,

c) als Kartendruck, der sowohl die Informationsfülle der Originaldaten beibehält und wiedergibt als auch eine visuelle Differenzierung nach "thematischen" Landnutzungsklassen ermöglicht,

d) wobei kartographische Zusatzinformationen die Lesbarkeit und damit Nutzbarkeit dieses neuartigen Kartentyps unterstützen.

Die Umsetzung dieser Zielsetzungen von der Datenakquirierung bis zum Kartendruck sowie die zugehörigen Überlegungen und Arbeitsschritte werden in der Folge erläutert, wobei anhand der o.a. Teilziele vorgegangen wird.

Auswahl der darzustellenden Region und des Kartenformates

Die Wiedergabe der mitteldeutschen Tagebau-Reviere und der Agglomerationen von Leipzig, Halle und Wolfen-Bitterfeld war a priori festgelegt worden, weil hier mehrere Aufgabenfelder der künftigen landeskulturellen Entwicklung und der Regionalplanung zugleich sichtbar werden: Ausdehnung und Lage der zu sanierenden Tagebau-Flächen, Umfang der ökologisch weiterzuentwickelnden Riesen-Schläge der vormaligen LPG's, Darstellung der eher kleinflächigen, vergleichsweise naturnahe verbliebenen Landnutzungstypen. Das Kartenformat selbst ist repro- und drucktechnisch bedingt. Reproscanner liefern Rasterfilme bis zu 54x59 cm, zwei solche Formate wurden in einem eigenen Kopiervorgang zur Druckvorlage vereint.

Maßstabswahl und Wahl des Datensatzes

Der Kartenmaßstab 1:100.000 bietet sich aus zwei Gründen an. Zum einen entspricht dieser den Anforderungen der Regionalplanung im Sinne großräumiger Übersichten, und eine Fläche von etwa 4000 km² wird in einem Kartenblatt dargestellt. Zum anderen sind die Rasterdaten des Systems Landsat Thematic Mapper (Pixelgröße: etwa 30x30 m in der Natur) in dieser Wiedergabe so klein, daß sie mit unbewaffnetem Auge nicht wahrgenommen werden können. So wird eine Raster-Grobstruktur vermieden, und die thematische Karte erscheint fotoartig-bildhaft. Auf einen Zentimeter in der Karte entfallen 33 Bildpunkte des Landsat-Scanners, die Karte enthält 4,3 Mio. Pixel.

Das dargestellte Gebiet ist nicht in einer Landsat-Szene enthalten, deshalb wurden zwei benachbarte Szenenteile zu einem Bildmosaik zusammengefügt. Dieser Arbeitsschritt erfolgte an der Bildverarbeitungsanlage einer Reproanstalt. Von besonderer Bedeutung für die optimale Differenzierung speziell der agrarischen Landnutzung ist die Wahl des Zeitpunktes der Aufnahme. Aus agrarphänologischen Überlegungen wird eine hochsommerliche Periode gewählt, d.h. die Zeit zwischen dem Ende der Getreideernte und dem Beginn anderer Erntevorgänge und sonstiger Bodenbearbeitungen. Zu diesem Zeitpunkt unterscheiden sich die abgeernteten, z.T. bereits wieder umgebrochenen Schläge eindeutig von Hackfrucht- und Maisflächen, und neben der farblichen Differenzierung erlauben andere visuell wahrnehmbare Merkmale (z.B. Gestalt der Farbareale) einen weitreichenden interpretativen Informationsgewinn.

Räumliche Auflösung und Auswahl der Spektralbereiche

Die Qualität einer bildhaft-kartenmäßigen Wiedergabe von Fernerkundungsdaten ist an zwei Merkmalen zu messen: (1) angemessene Auswahl der Spektralbereiche, und (2) Minimierung des Informationsverlustes im Prozeß der Umwandlung digitaler Daten in ein analoges Produkt. Heute zählt die Herstellung von Rasterfilmen aus digitalen Datensätzen zu den Standardverfahren von Reproanstalten. Zur Zeit der Kartenherstellung (1993) mußte der folgende Weg gewählt werden:

- Erstellung von Farb-Großdiapositiven (20x20 cm) aus dem digitalen Datensatz an einem Filmschreibscanner (Optronics Colormation, DLR Oberpfaffenhofen). Bei der Datenwiedergabe: 1 Pixel = 50µ wird dabei auf optisch-mechanischem Wege ein Pixel so auf dem Diafilm abgebildet, daß seine rechteckige Form erhalten bleibt. Die Originaldaten werden zuvor in geeigneter Form auf den vollen 8 bit-Bereich (mögliche Werte 0-255) gestreckt, um kontrastreiche Darstellungen der einzelnen Kanäle zu erreichen (Bildverbesserung).
- Abscannen der Großdiapositive an einer Reproscanner-Anlage, um so zu aufgerasterten Druckvorlagen zu gelangen. Scanprozeß und Druckpotential sind dabei aufeinander abzustimmen. Weil ein Druck in der extremen Auflösung von 115 Linien pro cm möglich war (selbst feine Drucke begnügen sich mit 80 Linien), wurden die Bilddaten der Großdia mit größtmöglicher Auflösung gescannt, d.h. mit etwa 8µ pro Druckraster-Punkt. Dadurch wird jedes TM-Pixel durch eine größere Anzahl von Druckraster-Punkten abgebildet. Unter Verwendung einer Lupe kann jedes TM-Pixel im Kartenblatt identifiziert werden, der Kartendruck erfolgt ohne jeden Verlust der räumlichen Auflösung der Originaldaten.

Ein anderes Problem stellt die optimale Auswahl der Spektralbereiche dar. Denn ähnlich dem farbigen Monitorbild, das bis zu drei Spektralkanäle verwendet und den Farben Rot, Grün und Blau zuordnet, ist auch der Standard-Vierfarben-Offset-Kartendruck auf drei Farben (Cyan, Magenta, Gelb) beschränkt. Von den sieben Kanälen des Landsat-TM-Systems werden sinnvollerweise jene drei Kanäle ausgewählt, die sich voneinander am weitesten unterscheiden. Damit wird sichergestellt, daß die Darstellung der Landnutzung in größtmöglicher Unterschiedlichkeit erfolgt. Aus naheliegenden Gründen bieten sich dazu je ein Kanal aus den Bereichen Sichtbares Licht/Nahes Infrarot/Mittleres Infrarot an. Daher wurden die Daten der TM-Kanäle 2, 4, 5 für die obgenannten Prozeduren herangezogen.

Bleibt noch die Frage der Farbzuordnung. Es wurde eine Falschfarbenkombination gewählt, bei der die Assoziation "Grün=Vegetation" zum Tragen kommt. "Vegetationsfreie Flächen " (engl. bare soil) wie umgebrochene Ackerflächen oder Tagebauareale erscheinen in Rottönen, weil dem Kanal 5/Mittleres Infrarot die Farbe Rot zugeordnet wurde. So lautet die Farbcodierung: Kanal 2, 4, 5 = Farben Blau, Grün, Rot. Die Umwandlung in das Druckfarbensystem CMYK besorgt der Rechner der Reproanlage, ebenso die notwendige Verwinkelung der Reproraster und die Größenbestimmung der Rasterpunkte. Die unterschiedlichen Mischfarben kommen zustande, weil bestimmte Flächennutzungen in charakteristischer Form in mehreren Kanälen wirksam werden. Eine starke Reflexion des einfallenden Sonnenlichtes in allen drei Kanälen führt zu hellen Farben (trockene, helle Böden, Wolken), und Wasserflächen erscheinen aufgrund der Absorption des einfallenden Lichtes schwarz.

Kartographische Zusatzinformationen

Im Gegensatz zu den weitverbreiteten Satellitenbildern ist die Satellitenbildkarte durch eine Reihe zusätzlicher kartographischer Attribute gekennzeichnet. Dazu zählen nicht nur Titel,

Kartenrahmen, Zusatzkärtchen und technische Erläuterungen, sondern besonders Legende und kartographische Karteninhalte. Die Legende bezieht sich auf typische Farbareale sowie auf Strukturmerkmale des Landschaftsraumes und erläutert diese. Dadurch, aber auch durch Informationen im Kartenbild selbst wird das Kartenlesen als Wahrnehmungs- und Informationsprozeß auch für die mit diesem Medium nicht bewanderten Nutzer möglich gemacht. Im Kartenbild sind Strukturelemente (Bahnlinien, Hauptstraßen, Autobahnen) ebenso vorhanden wie ein hinreichendes Namensgut. Dadurch ist es dem Betrachter möglich, das Landnutzungsbild mit seiner "mental map" in Korrelation zu bringen oder mit zusätzlichen räumlichen Informationen wie etwa topographischen Karten.

Bildinterpretation: Informationsgewinn aus raumbezogenen Visualisierungen

Visualisierung

Im Zusammenhang mit postmodernen Trendbegriffen wie Informationsgesellschaft oder Kommunikationszeitalter spielt neuerdings der Begriff der Visualisierung eine bedeutende Rolle. Im raumbezogenen Kontext bezieht sich diese Visualisierung auf Abbildungen oder Modelle des Realraumes, was sowohl für digitale als auch für analoge Präsentationsformen gilt. Und im Gegensatz zu technisch oder mathematisch orientierten analytischen Darstellungen (z.B. Parzellengefüge, Diagramme etc.) sind sowohl herkömmliche Karten („Kartenbild"), besonders aber Luft- und Satellitenbilder in bezug auf den Informationsgehalt und seine Konfiguration bildhaft-komplex. Dies bedingt eine besondere Technik des Informationsgewinnes: das Bildkartenlesen bzw. die Bildinterpretation.

Bildinterpretation

Unter Bildanalyse bzw. Bildinterpretation sei das Auffinden, Erkennen und Benennen von Raumstrukturen, Landoberflächenklassen, Landschaftselementen oder Objekten im Raum verstanden. Dabei geht eine Bildanalyse stets von einer handlungsorientierten Zielsetzung aus: der Betrachter will sich selbst „ein Bild machen" von bestimmten Sachverhalten, oder andere bilden und informieren, oder die gewonnene Information als Grundlage für raumbezogene Entscheidungen (Raumplanung) heranziehen. Zielorientierung selektiert darüber hinaus aus der Informationsfülle des Bildinhaltes einen adäquaten Teilbereich. Bildinterpretation ist daneben von Vorwissen, und kann von Zusatzinformationen abhängig sein. Der Wahrnehmungs- und Interpretationsprozeß in Darstellungen des mittleren Maßstabs beginnt mit einer räumlichen Orientierung, wobei topographische Vorstellungen (mental maps) hilfreich sind, und mit dem Erkennen evidenter Strukturen (z.B. Straßen- und Flußverläufe bzw. Siedlungskerne).

Bildareale - Nutzungsklassen - Nutzungsflächen

Eine detaillierte Analyse bezieht sich auf das visuelle Erkennen von Bildarealen und auf die Zuordnung zu einer bestimmten Landnutzungs- bzw. Landoberflächenklasse. Als Bildareale (Fotomusterareale, engl. photo-patterns) gelten jene Flächen (bzw. jene sichtbaren, abgrenzbaren Linien oder Punkte), denen das interpretative Interesse gilt. Sie stellen die räumliche Grundeinheit der Bildanalyse dar, und sie entsprechen nicht nur einer bestimmten Landnutzungsfläche, sondern häufig auch der normativen Raumkategorie der Grundstücksparzelle. Bildareale unterscheiden sich durch Farb- und Tonwerte von ihrer Umgebung, und sowohl diese Merkmale als auch Größe oder Form (Gestalt) können bereits auf eine konkrete Nut-

zungskategorie hinweisen. Die Zuordnung von Bildarealen zu Nutzungskategorien, Kernpunkt der Bildanalyse, erfolgt mittels eines Interpretations-schlüssels. Dieser beschreibt als Sammlung von Regeln aufgrund welcher Merkmale den Bildarealen eine konkrete Benennung zukommt:

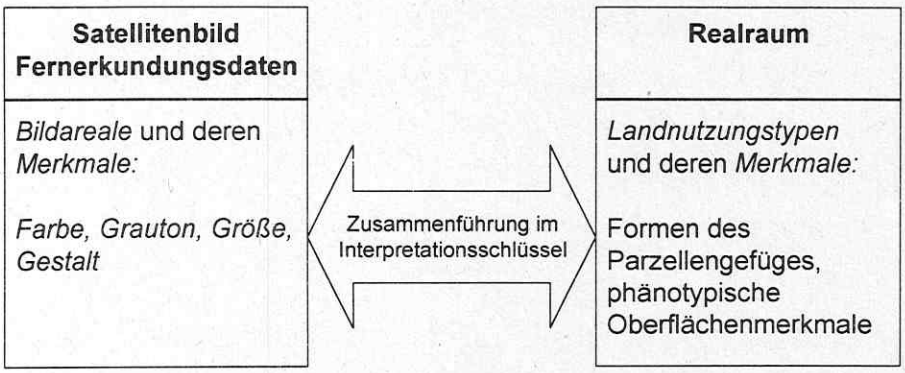


Abb. 1: Verknüpfung von Realraum und Fernerkundungsdaten

Aus der Identifikation von Bildarealen erschließt sich zunächst die Struktur der Landnutzung zum Aufnahmezeitpunkt. Die Bewertung und Beurteilung dieser Strukturen führen zur oben erwähnten Handlungsorientierung. Besondere Bedeutung kommt dabei den Parzellen als Raumelement zu, denen eine Reihe von Attributen zugeordnet ist. Denn diese Nutzungsflächen und Untersuchungseinheiten der Landschaftsanalyse sind als Basis-Elemente der Landesstruktur in mehrfacher Hinsicht von Interesse:

- *Parzellen* haften individuelle Rechte ebenso an wie Restriktionen der Flächenwidmung,
- die *Parzellennutzung* spiegelt sozioökonomische und standortökologische Aspekte wider,
- *Nutzungsklassen* stellen zugleich reale Ökosysteme dar,
- *Raummuster* der Nutzungen bestimmen das Landschaftsbild und dessen visuelles Ambiente.

Die interpretative Nutzung der gegenständlichen Satellitenbildkarte wird über die Legende und daraus abgeleitete Analogieschlüsse ermöglicht, und Informationen dazu enthalten auch Teil 2 dieser Erläuterungen. Nachzutragen ist, daß diese (sowie die Legende) sich auf die Bildanalyse im mittleren Maßstab und in bezug auf Nutzungsklassen beziehen. Eine genauere Analyse erschließt daneben kleinräumige Details. So sind in den Tagebauflächen die großen Abbaugeräte zu erkennen (TB Zwenkau), im Grünland einzelne Gehölzreihen (Fuhneniederung), im Lößhügelland die Erosion des Oberbodens. Der Kenner der Region kann diese Aufzählung umfangreich erweitern.

Literatur

Die folgende knappe Literaturzusammenstellung ermöglicht eine vertiefte Befassung mit dem Themenkreis Satellitenbildinformation/Visualisierung in der Fernerkundung/Bildinterpretation:

ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. - Wissenschaftl. Buchges., Darmstadt.

BACKHAUS, R. & A. GRUNWALD (Hg.) (1995): Umwelt und Fernerkundung. - Wichmann, Heidelberg.

FISCHER, M.M. (1982): Zur Entwicklung der Raumtypisierungs- und Regionalisierungsverfahren in der Geographie. - Mitt.d.Österr. Geogr. Gesell., 124, S. 5-27.

GOODCHILD, M.F. (1992): Analysis. Chapter 7. - In: R. Abler, M. Marcus and I. Olson (Ed.): Geography's Inner Worlds. Rutgers, New Jersey.

LÖFFLER, E. (1985): Geographie und Fernerkundung. - Teubner, Stuttgart.

MACEACHREN, A.M. (1995): How Maps work, Representation, Visualization, and Design. - The Guilford Press, New York.

SEGER, M. (1995): Realraumanalyse Österreichs. Ziele und konzeptueller Rahmen des Landschaftsverbrauchs". - In: Mitt.d.Österr. Geogr. Gesell., 137. Jg., S. 329-348.

SEGER, M. (1996): Fernerkundungsanwendung - Metafragen aus der Sicht der Geographie. - In: VGI 2/96, S. 214-220.

SEGER, M. & P. MANDL (1994): Satellitenbildinterpretation und ökologische Landschaftsforschung - ein konzeptiver Ansatz und die Fallstudie Peloponnes. - In: Erdkunde 48/2, S. 34-47.

STRATHMANN, F.W. (1990): Taschenbuch der Fernerkundung. - Wichmann, Heidelberg.

TOWNSHEND, J.R.G. (1981): Image Analysis and Interpretation for Land Resources Survey. - In: Townshend J.R.G. (Hg.): Terrain Analysis and Remote Sensing, S. 59-108.

4.2 Die Satellitenbildkarte "Raum Leipzig - Halle - Bitterfeld" für das Jahr 1994

Ellen Banzhaf

Raumbezug

Die Satellitenbildkarte für den "Raum Leipzig - Halle - Bitterfeld" deckt ein Gebiet von ca. 5000 km² Größe ab, das sich in nordsüdlicher Richtung von der mittleren Elbe (Dessau / Roßlau) bis Naumburg und Borna und in westöstlicher Richtung von Halle bis ins östlich angrenzende Umland von Leipzig erstreckt sowie auch Teile der Dübener Heide umfaßt. Städtische Siedlungsschwerpunkte in diesem intensiv agrarisch genutzten Raum sind vor allem Halle, Leipzig, Bitterfeld / Wolfen und Dessau. Bergbaulich ist das Gebiet überprägt durch eine Vielzahl von Tagebauen, bei den naturnahen Landschaftselementen des Raumes handelt es sich vor allem um Heiden und Auen (vgl. Karte in Tasche).

Die Wahl des dargestellten Landschaftsausschnittes richtet sich nach den Ausdehnungen von bereits bearbeiteten oder in Arbeit befindlichen Untersuchungsgebieten der im Bericht vorgestellten Forschungsergebnissen. Die Karte wurde im Maßstab 1:100.000 erarbeitet, um die Vergleichbarkeit mit der bereits für das Jahr 1989 vorliegenden Satellitenbildkarte zu ermöglichen. Da sich die Forschungsinteressen seit der von SEGER (Kap. 4.1) erstellten Karte nach Norden hin verstärkt haben, ist der Karteninhalt um diesen Raum erweitert worden.

Datenquellen

1994 wurde als derzeit optimaler Aufnahmezeitraum gewählt, da in diesem Jahr sowohl von dem Satelliten-System Landsat-TM multispektrale als auch von Spot panchromatische Bilder vorliegen, die keine bis geringe Bewölkung aufweisen und sich somit gut für die Darstellung eines so großen Raumes eignen. Das Ziel dieser Karte besteht darin, die Landbedeckung möglichst bis ins Detail darzustellen, was durch eine räumliche Auflösung von 10 Metern realisiert wird. Dazu dienen neben den auch von SEGER benutzten Landsat-TM Daten, deren Bildfeld eine Fläche von 185 x 185 km aufzeichnet, zwei aneinander angrenzende panchromatische Spot-Bilder mit jeweils 60 x 60 km Bildgröße. Das in die Karte einbezogene Wegenetz ist der topographischen Übersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (TÜK 200) entnommen.

Datenbearbeitung

Die Farbgebung für diese Satellitenbildkarte wurde so gewählt, daß sie durch Annäherung an physische Karten von Atlanten, bei denen Städte rot, Wälder und Auen in Grüntönen sowie Flüsse und Seen dunkel abgebildet sind, für einen Laien leicht lesbar ist. Das so entstandene farbige Satellitenbild ist das Ergebnis der Zuordnung der Landsat-TM Kanäle 1, 5 und 7 zu den Farben rot, grün und blau und wurde darüberhinaus durch Techniken der Bildverarbeitung verbessert. Letztere erlauben z.B. durch Kontrastverstärkung und Histogrammstreckung Korrekturen in der Farbwahl. Um neben den Farbkompositen auch eine hohe Bildqualität zu erreichen, wurden die beiden georeferenzierten, panchromatischen Spot-Bilder desselben Aufnahmedatums zunächst zu einem zusammenhängenden Bild mosaikiert und dann mit Hilfe eines Kantenfilters räumlich verbessert. Da beiden Bildern dieselbe Georeferenzierung und somit dieselbe Kartenprojektion zugrunde lag, ließen sie sich durch einen Transformationsprozeß, das sogenannte "Resolution Merge", übereinander lagern, und es entstand das Ergeb-

nisbild. Die "Resolution Merge" Transformation beansprucht durch das mögliche Einbeziehen aller sieben Landsat-TM Kanäle einen größeren Speicherplatz, das Bildprodukt läßt sich dann aber noch für andere Aufgaben, wie zum Beispiel zur multispektralen Klassifikation mit erhöhter geometrischer Auflösung weiterverwenden. Das Resultat dieser Arbeitsschritte ist die - im Gegensatz zur Karte von 1989 - erhöhte räumliche Detailerkennbarkeit in der Karte.

Kartographische Zusatzinformationen

In der Legende sind die wichtigsten, im dargestellten Raum vorkommenden Landschaftsstrukturen wie städtische und ländliche Siedlungen, Tagebaue, Auen, Wälder und Landwirtschaftsflächen repräsentativ als vergrößerte Teilausschnitte aufgeführt, wodurch die Interpretation des Satellitenbildes unterstützt und somit die Nutzbarkeit der Karte erhöht wird.

Außerdem wurde die Lesbarkeit der Karte durch das Einbeziehen von kartographischen Zusatzinformationen, wie Landesgrenzen, Bundesstraßen und Autobahnen, aber auch durch Beschriftung von Straßen, Städten und Landschaftselementen erhöht (vgl. Kap. 4.1). Sie stellen nützliche Elemente für die räumliche Orientierung in der Karte dar. Darüberhinaus dienen die Vektordatensätze zur Erstellung einer in der Legende abgebildeten Übersichtskarte, die die Lage des Raumes im Gebiet der neuen Bundesländer beschreibt.

Karten im Vergleich

Der größte Teil des Geländeausschnittes und die Wahl des Maßstabes sind mit der von SEGER erzeugten Satellitenbildkarte vergleichbar. Unterschiede der beiden Karten liegen in der räumlich höheren Auflösung, die durch die Einbeziehung der höher auflösenden Spot-Daten mit 10 m realisiert wurde. Im Vergleich dazu beträgt die Auflösung der Karte von SEGER nur 30 m. Desweiteren gibt es Unterschiede bezüglich der Auswahl der darzustellenden Kanäle, der Erweiterung des Gebietes speziell in Richtung Norden und des Aufnahmezeitpunktes. Gerade letzterer macht den visuellen Vergleich der beiden Karten interessant und wertvoll: während SEGER sich der Visualierung des Raumes zur „Wende"-Zeit (1989) widmete, läßt die neuere Karte von 1994 bereits Schlüsse auf die Weiterentwicklung und die Dynamik des Raumes zu, denn die raumrelevanten Veränderungen, die der politische und ökonomische Umbruch mit sich brachte, sind bereits nach fünf Jahren deutlich erkennbar.

Die ersten Jahren nach der politischen Wende brachten vor allem rasante und großflächige Stadt-Umland Entwicklungen mit sich, wobei sich Bauvorhaben zunächst auf Gewerbegebiete, Großeinzelhandelszentren und Infrastrukturmaßnahmen konzentrierten, die in der Karte großflächig hervortreten. Beispiele für Gewerbeansiedlungen sind das Löwencenter in Rückmarsdorf, der Saale-Park an der A 9, das Quelle Versandzentrum im Norden und das Paunsdorf Center im Osten Leipzigs, für Infrastruktur ist an erster Stelle der Bau der Neuen Messe im Norden von Leipzig zu nennen, der Neubauten und Verlegungen von Bundesstraßen mit sich brachte, aber auch der Bau des Güterverkehrszentrums und ein neuer Terminal am Flughafen Leipzig-Halle. Neben den baulichen Veränderungen lassen sich innerstädtische Strukturen aufgrund der höheren geometrischen Auflösung in der Karte für das Jahr 1994 genauer erfassen. So ist die linienhafte Anordnung der Wohngebäude in den Plattenbausiedlungen im Süden von Halle und in Leipzig Grünau markant abgebildet, die geometrische Anlage z.B. der Straßenzüge in der Südvorstadt von Leipzig genau nachvollziehbar, während in der Karte für das Jahr 1989 nur die Plattenbauten in Halle- Neustadt in ihrer räumlichen Anordnung gut sichtbar sind.

In vielen Tagebauen hat sich der Grundwasserspiegel durch die Regulation des Abpumpens verändert: im nördlichen Teil der Goitsche wurde das Abpumpen eingestellt und die Wasserfläche dadurch vergrößert. In dem 1989 noch zum Abbau vorbereiteten Tagebau Cospuden westlich von Markkleeberg - der aufgrund der politischen Wende nie als Tagebau genutzt wurde - stieg der Grundwasserspiegel bis 1994 bereits erheblich an, so daß der dort entstehende See mittlerweile als Naherholungsgebiet genutzt wird und ein Teil der entstehenden Seenlandschaft im Süden von Leipzig darstellen wird. Auch Großgeräte wie Absetzer und Brücken sind erkennbar, so daß beispielsweise im Tagebau Zwenkau nachvollzogen werden kann, wo sich der Absetzer befindet und wie weit der Abbau von 1989 bis 1994 vorangeschritten ist.

Da die beiden Karten einen Überblick über einen relativ großen Raum bei gleichzeitiger Detailerkennbarkeit geben, wird jeder Kartenleser je nach Interessenlage weitere Details und Unterschiede herausfinden können. Damit stehen den Regional- und Landschaftsplanern bereits verarbeitete Satellitenbilder zur Verfügung, mit deren Hilfe sie auch ohne eigene Bildverarbeitungsanlage je nach Aufgabenstellung räumliche und zeitliche Veränderungen visuell ermitteln, analysieren und bewerten können.

5 Die Analyse der Landnutzung und ihrer Veränderungen in verschiedenen Maßstabsebenen

5.1 Ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen - Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf den Gebietswasserhaushalt

Rudolf Krönert & Steffi Erfurth

Einleitung

Die Höhe der Evapotranspiration wird vom Niederschlag, der nutzbaren Feldkapazität des Bodens, dem Grundwasserstand, der Bodenbedeckung einschließlich Bodenversiegelung (engl. land cover) und der für die Verdunstung verfügbaren Energie bestimmt. Ändert sich eine der Größen, dann ändert sich die Evapotranspiration und damit der Abfluß. Großräumig ändert sich die Bodenbedeckung nur über lange Zeiträume, kleinräumig und lokal kann es aber zur Veränderung der Landbedeckung mit erheblichen Auswirkungen auf die Grundgrößen des Wasserhaushaltes kommen. Es liegt daher nahe, das Landnutzungsmonitoring durch satellitengestützte Fernerkundung und damit der Feststellung von Änderungen der Landbedeckung mit Modellrechnungen zum Gebietswasserhaushalt zu verknüpfen. Ziel dieses Abschnittes ist es zu zeigen, wie sich Landnutzungsänderungen auf den Gebietswasserhaushalt auswirken. Damit soll ein weiteres Argument für die Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit des Landschafts- bzw. Landnutzungsmonitoring als Bestandteile des Umweltmonitoring mit Fernerkundungsmethoden beigebracht werden.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat erneut darauf aufmerksam gemacht, daß er den Aufbau einer erweiterten integrierten Umweltbeobachtung für unverzichtbar hält. „Bestehende sektorale Beobachtungsnetze müssen dabei vervollständigt, harmonisiert und zusammengeführt und durch eine *ökosystemar orientierte Umweltbeobachtung ergänzt* werden (Hervorhebung durch die Autoren). Die Ergebnisse der Umweltbeobachtung sollten in Umweltinformationssysteme münden ..." (SONDERGUTACHTEN 1996, S. 54). An anderer Stelle heißt es: „Der endgültige Charakter von Plänen als Handlungsanleitungen für den Naturschutz entspricht nicht mehr den vorhandenen planungstechnischen Potentialen (geographisches Informationssystem, Umwelt- bzw. Landschaftsinformationssysteme) und entsprach sachlich nur bedingt den dynamischen Strukturen der Natur- und Kulturlandschaften bzw. der Dynamik im politisch-administrativen Bereich. Eine Entwicklung von Planung zu Management bedarf einer stärkeren Verankerung und Institutionalisierung *dynamischer Planungsinstrumente* .... Eine wesentliche Voraussetzung für eine Stärkung der Landschaftsplanung ... ist ein *kontinuierliches Umweltmonitoring*" (SONDERGUTACHTEN 1996, S.65/66).

Der Vergleich jeder Satellitenbildkarte oder Satellitenbildszene des mitteldeutschen Raumes mit den Karten der realen Evapotranspiration und des Abflusses (vgl. Farbabb.) zeigt eine weitgehende Korrespondenz der Landnutzung mit diesen Grundgrößen des Gebietswasserhaushaltes.

Die Wasserflächen heben sich durch höchste Verdunstungswerte ab. Flußauen fallen durch hohe Verdunstungswerte auf. Die Siedlungsflächen bilden sich durch hohe Abflußwerte ab. Die offenen Tagebaue ohne Vegetationsbedeckung verdunsten weniger als die umliegenden

Agrar- bzw. Forstflächen. Der große Truppenübungsplatz in der Oranienbaumer Heide fällt durch geringe Verdunstungswerte auf. Forstflächen verdunsten mehr als umliegende Agrarflächen. Die Differenzierung der Verdunstung auf Agrarflächen resultiert aus Boden- und Niederschlagsunterschieden. Die Evapotranspiration wurde nach dem Bagrov-Verfahren in der Version Glugla/König (DVWK, 1996; GLUGLA & KÖNIG, 1989) berechnet. Die Daten (Bearbeitungsstand etwa 1988) wurden uns für die weitere Bearbeitung vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in Halle zur Verfügung gestellt.

In der Region Leipzig-Halle-Bitterfeld sind Veränderungen in der Landnutzung vor allem auf den ehemaligen Bergbauflächen durch Flutung der Tagebaue und durch Aufforstung bzw. Selbstbegrünung und in den Stadtregionen mit starker Suburbanisation zu erwarten. Im erstgenannten Falle wird es zu einer Erhöhung der Verdunstung, im zweiten Falle wegen zunehmender Versiegelung zu einer Abnahme der Verdunstung kommen. Das kann in Überschlagsrechnungen nach dem Bagrov-Verfahren gezeigt werden.

Eingangsgrößen für die Verdunstung in der Bergbaufolgelandschaft (nur bergbaubeeinflußte Flächen):

- Mittlere nutzbare Feldkapazität 20 % (z. T. Sand, z. T. Lehme, gemittelt)
- Mittlerer Gebietsniederschlag 600 mm
- Mittlerer korrigierter Gebietsniederschlag 654 mm
- Verdunstung von freien Wasserflächen 700 mm
- Potentielle Evapotranspiration 600 mm
- Anteile der Landnutzungskategorien (1993) geschätzt, in Anlehnung an BERKNER (1995)
- Annahmen zur Landnutzung für den Zeitpunkt t_2 nach Beendigung des Abbaus und vollständiger Rekultivierung
- Bagrov-Koeffizienten und Verhältnis der realen zur potentiellen Verdunstung nach DVKW (1996, S. 43/44)

Tab. 1: Evapotranspiration und Abfluß von Bergbaufolgeflächen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld

Landnutzung	Evapotranspiration [mm]	Flächenanteile [%]		
		1993	Jahr t_{1n}	Jahr t_2
Wald (30 Jahre alt)	558	18		35
Landwirtschaftsfläche	492	25	Übergangszustände	20
unbedeckter Boden	372	50		5
Wasser	700	7		40
mittlere Evapotranspiration in der Region [mm]		458		592
mittlerer Abfluß in der Region [mm]		196		62

Eine vollständige Veränderung der Landnutzung in den Bergbaufolgelandschaften führt zu einer starken Veränderung der Verdunstungs-Abfluß-Relationen. Weil die Evapotranspiration im Jahre t_2 gegenüber 1993 stark zunimmt, erreicht der Abfluß im Jahre t_2 gegenüber 1993 nur noch 31,6 %. Vom gegenwärtigen Zustand der Landnutzung bis zu einem relativen End-

zustand wird es Übergangsstadien der Landnutzung geben, für deren Feststellung die satellitengestützte Fernerkundung hervorragend geeignet ist.

Ganz anders ist die Situation in der Stadtregion Leipzig für das 122 km^2 große unmittelbare Umland der Stadt Leipzig (Tab. 2 und 3). Bei der gegenwärtigen Landnutzung, ermittelt aus LANDSAT-TM-Daten (HEINZ, 1996 und in Kap. 5.3.2) und einer mittleren nutzbaren Feldkapazität von 23 % für nicht bebaute Flächen, errechnet sich bei einem mittleren korrigierten Niederschlag von 654 mm/a eine Evapotranspiration von 472 mm/a und ein Abfluß von 182 mm/a. Bei einer erwarteten Zunahme der Siedlungsfläche um 40 km^2 zu Lasten der Landwirtschaftsfläche und damit einer Zunahme der versiegelten Fläche um 20 km^2, errechnet sich eine mittlere Evapotranspiration von nur noch 409 mm/a. Der Abfluß steigt dann auf 245 mm/a im Durchschnitt des Umlandes an. Weil die Evapotranspiration in den Jahren t_1 und t_2 gegenüber 1994 deutlich abnimmt, steigt der Abfluß und erreicht im Jahre t_1 117 % und im Jahre t_2 135 % des Abflusses von 1994. Das sind Größenordnungen, denen mit einer Durchgrünung entgegengewirkt werden muß, um die Kanalisation nicht überdimensioniert ausbauen zu müssen. Außerdem sollte einer Versiegelung von Boden zur Erhaltung seiner Regulationsfunktion entschieden entgegengewirkt werden.

Tab. 2: Bebaute Fläche und Versiegelungsgrad im Umland von Leipzig (1994) (Quellen: Bebaute Fläche nach HEINZ 1996, Versiegelungsgrade für Landnutzungsklassen nach SCHEFFLER 1989, berücksichtigte Gesamtfläche 122,02 km^2)

Landnutzungsklassen	Anteil der Fläche [%]	davon versiegelt [%]	davon grün bzw. unversiegelt [%]
geringe Verdichtung	15,96	30	70
mittlere Verdichtung	3,91	50	50
hohe Verdichtung	0,90	90	10
Großblockbauweise	7,93	60	40
bebaute Fläche insgesamt	28,70	43,2	56,8

Tab. 3: Evapotranspiration und Abfluß im Umland von Leipzig (Landnutzung 1994 nach HEINZ 1996, berücksichtigte Gesamtfläche (ohne Bergbauflächen) 122,02 km^2)

Landnutzung	Evapotranspiration [mm]	Flächenanteile [%]		
		1994	t_1	t_2
versiegelte Siedlungsfläche	132	12,4	20,6	28,7
grüne Siedlungsfläche	516	16,3	24,5	32,6
Wald	558	6,0	6,0	6,0
Wasser	700	0,4	0,4	0,4
Landwirtschaftsfläche	516	64,9	48,5	32,3
mittlere Evapotranspiration in der Region [mm]		472	440	409
mittlerer Abfluß in der Region [mm]		182	214	245

Beide Beispiele machen deutlich, daß die Daten der Fernerkundung in Kombination mit Daten anderer Herkunft nicht nur Landschaftsveränderungen zu analysieren gestatten, sondern auch

ermöglichen, Berechnungen zur Veränderung des Gebietswasserhaushaltes durchzuführen, die durch Landnutzungsänderungen ausgelöst werden.

Literatur

BERKNER, A. (1995): Der Braunkohlenbergbau in Mitteldeutschland. - Zeitschrift für den Erdkundeunterricht 47, H. 4, S. 151-162.

DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. - Bonn. H. 238.

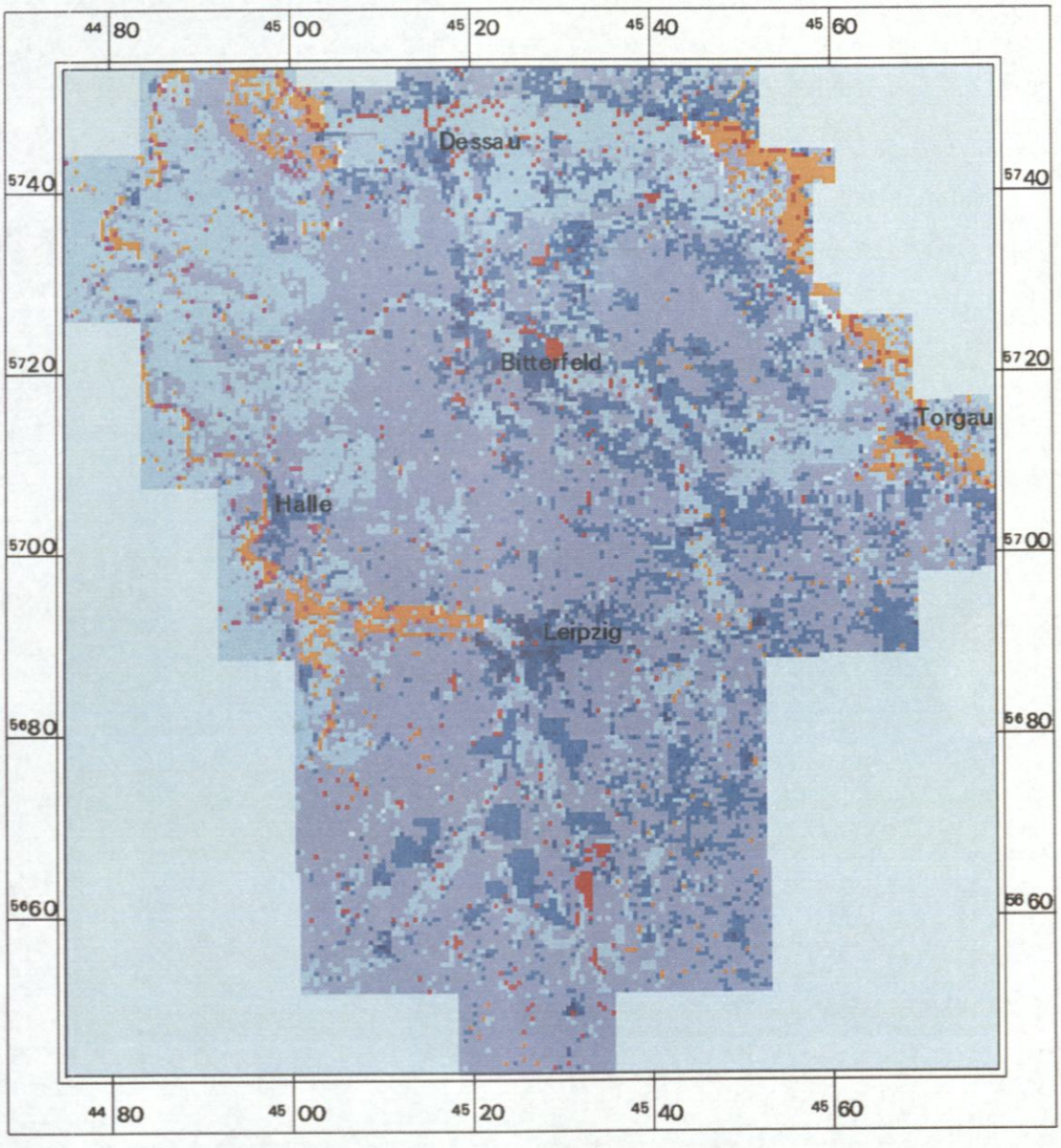
GLUGLA, G. & B. KÖNIG (1989): Der mikrorechnergestützte Arbeitsplatz Grundwasserdargebot. - Wasserwirtschaft - Wassertechnik 39, S. 178-181.

HEINZ, V. (1996): Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild. - UFZ-Bericht Nr. 9. Leipzig.

SCHEFFLER, A. (1989): Dokumentation. Strukturschlüssel zur Dechiffrierung und Interpretation von städtischen Nutzflächengefügen. - Akademie der Wissenschaften der DDR, Inst. f. Geographie und Geoökologie, Leipzig.

SONDERGUTACHTEN (1996): Konzepte einer dauerhaft-umweltgerechten Nutzung ländlicher Räume. - Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Deutscher Bundestag, Drucksache 13/4109.

Abfluß im Raum Leipzig - Halle - Bitterfeld



Legende

- < -200 mm
- -200 - < -100 mm
- -100 - < 0 mm
- 0 mm
- > 0 - < 100 mm
- 100 - < 200 mm
- 200 - < 300 mm
- 300 - < 400 mm
- > 400 mm
- keine Datenangabe im Randbereich

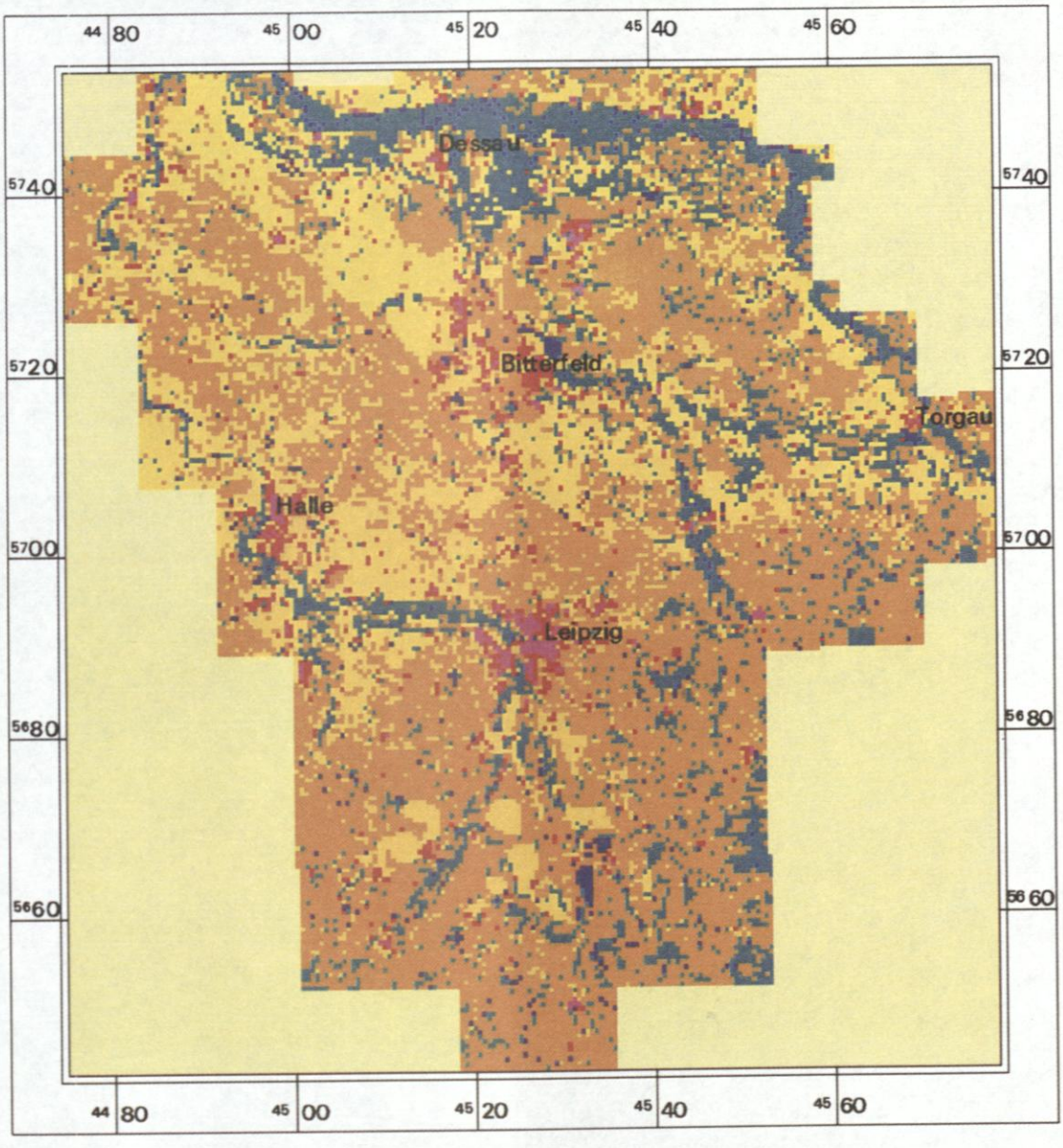
Maßstab

20 0 Kilometer

Daten: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (1989)

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Datenaufbereitung und Kartographie: S. Erfurth

Evapotranspiration im Raum Leipzig - Halle - Bitterfeld



Legende

- 130 - < 233 mm
- 233 - < 337 mm
- 337 - < 441 mm
- 441 - < 545 mm
- 545 - < 649 mm
- 649 - 750 mm
- keine Datenangabe

Maßstab

20 0 Kilometer

Daten: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (1989)

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Datenaufbereitung und Kartographie: S. Erfurth

5.2 Der Raum zwischen Elbe und Mulde

5.2.1 Naturpark Dübener Heide und angrenzender Ballungsraum Bitterfeld-Dessau

Ellen Banzhaf & Carola Bühler-Natour

Der Raum zwischen Elbe und Mulde ist in seiner Landschaftsstruktur und seinen Landschaftstypen sehr vielfältig. Stadt- und Industrielandschaften sowie Bergbaufolgelandschaften grenzen direkt an Agrarlandschaften, Agrar-Forstlandschaften sowie Forstlandschaften mit ihren jeweils sehr unterschiedlichen ökologischen und sozio-ökonomischen Funktionen. Weitere Komponenten sind die Auenlandschaften der mittleren Elbe und der unteren Mulde, die diesen relativ abgeschlossenen, agrarisch geprägten und industriell stark beeinflußten Raum begrenzen. Die in diesem Jahrhundert vorangetriebene wirtschaftliche Entwicklung und Industrialisierung um Bitterfeld-Wolfen und Gräfenhainichen brachte neben lokal auftretenden, äußerst komplexen Umweltbelastungen auch Probleme für das östlich angrenzende Naherholungsgebiet der Dübener Heide mit sich. Diese zum Teil hoch belastete Landschaft zwischen Elbe und Mulde unterliegt seit 1989 vor allem im urbanen und agrarischen Bereich einem raschen Wandel, weshalb Landnutzungsänderungen in künftigen Arbeiten verstärkt mit Fernerkundungsmethoden untersucht werden sollen. In dem hier vorgestellten Beitrag wird vor allem den Problemen dieser Region Rechnung getragen sowie die Ableitung und das Ergebnis einer Flächennutzungsbilanz für diesen Raum diskutiert.

Landbedeckung im Untersuchungsraum

Der Raum zwischen Elbe und Mulde ist eine pleistozän geformte, naturräumliche Einheit, mit der glazial überformten Dübener Heide als Kern und den beiden Auenlandschaften der Flüsse Elbe und Mulde mit ihren weichseleiszeitlichen Niederterrassen.

Die Muldeaue wird bzw. wurde aufgrund der sehr fruchtbaren Böden teilweise intensiv landwirtschaftlich genutzt, und zwar in feuchten Niederungen vorwiegend als Weiden und Wiesen zur Futtergewinnung und in den höher gelegenen Bereichen als Ackerland (LAUER et al., 1992).

Auch die Elbauen werden heute überwiegend als Grünland genutzt, das Umland ist hauptsächlich geprägt von Ackerbau. Von herausragender Bedeutung für den gesamten Regierungsbezirk Leipzig und die Stadt Leipzig sind die Trinkwassergewinnungsgebiete der Elbaue im Raum Torgau. Große Flächen wurden als Trinkwasserschutzzonen ausgewiesen. Im nordwestlichen Teil des Untersuchungsraums entlang der Flüsse Elbe und Mulde liegt ein Teil des Biosphärenreservates Mittlere Elbe, das zu den ältesten, bereits 1979 von der UNESCO anerkannten Gebieten in Deutschland gehört. 1988 erfolgte die Erweiterung des Biosphärenreservates um die kulturhistorisch im Weltmaßstab bedeutsame „Dessau-Wörlitzer Kulturlandschaft".

Das Altmöranengebiet Dübener Heide ist eine von einer Stauchendmörane geprägte, waldreiche Landschaft. Der Begriff „Heide" diente hier von jeher als Bezeichnung für waldreiches Land. Die heutigen Forstflächen der Dübener Heide, die sich u.a. aus ritterlichen Jagdgebieten zu Bereichen der Holzproduktion verwandelt haben, werden von Kiefernmonokulturen be-

herrscht. Die landwirtschaftliche Nutzung hat sich vor allem auf lehmige und anlehmige Sande konzentriert. Analog zur Verbreitung der Moränenplatten lockern zahlreiche Rodungsinseln die geschlossenen Waldflächen auf. Die Entwicklung der Agrar- und Forstwirtschaft bestimmt im wesentlichen das künftige Gesicht der Dübener Heide, da sie die wichtigsten Wirtschaftszweige dieser ländlichen Region darstellen und mit ihren großen Flächenanteilen das Erscheinungsbild der Landschaft entscheidend mitbestimmen.

Da seit der detaillierten Untersuchung von LEGLER (1970), die großenteils auf statistisches Material der DDR von 1964 zurückgreift, keine Flächennutzungsbilanz für den gesamten Raum zwischen Elbe und Mulde durchgeführt wurde, soll die vorgestellte Landbedeckungsanalyse (vgl. Farbabb.) einen aktuellen Überblick über die Flächenverteilung geben. Die Karte verzichtet darauf, administrative Grenzen zu berücksichtigen, da diese erst den 90er Jahren entstammen und keinen Einfluß auf die landschaftsprägenden Elemente nehmen. Grundlagen für die Analyse bilden eine Landsat-TM Szene vom 21.07.1994 und terrestrisch erhobene Referenzdaten, sogenannte „ground truth" Kartierungen, von BÜHLER-NATOUR (1998, in Vorbereitung) im Sommer 1994. Auf das methodische Vorgehen der hier besprochenen Landbedeckungsanalyse wird im anschließenden Kapitel (Kap. 5.2.2) eingegangen.

Die Karte zeigt im mittleren Teil den Raum zwischen Elbe und Mulde und darüberhinaus das agrarisch überprägte Gebiet um Delitzsch im Südwesten und um Jessen im Nordosten. Die landwirtschaftliche Nutzung ist mit einem Flächenanteil von 50 - 60 % dominant vertreten. Den zweitgrößten Anteil haben die forstwirtschaftlichen Flächen mit ca. 22 %, die von städtischen Strukturen (versiegelte Flächen) umgeben sind; letztere nehmen weniger als 8 % der Fläche in Anspruch (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Flächenbilanz für den Raum zwischen Elbe und Mulde abgeleitet aus einer Landbedeckungsklassifikation (vgl. Farbabb.)

Nutzung	Fläche in ha	Fläche in %
Grünland	40747,7	13,4
Getreide	58066,9	19,1
Stoppelfelder und bearbeiteter Boden	27374,0	9,0
Reihenkultur	17569,8	5,8
weitständige, trockene Vegetation	56419,6	18,5
moorige Vegetation	1404,0	0,5
Laubwald	29613,9	9,6
Nadelwald	39033,4	12,8
Wasserfläche	4143,4	1,4
Tagebau	2688,4	0,9
Tagebaurandbereich	4400,6	1,4
versiegelte Fläche	23244,8	7,6
Summe	304706,5	100,0

Eine deutliche Siedlungs- und Industrieachse läßt sich von Delitzsch über Bitterfeld-Wolfen nach Dessau und - jenseits der Elbe - Roßlau aufzeigen. Mit dem Schwerpunkt in Bitterfeld und Wolfen konzentrieren sich hier die ehemaligen Großstandorte der chemischen Industrie, die bereits auf eine bis in die 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts zurückreichende Industriegeschichte aufweisen. Ein kleineres, untergeordnetes Siedlungsband zieht sich von Bitterfeld-Wolfen in Richtung Nordosten nach Gräfenhainichen. In Proportion zu den versiegelten Flächen nehmen die Tagebaubereiche mit knapp 2,5 % einen erheblichen Anteil ein, umfassen doch die Großtagebaue wie die Goitzsche und dazugehörige ausgedehnte Kippen die gleiche

Fläche wie die Stadtgebiete von Bitterfeld und Wolfen zusammen und nehmen ca. 10 % der Kreisfläche von Bitterfeld in Anspruch (RUSKE & VILLWOCK, 1996). Die Tagebaue Golpa Nord und Gröbern, die Gräfenhainichen im Norden und Süden begrenzen, nehmen einzeln bereits mehr Raum ein als die zwischen ihnen liegende Stadt.

Umwelt- und Landnutzungsprobleme in der Dübener Heide

Die Dübener Heide gehört zu denjenigen Waldgebieten im Tiefland der Bundesrepublik, die aufgrund ihrer Nähe zum mitteldeutschen Industriedreieck über viele Jahrzehnte hinweg extrem hohen Immissionen ausgesetzt waren. So wurde das Großkraftwerk Zschornewitz vor über 50 Jahren als erstes Großkraftwerk auf Braunkohlebasis angelegt. Folge derartiger Industrieentwicklungen waren Luftverunreinigungen, die zu umfangreichen Rauchschäden an Bäumen führten. Die Dübener Heide war das größte Rauchschadensgebiet der DDR (LEGLER, 1970). Aus SO_2 - Gasen entstand in Verbindung mit Niederschlag saurer Regen, der zur Verminderung des Nadelbesatzes, zur Auflichtung der Bestände und zu einer Minderung der Zuwachsleistungen führte. Gleichzeitig erfolgte über einen Zeitraum von rund 100 Jahren die Deposition basischer Flugaschen. Die Gesamtmenge wird auf 12 Mio. t geschätzt. Sie besitzt einen CaO-Anteil von ca. 20 % (NEUMEISTER et al., 1991) und bewirkte eine Veränderung des Säurezustandes im Oberboden von pH-Wert 3-4 auf pH-Wert > 7 im emittentennahen Gebiet (ENDERLEIN & STEIN, 1964). Als Folge treten kalkholde Pflanzen in der Krautschicht (WIEGAND & AMARELL, 1995) und eine Naturverjüngung der Kiefer auf. Jede der beiden Schadwirkungen hat eine andere Reichweite, so daß unterschiedlich stark betroffene Bereiche um die Industriekomplexe, verschoben in der Hauptwindrichtung, ausgewiesen werden können. Die Eindämmung der Luftschadstoffe und forstwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen hatten bereits Mitte der 80er Jahre zu ersten Erfolgen gegen das Waldsterben geführt (HAASE, 1986).

Agrarwirtschaftliche Untersuchungen werden anhand von Beispielsgebieten in der Dübener Heide von BÜHLER-NATOUR (1998, in Vorbereitung) vorgenommen. Die Analyse der landwirtschaftlichen Bodennutzung wird in Kapitel 5.2.2 besprochen.

Das Bodenpotential des zwischen Elbe und Mulde liegenden Endmoränengebietes ist vorrangig durch Sand, anlehmigen Sand bis lehmigen Sand charakterisiert. Daraus ergeben sich mittlere Acker- (23-42) und Grünlandzahlen (25-49). Die unterschiedlichen Bodenformen lassen teilweise jedoch erhebliche Differenzierungen erkennen, so daß kleinräumig Schwankungen von 20 bis zu 80 Bodenpunkten (z.B. Priesitz) anzutreffen sind (AEROCART CONSULT, 1994).

Zu DDR-Zeiten wurde im Bereich der Dübener Heide neben Getreide (Roggen, Weizen) vornehmlich Hackfruchtbau (Kartoffeln) betrieben, auch Feldfutter (Mais, Futtergras) spielten eine große Rolle. Die Grünlandwirtschaft dominierte in allen grundwassernahen Gebieten.

Mit der Anpassung an die Bedingungen des europäischen Binnenmarktes und durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen der EU-Agrarreform kam es zu umfangreichen Veränderungen der Anbaustruktur. Die Anbauflächen haben sich zu Gunsten von Getreide- und Ölsaatenanbau und von Stillegungsflächen verändert. Insgesamt werden etwa 25 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Dauergrünland und 75 % als Ackerland genutzt. Der einst so wichtige Anbau von Hackfrüchten (insbesondere Kartoffeln) ist stark zurückgegangen. Die Anbaustruktur wird also im wesentlichen durch die erteilten Förderungen für die jeweilige Fruchtart bestimmt. Deshalb ist künftig mit weiteren Veränderungen der Anbaustruktur zu rechnen (AEROCART CONSULT, 1994).

Umweltprobleme im Ballungsraum Bitterfeld - Dessau

Folge des angrenzenden Braunkohlenbergbaus der im Oligo-Miozän entstandenen Bitterfelder Flözhorizonte waren Grundwasserabsenkungen, die bis weit in die Sandergebiete vor den Stauchendmoränen und in die Muldeaue hineinreichen. Um Gräfenhainichen haben Tagebaubetriebe bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts tief in die Naturraumstruktur eingegriffen. Die technogenen Eingriffe führten zu einer nahezu vollständigen Umgestaltung der Gräfenhainicher Moränenplatte, wie z.B. der Tagebau Muldenstein und die Flutung des Restlochs zum Muldestausee, die Umleitung der Mulde von Pouch bis Friedersdorf durch die Pleistozänplatte, die Schüttung der Hochhalde Schleesen und den weiteren Aufschluß von Braunkohlegruben bei Rösa, Gröbern und Jüdenberg. Das Resultat ist eine langfristige Veränderung des Naturhaushaltes, vor allem seiner Regulationsfunktionen (KRÖNERT et al., 1992).

Seit Anfang der 90er Jahre ist in den industriellen Ballungsräumen durch Stillegung von Industrieanlagen und Kraftwerken eine Verringerung der SO_2-Immissionen und durch Verdichtung des Kraftverkehrs ein Anstieg der NOx-Immissionen festzustellen. Dieser Trend wird sich voraussichtlich auch in den kommenden Jahren fortsetzen (SCHULZ et al., 1995).

Neben den sich verändernden Stoffeinträgen durch Stillegung von Industrieanlagen, insbesondere von Kohlekraftwerken, übt auch die Verbesserung der Standortbedingungen (Melioration) einen Einfluß auf den jeweiligen Schädigungsgrad der Waldbestände und der agrarischen Nutzung aus (GLUCH, 1992). So ergibt sich eine kleinräumige Verteilung von in zunehmendem Maße geringer beeinflußten und nach wie vor direkt betroffenen Flächen.

An der unteren Mulde, also der unmittelbaren Nähe zu Chemiestandorten und Bergbauflächen, sind Grundwasserabsenkung und Verlegung des Flußlaufs maßgebliche anthropogene Eingriffe. Da im Bereich der Mulde die Bodendecke mit Auelehmen gebildet wird, die aufgrund ihrer Eigenschaften ein mittleres bis hohes Anreicherungsvermögen gegenüber Schadstoffeinträgen besitzt, kommt es hier zu vielfältigen Stoffeinträgen in das Ökosystem über die Medien Luft und Wasser. Für die schadstoffbelastete Mulde und ihre Auenlandschaft gilt es ein Nutzungskonzept zu entwickeln, das die räumlich differenzierte Belastungssituation sowie die Wahrung des Landschaftscharakters berücksichtigt (RUSKE & VILLWOCK, 1995).

Da die industriell und bergbaulich genutzte Fläche in der Region Bitterfeld-Wolfen ungefähr ein Fünftel der Gesamtfläche beträgt, kann sich das „Flächenrecycling" nicht auf eine Reaktivierung und Wiedererschließung von Einzelstandorten beschränken. Die Problematik der Wiedergewinnung von Flächen für die wirtschaftliche Nutzung und für die Verbesserung der regionalen Lebensqualität besteht in der Einbeziehung der industriellen Altstandorte und ausgedehnter, durch den Bergbau devastierter Flächen in Nutzungs- und Raumkonzepte. Dabei weist die - lokale - Flächenbilanz im Kreis Bitterfeld darauf hin, daß die Ansiedlung von Industrie und Gewerbe nach 1990 auf vormals landwirtschaftlich genutzten Standorten stattgefunden hat. Die Gesamtgröße dieser Flächen erreicht bereits jetzt 70 % der Flächengröße der bestehenden Altindustrieflächen. Diese Tendenz bedeutet einen Eingriff in ökologisch notwendige Freiräume und führt zur Aufgabe hochproduktiver landwirtschaftlicher Nutzflächen sowie zu einer weiteren Landschaftszersiedelung, während andererseits noch ausgedehnte, vormals industriell genutzte Flächenbrachen existieren (RUSKE & VILLWOCK, 1996).

Dieser Problematik der Flächennutzungskonkurrenz wird in fernerkundungsmethodischen Arbeiten Rechnung getragen, die in diesem Jahr beginnen und im Verbundvorhaben des Projektbereiches Urbane Landschaften angesiedelt sind. Dabei ist es nötig, neue Sensoren hoher Auflösung hinzuzuziehen, denn eine kleinräumige Differenzierung von urbanen Flächen in

einzelne Gebäude und Industriekomplexe sind mit den bisher operativ eingesetzten Sensoren nicht oder nur vom Flugzeug aus durchführbar (vgl. Kap. 3.1.2 und 5.3.1).

Raumbezogene Fragestellungen zu Urbanisierungsprozessen in der Industrieachse Bitterfeld - Dessau, zu naturnahen Entwicklungsprozessen im Gebiet der unteren Mulde, zu Rekultivierungsmaßnahmen von Tagebauen und zu sozio-ökonomischen Fragen des Trinkwasserschutzes im Torgauer Raum werden in anlaufenden Forschungs- und Verbundvorhaben am UFZ bearbeitet.

Literatur

AEROCART CONSULT GmbH (Hg.)(1994): Naturräumliche, strukturelle und wirtschaftliche Entwicklung des Naturparkes „Dübener Heide". Recherche im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Abteilung Naturschutz des Landes Sachsen-Anhalt. Mit zahlreichen Beiträgen des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle GmbH. Unveröff.

BÜHLER-NATOUR, C. (1998, in Vorbereitung): Auswirkungen der Agrarstruktur auf Landschaftsgestaltung und Umweltentwicklung am Beispiel der Landwirtschaft im Naturpark „Dübener Heide". - (Arbeitstitel). Dissertation Univ. Hohenheim.

ENDERLEIN, H. & G. STEIN (1964): Der Säurezustand der Humusauflage in den rauchgeschädigten Kiefernbestände des StFB Dübener Heide. - Archiv für Forstwesen, 13, 11, S. 1181-1191.

HAASE, G. (1986): Düben - Dahlener Heide. Naturräume der sächsischen Bezirke. - Sächsische Heimatblätter. Sonderdruck aus den Heften 4/5. S. 7-11.

GLUCH, W. (1992): Wiederspiegelung der Immissionsbelastung des Gebietes Bitterfeld-Wolfen in industrienahen Kiefernforsten. - Hille, J., R. Ruske, R.W. Scholz & F. Walkow (Hg.): Schadstoffe und Umwelt. Bd. 10: Bitterfeld. Berlin.

KRÖNERT, R., K. BILLWITZ & KI. AURADA (1992): Trends der Landschaftsbelastungen, des Landschaftsverbrauchs und der Landschaftszerstörung in den neuen Bundesländern. - Beitrag zur Studie „Grundlagen eines mittelfristigen umweltpolitischen Aktionsplanes" im Rahmen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Essen. Leipzig.

LEGLER, B. (1970): Regionalgeographische Untersuchungen der Raumstruktur des Elbe-Mulde-Winkels (Dübener Heide). - Wiss. Veröffentl. d. Geographischen Instituts der Deutschen Akademie der Wissenschaften. Neue Folge 27/28.

LAUER, M., T. HEYMANN & C. SCHNEIDER (1992): Methodische Grundlagen und erste Ergebnisse zur modellhaften Untersuchung einer durch industrielle Abwässer kontaminierten Flußaue mit dem Ziel einer ökologisch verträglichen Sanierung - Muldeaue zwischen Bitterfeld und Dessau. - In: Schadstoffe und Umwelt, Bd. 10.

NEUMEISTER, H., CHR. FRANKE, CHR. NAGEL, G. PEKLO, R. ZIERATH & P. PEKLO (1991): Immissionsbedingte Stoffeinträge aus der Luft als gemorphologischer Faktor. 100 Jahre atmosphärische Deposition im Raum Bitterfeld (Sachsen-Anhalt). - In: Geoökodynamik 12, S. 1-40.

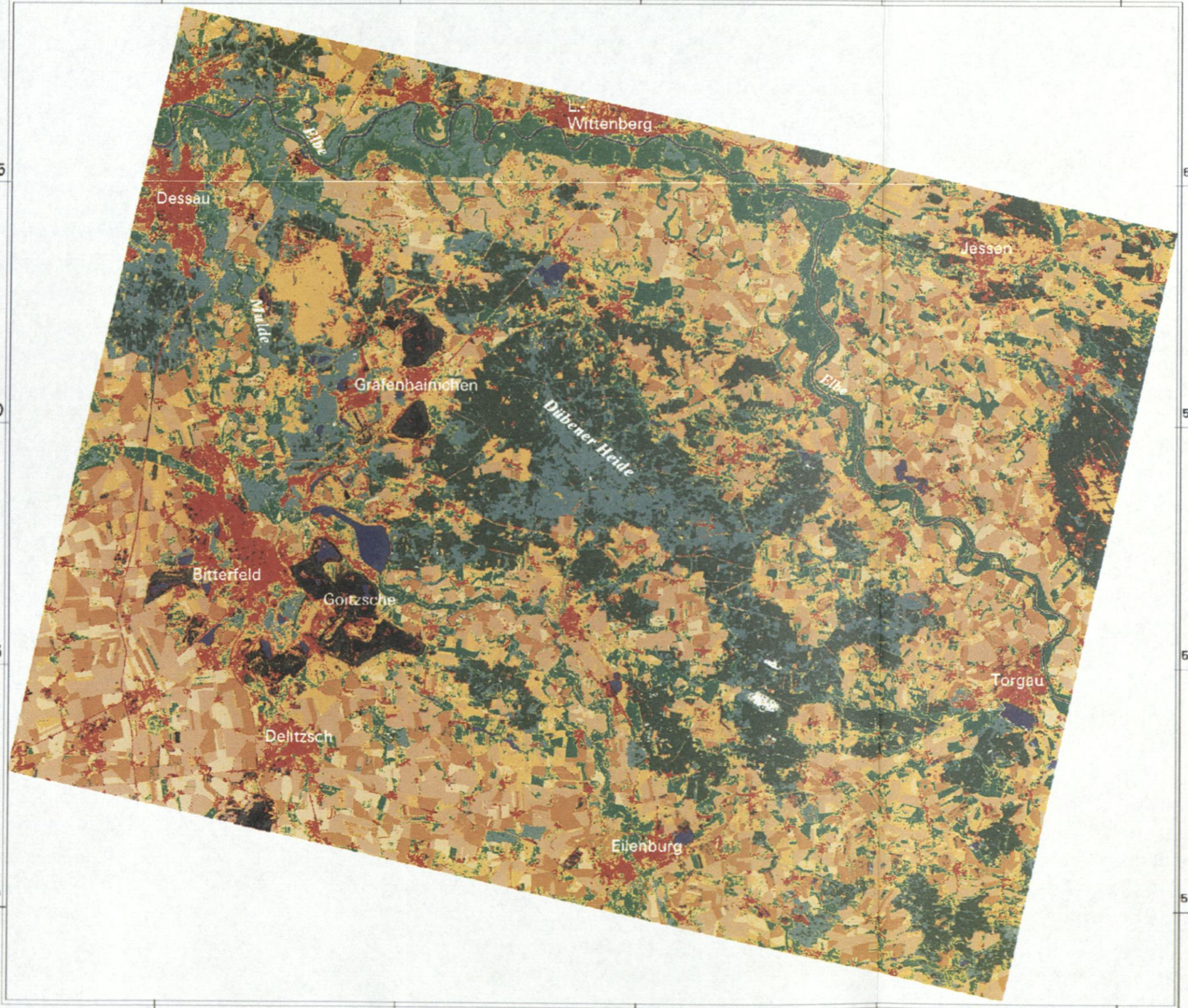
WIEGAND, S. & U. AMARELL (1995): Ecological Studies in a Pollution Gradient: Do Plant and Animal Communities respond differently? - Arch. für Nat.-Lands. Vol. 33, pp. 271-286.

RUSKE, R. & G. VILLWOCK (1995): Untersuchung und Sanierung der Muldeaue zwischen Bitterfeld und Dessau. - In: Bork, H.-R., G. Heinritz & R. Wießner (Hg.): 50. Deutscher Geographentag Potsdam 1995. Band 1. S. 166-173.

RUSKE, R. & G. VILLWOCK (1996): Altlasten und Flächenrecycling in der Industrie- und Bergbauregion Bitterfeld. - In: Alfred-Wegener-Stiftung (Hg:): Von den Ressourcen zum Recycling. Geoanalytik, Geomanagement, Geoinformatik. S. 235-242.

SCHULZ, H., G. HUHN & S. HÄRTLING (1995): Akkumulation von luftgetragenen Spurenstoffen in Kiefernökosystemen und deren Einfluß auf biochemische Prozesse (Biochemische Indikation). - Umweltwissenschaften Band 3, Technische Universität Cottbus, S. 180-196.

Landbedeckungsanalyse im Elbe-Mulde-Winkel



Legende:

- Grünland
- Getreide
- Stoppelfeld und bearbeiteter Boden
- Reihenkultur
- weitständige, trockene Vegetation
- moorige Vegetation
- Laubwald
- Nadelwald
- Wasserfläche
- Tagebau
- Tagebaurandbereich
- versiegelte Fläche

Datenquelle:

Satellit:	Landsat-5-TM
Aufnahmedatum:	21. 07. 1994
Bodenauflösung:	30 m x 30 m

Datenbearbeitung:

Geometrische Entzerrung:	120 Paßpunkte (Teilszene) mit Polynom 2. Ordnung
Entzerrungsgrundlage:	TK 25 (N)
Resampling:	Nearest Neighbour / 30 m
Klassifikation:	Maximum Likelihood
Programm:	Erdas-Imagine 8.2

Bearbeitung: Carola Bühler-Natour

Kartographie: Dr. Ellen Banzhaf
Christian Tonk

Maßstab 1:275 000

0 5 10 Kilometer

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

5.2.2 Ermittlung der landwirtschaftlichen Bodennutzung in der Dübener Heide anhand eines Landsat-5-TM-Satellitenbildes

Carola Bühler-Natour

Integration der Satellitenbildauswertung in die Analyse der landwirtschaftlichen Bodennutzung

Die flächendeckende Erfassung und Bestimmung der landwirtschaftlichen Bodennutzung ist eine häufige Anwendung in der Fernerkundung. Sie gewinnt nicht zuletzt durch die Ermittlung von Erntevorhersagen und neuerdings auch durch die Überprüfung von Stillegungsflächen an Bedeutung (HIES & BÜKER, 1995; KLAEDTKE et al., 1992; LEPOUTRE, 1992; VOSSEN, 1992). Im Rahmen der am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH durchgeführten Dissertation mit dem Arbeitstitel: „Auswirkungen der Agrarstruktur auf Landschaftsgestaltung und Bewirtschaftung am Beispiel der Landwirtschaft im Naturpark „Dübener Heide" sollen mittels digitaler Bildverarbeitung Aussagen über Quantität bzw. Art der Landnutzung dieser Region getroffen werden. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt dabei auf der Bestimmung der verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzflächen (Kulturpflanzen, Brachen und Grünland) sowie der Errechnung ihres Flächenanteils. Flächenscharfe Daten zur landwirtschaftlichen Bodennutzung sind aus Datenschutzgründen für das Untersuchungsgebiet nicht zu beschaffen und die üblichen statistischen Erhebungen sagen nichts über deren räumliche Verteilung aus. Der Vorteil einer Landbedeckungsauswertung mittels Satellitenbilddaten liegt außerdem darin, daß Daten z.B. nach Landschaftseinheiten erhoben werden können und nicht an administrative Grenzen gebunden sind.

Für die Bestimmung der agrarischen Landnutzung dient besonders der Erderkundungssatellit Landsat-5-TM. Da erdbeobachtende Satelliten bereits im Beitrag von BANZHAF "Methodische Grundlagen - Fernerkundung" (Kap. 3.1) besprochen sind, werden an dieser Stelle nur die für diese Aufgabe notwendigen Eigenschaften kurz erläutert. Die Aufnahmen von Landsat-5-TM eignen sich aufgrund der großen spektralen Spannbreite der Aufnahmekanäle vom sichtbaren Bereich über nahes und mittleres Infrarot bis hin zum thermischen Infrarot hervorragend zur Bestimmung der Vegetation, da im nahen und mittleren Infrarot der Großteil der auftreffenden Sonnenstrahlung vom Blattgrün reflektiert wird.

Um die spezifischen Kulturarten mit ihren phänologischen Eigenschaften eindeutig erkennen zu können und somit eine genaue Landbedeckungsanalyse zu erzielen, ist eine multitemporale Auswertung notwendig. Durch die Verwendung mehrerer Satellitenbilder einer Vegetationsperiode kann die fehlende Differenzierungsmöglichkeit von Kulturarten in der einen Bildaufnahme durch Hinzunahme einer weiteren Aufnahme ausgeglichen werden. Diese methodische Vorgehensweise konnte hier nicht durchgeführt werden, da es für die Vegetationsperiode 1993/94 aufgrund starker Bewölkung über dem Untersuchungsgebiet nur eine für die Arbeit brauchbare Satellitenbildszene vom 21. 7. 1994 gab. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Ernte der landwirtschaftlichen Getreidearten bereits begonnen (vgl. Auflistung "Phänologie der landwirtschaftlichen Kulturarten in der Dübener Heide 1994").

Methode der Auswertung

Die Satellitenbildauswertung erfolgte in zwei Etappen: im ersten Teil der Arbeit wurde eine Gesamtflächenklassifikation und im zweiten Teil eine Klassifikation von Kulturarten durchgeführt. Die Gesamtflächenklassifikation gab Aufschluß über die Verteilung von Grünland, Ackerland, Wald und sonstiger Vegetation sowie Wasser, devastierten und versiegelten Flächen im Untersuchungsgebiet (vgl. Farbabb.: Landbedeckungsanalyse des Naturparks "Dübener Heide" mittels eines Satellitenbildes). Hierzu wurden Daten der Feldbegehung sowie CIR-Luftbilder von 1994 und topografische Karten herangezogen, die als „Trainingsgebiete" zur Klassifikation dienten. Nach eingehender Überprüfung des Klassifikationsergebnisses konnten die Trainingsgebiete durch "Bereinigung", d. h. Zusammenfassen möglichst homogener und sich überschneidender Reflexionswerte in einer Klasse, selektiert und genauer begrenzt werden. Weitere Klassifikationen folgten, bis das bestmögliche Ergebnis erreicht wurde. Durch visuelle Interpretation mittels Referenzdaten aus Feldbegehungen, topografischen Karten und CIR-Luftbildern wurde die qualitative Genauigkeit der Klassifikation untersucht und bewertet.

Im ersten Zwischenergebnis, das im vorangegangenen Kapitel 5.2.1 kartographisch dargestellt ist, wurden folgende Landbedeckungseinheiten unterschieden:

- Waldflächen: Laubwald (Anteil Laubbäume > 70 %)
  Nadelwald (Anteil Nadelbäume > 70 %)
- Landwirtschaftliche Nutzflächen: Grünland Ackerland (Getreide, Stoppelfeld, bearbeiteter Boden und Reihenkultur)
- Sonstige Vegetationsflächen: weitständige, trockene Vegetation ("Heide")
  moorige Vegetation („Moor")
- Versiegelte Flächen: Siedlung
  Verkehr
- Devastierte Flächen: Tagebau (einschließlich offener Bauflächen und sonstiger Abgrabungen) Tagebaurandbereich
- Sonstige Flächen: Wasser

Anschließend wurden die Siedlungsflächen nach Bebauungsdichte genauer differenziert (zweites Zwischenergebnis). Die Arbeitsschritte bis zur Gesamtflächenklassifikation (erstes und zweites Zwischenergebnis) werden nachfolgend zusammengefaßt dargestellt.

Arbeitsschritte bis zur Gesamtflächenklassifikation:

1. Auswahl des Ausschnittes aus der Satellitenbildszene
2. Georeferenzierung mittels topografischer Karten im Maßstab 1 : 25000 (TK 25 N)
3. Auswahl der Trainingsgebiete
4. Klassifikation
5. Evaluierung des Ergebnisses mittels eigener Kartierung, CIR-Luftbildern, TK 25 N
6. Erneute Klassifikation (erstes Zwischenergebnis, vgl. Farbabb. Landbedeckungsanalyse)
7. Bildung neuer Klassen (Siedlungsflächen)
8. Klassifikation und erneute Evaluierung (zweites Zwischenergebnis)

Auf diese Klassifikation (zweites Zwischenergebnis) aufbauend wurde die Wahrscheinlichkeit, mit der die Pixel den Klassen zugeordnet werden und die a priori für diese durch das Bildverarbeitungsprogramm vorgegeben sind, für einzelne Klassen (Siedlungsflächen) geändert, da Teile der landwirtschaftlichen Flächen fälschlich als Siedlung klassifiziert wurden. Mit einem Wahrscheinlichkeitsgewichtungsfaktor, dem Bayes' schen Entscheidungskriterium (vgl. BANZHAF, 1994, S. 47/48), wurden die Klassen der Siedlungsflächen so gewichtet, daß sie in nachfolgender Klassifikation entsprechend den tatsächlichen Begebenheiten wiedergegeben wurden. Dieses Klassifikationsergebnis diente für die zweite Etappe der Arbeit als Maske, die aus den Ackerklassen und der Grünlandklasse bzw. der Klasse für weitständige, trockene Vegetation erstellt wurde.

Nach dieser Maskierung wurde eine erneute Klassifikation nur innerhalb der Agrarflächen vorgenommen, mit der Zielstellung einer detaillierten Differenzierung der landwirtschaftlichen Kulturarten (vgl. Farbabb. Agrarflächenanalyse). Diese Methode erhöhte die Präzision des Klassifikationsergebnisses der landwirtschaftlichen Kulturen und somit auch die Genauigkeit der berechneten Flächenanteile (vgl. Tab. 2). Folgende landwirtschaftliche Kulturarten wurden durch diese zusätzlichen Klassifikationsschritte ermittelt:

- Getreide: Roggen, Winterweizen, Wintergerste
- Futterbau: Mais, Feldfutter
- Hackfrüchte: Rüben, Kartoffeln
- Ölfrüchte: Sonnenblumen, Winterraps, Öllein
- Hülsenfrüchte: Erbsen
- Grünland
- Heide

Auch nach dieser Agrarflächenklassifikation wurde eine visuelle Interpretation durchgeführt und die Güte der Klassifikation anhand der eigenen Agrarflächenerhebungen und der CIR-Luftbilder geprüft. Mittels einer Genauigkeitsbeurteilung des Klassifikationsergebnisses, in der 528 zufällig ausgewählte klassifizierte Bildpunkte durch die Bearbeiterin auf die richtige Zugehörigkeit zu einer Klasse überprüft wurden, konnte die Klassifikationsgüte mit 87 % richtiger Zuordnungen ermittelt werden.

Ergebnisse und Interpretation der Gesamtflächen- bzw. Agrarflächenklassifikation

Die monotemporale Satellitenbildauswertung ließ bei der Gesamtflächenklassifikation keine Klassentrennung zwischen den abgeholzten oder frisch aufgeforsteten Flächen und den Siedlungsflächen zu. Dies lag an dem durch das Abholzen bzw. Pflanzen verursachte "Plattwalzen" des Bodens und seiner spärlichen Vegetation, woraufhin dieser den gleichen Reflexionswert hatte wie Flächen, die der Klasse „versiegelte Fläche“ zugeordnet wurden. Erst bei Kronenschluß der Kiefern wurden die Pixel richtigerweise als Klasse „Nadelwald“ erkannt. Verkehrsflächen fielen mit den Siedlungsflächen in eine Klasse, da beide Nutzungen nur als versiegelt erkannt wurden. Mischsignaturen wurden zumeist als Siedlungsfläche klassifiziert. Bauflächen und sonstige Abgrabungen hingegen wurden aufgrund des vegetationslosen Bodens der Klasse „Tagebau“ zugeordnet.

Da das besondere Augenmerk dieser Arbeit auf der Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzfläche lag, wurde diese Grundeinheit noch detaillierter aufgeschlüsselt. Insgesamt gab es sieben verschiedene Ackerklassen, zwei Grünlandklassen, eine Klasse für weitständige, trockene Vegetation und eine Vegetationsklasse mit Trockenschäden. Diese elf Klassen resultierten aus

der Agrarflächenklassifikation, der visuellen Interpretation des Satellitenbildes sowie der CIR-Luftbilder und der Felderhebung. Bei der Interpretation der Ergebnisse der Gesamtflächen- bzw. Agrarflächenklassifikation ist die Phänologie der landwirtschaftlichen Kulturarten zu beachten.

Wie aus dem nachfolgend beschriebenen phänologischen Zustand abzuleiten ist, war zum Zeitpunkt der Satellitenbildaufnahme die Wintergerste bereits abgeerntet und die Felder teilweise schon gepflügt oder gegrubbert. In der Gesamtflächenklassifikation wurden solche Felder entweder als Tagebau oder als versiegelte Fläche klassifiziert. Desweiteren fielen typische Heideflächen (z.B. Oranienbaumer Heide oder Annaburger Heide) aufgrund ihrer ähnlichen spektralen Reflexion in die gleiche Klasse wie Ackerflächen, deren Frucht schlecht aufgegangen war. Hierbei spielte das Verhältnis Boden zu Pflanze eine entscheidende Rolle. Es konnte nur eine Klasse mit weitständiger Vegetation unterschieden werden.

Datum	Phänologische Phase
25. 4. - 22. 5.	Winterrapsblüte
10. 5. - 19. 5.	Ährenschieben Roggen
12. 5. - 19. 5.	Ährenschieben Wintergerste
18. 5. - 22. 5.	Ende der Winterrapsblüte
18. 5.	Beginn mit dem ersten Schnitt Feldfutter
23. 5.	Ährenschieben Winterweizen
26. 5.	Beginn Roggenblüte
Ende Mai / Anfang Juni	Ende Aussaat Mais
22. 6. - 27. 7.	Winterroggenernte
23. 6.	Beginn der Leinblüte
24. 6.	Volle Leinblüte
29. 6. - 13. 7.	Wintergerstenernte
4. 7.	Beginn der Sonnenblumenblüte
13. 7.	Vollreife des Winterrapses, Milchreife des Winterweizens
13. 7.	Haferblüte
16. 7. - 20. 7.	Winterrapsernte
27. 7. - 10. 8.	Winterweizenernte
27. 7.	Gülleausbringung auf Stoppelfelder und damit verbundene Bodenbearbeitung
7. 8.	Ende der Getreideernte bis auf wenige Ausnahmen
7. 8.	Ölleinernte
- 7. 8.	Bodenbearbeitung auf den meisten ehem. Getreidefeldern
- 7. 8.	Ausbringen von Gülle bzw. Mist und Einarbeitung
- 7. 8.	Starke Trockenschäden an Mais und Sonnenblumen

Nach dem Vergleich der Klassifikation mit CIR-Luftbildern wurden Schrebergärten teils als Agrarfläche, teils als Siedlungsfläche mit geringer Bebauungsdichte klassifiziert. Ein großes Problem der Klassifikation stellten insgesamt betrachtet die Tagebaugebiete dar. Nicht rekultivierte Kippenflächen wurden teils fälschlicherweise als locker bebaute Fläche, teils richtig als Tagebau ausgewiesen. Dies hing mit einer unterschiedlichen Vegetationsdichte zusammen, so daß völlig vegetationslose Kippen richtigerweise der Klasse Tagebau und weitständig bewachsene fälschlicherweise der Klasse lockere Bebauung (Vegetation mit versiegelter Fläche) zugeordnet wurden. Da es bei dieser Klassifikation jedoch auf die agrarisch genutzte Fläche ankam, war die Verbesserung dieser Gesamtflächenklassifikation, z.B. durch weitere Trainingsgebiete für die falsch zugeordneten Klassen nicht gefordert. Für die Gesamtfläche konnten folgende Flächenanteile ermittelt werden (vgl. Tab. 1):

Tab. 1: Ergebnis der Gesamtflächenklassifikation (vgl. Farbabb. Landbedeckungsanalyse)

Klasse	Hektar	Fläche in %
Grünland	23306,6	12,6
Ackerland	85242,9	46,2
Heide	7653,7	4,1
Moor	1006,7	0,5
Laubwald	18788,6	10,1
Nadelwald	28943,5	15,6
Wasser	2585,5	1,4
Tagebau	5269,7	2,8
Siedlung u. Verkehr	12390,4	6,7
Gesamtfläche	185187,6	100,0

Wichtiger als die Verbesserung der Klassifikationsgüte für die Klasse Tagebaue war vielmehr die richtige Zuordnung der Klassen Ackerfläche bzw. Grünland, die durch das Bayes' sche Entscheidungskriterium erhöht wurde. Probleme bei der Unterscheidung zwischen Mais und Sonnenblumen ergaben sich aufgrund des gleichen Säzeitpunktes beider Kulturpflanzen und daher parallel verlaufender Vegetationsentwicklung. Ähnliche Schwierigkeiten aufgrund desselben Pflanzzeitpunktes entstanden bei Klasse 34 (vgl. Tab. 2), in der Mais und Rüben bzw. Kartoffeln nicht zu differenzieren waren. Wegen der bis zum Aufnahmezeitpunkt nicht geschlossenen Vegetationsdecke dieser Kulturarten fielen Kartoffeln in dieselbe Klasse. Die Differenzierung der Getreidearten Roggen und Weizen gelang im Gebiet der Dübener Heide sehr gut. Aufgrund des weiter fortgeschrittenen Reifestadiums dieser Getreidearten am Rand des Gebietes, vor allem in der Elbaue, wurden die beiden Klassen dort unterschiedlichen Reifestadien innerhalb der Getreidefelder zugeordnet. Ungemähtes Grünland und Feldfutter konnten mittels dieser Klassifikationsmethode nicht getrennt werden.

Die Agrarflächenklassifikation ergab das in Tabelle 2 vorgestellte Ergebnis:

Tab. 2: Ergebnisse der Agrarflächenklassifikation (vgl. Farbabb. Agrarflächenanalyse)

Beschreibung der Klasse	Klasse	Hektar	Fläche in %
Getreide in der Druschreife (Roggen)	26	19597,6	17,4
Nicht bodendeckende Vegetation (Mais bzw. Rüben, Kartoffeln)	34	6714,4	5,9
Vegetation mit Trockenschäden (z. T. Mais bzw. Sonnenblumen)	40	16455,8	14,5
Braune Stoppelfelder (Wintergerste)	39	6028,1	5,4
Feldfutter bzw. nicht gemähtes Grünland	28	13842,8	12,3
Grünland (gemäht)	13	15847,4	14,1
Mais bzw. Sonnenblumen ohne Trockenschäden	41	2583,6	2,3
Bearbeiteter Boden (nach Wintergerste- bzw. Winterrapsernte)	38	5031,8	4,5
Weitständige, trockene Vegetation (Heideflächen bzw. Öllein)	35	9154,2	8,1
Grüne Stoppelfelder (Winterraps bzw. Erbsen)	33	9999,4	8,9
Getreide in der Teigreife (Winterweizen)	32	7402,8	6,6
Landwirtschaftliche Bodennutzung		112657,9	100,0

Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der Klassifikation geben einen Überblick über die Verteilung der einzelnen Agrarflächen wieder. Bislang gab es eine derartig flächendeckende Bestandsaufnahme für diesen Raum nicht, so daß diese Klassifikation eine Grundlage für eine solche Erhebung darstellt.

Da die Satellitenbildaufnahme zum Erntezeitpunkt entstand, waren die einzelnen Kulturen in unterschiedlichem Aufwuchs bzw. schon abgeerntet. Um genauere Ergebnisse in der Landbedeckungsanalyse zu erzielen, sollte der Zeitpunkt der Satellitenbildaufnahme kurz vor der Ernte der betreffenden landwirtschaftlichen Kulturen liegen. Eine Verbesserung der jetzt vorliegenden Ergebnisse könnte durch ein weiteres Satellitenbild, z.B. vom Herbst 1993, erzielt werden. Leider stand ein solches wegen Bewölkung nicht zur Verfügung.

Literatur

BANZHAF, E. (1994): Die Regionalisierung der Wärmebelastung in Mainfranken anhand von Geofaktoren. - Freiburger Geographische Hefte 43, Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie, Freiburg, 109 S.

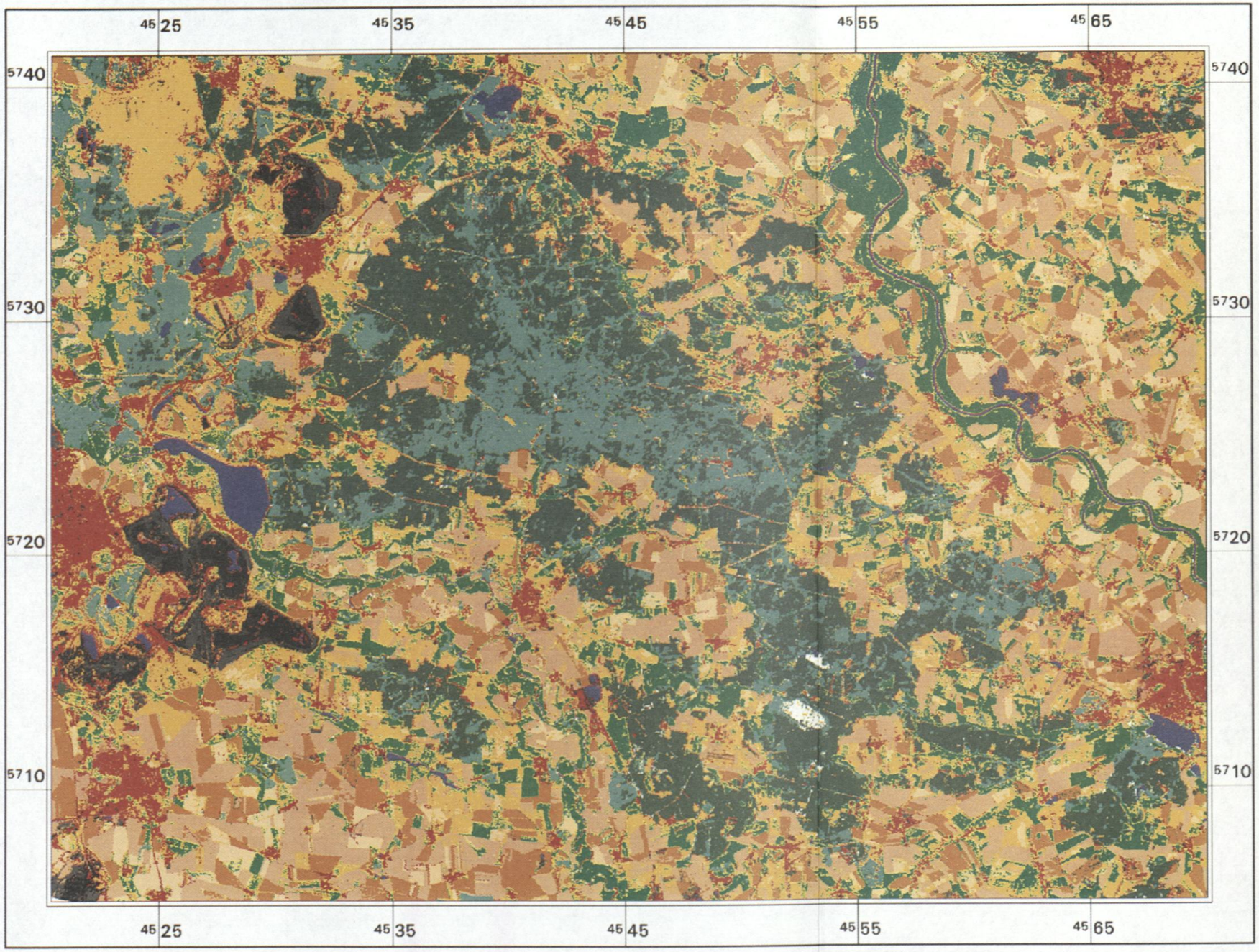
HIES, J. & C. BÜKER (1995): Die Kontrolle landwirtschaftlicher Flächen mit Hilfe der Fernerkundung. - In: Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung: Vortäge 14. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. Dresden.

KLAEDTKE , H.-G., KUHN, W., STADLER, R., HÄMMERLING, P., THALHEIMER, F., KAIFEL, A., MAUSER, W., BACH, H., DEMIRCAN, A., KUNTZ, S., RÄHLMANN, H., FRITZ, R. & M. ZINTEL (1992): Einsatz von Satellitendaten zur Bestimmung der Bodennutzung und Ertragsermittlung in Baden-Württemberg. - Bericht 1991, Universität Stuttgart, Inst. für Navigation und Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 209 S., unveröffentlicht.

LEPOUTRE, D. (1992): Les images satellites pour le suivi des productions agricoles. - In: Institute for Remote Sensing Applications: Conference on the Application of Remote Sensing to Agricultural Statistics. Proceedings. Villa Carlotta, 26. - 27. November 1991.

VOSSEN, P. (1992): Forecasting National Crop Yield of E.C. Countries: the Approach Developed by the Agricultural Project. - In: Institute for Remote Sensing Applications: Conference on the Application of Remote Sensing to Agricultural Statistics. Proceedings. Villa Carlotta, 26. - 27. November 1991.

Landbedeckungsanalyse des Naturparks "Dübener Heide" mittels eines Satellitenbildes



Legende:

- Grünland
- Getreide
- Stoppelfeld und bearbeiteter Boden
- Reihenkultur
- weitständige, trockene Vegetation
- moorige Vegetation
- Laubwald
- Nadelwald
- Wasserfläche
- Tagebau
- Tagebaurandbereich
- Versiegelte Fläche

Datenquelle:

Satellit: Landsat-5-TM
Aufnahmedatum: 21. 07. 1994
Bodenauflösung: 30 m x 30 m

Datenbearbeitung:

Geometrische Entzerrung: 120 Paßpunkte (Teilszene) mit Polynom 2. Ordnung
Entzerrungsgrundlage: TK 25 (N)
Resampling: Nearest Neighbour / 30 m
Klassifikation: Maximum Likelihood
Programm: ERDAS-Imagine 8.2

Anmerkung:

Das klassifizierte Gebiet umfaßt neben dem Naturpark auch angrenzende Gebiete, wie das Elbtal im Nordosten und den Raum um Delitzsch im Südwesten.

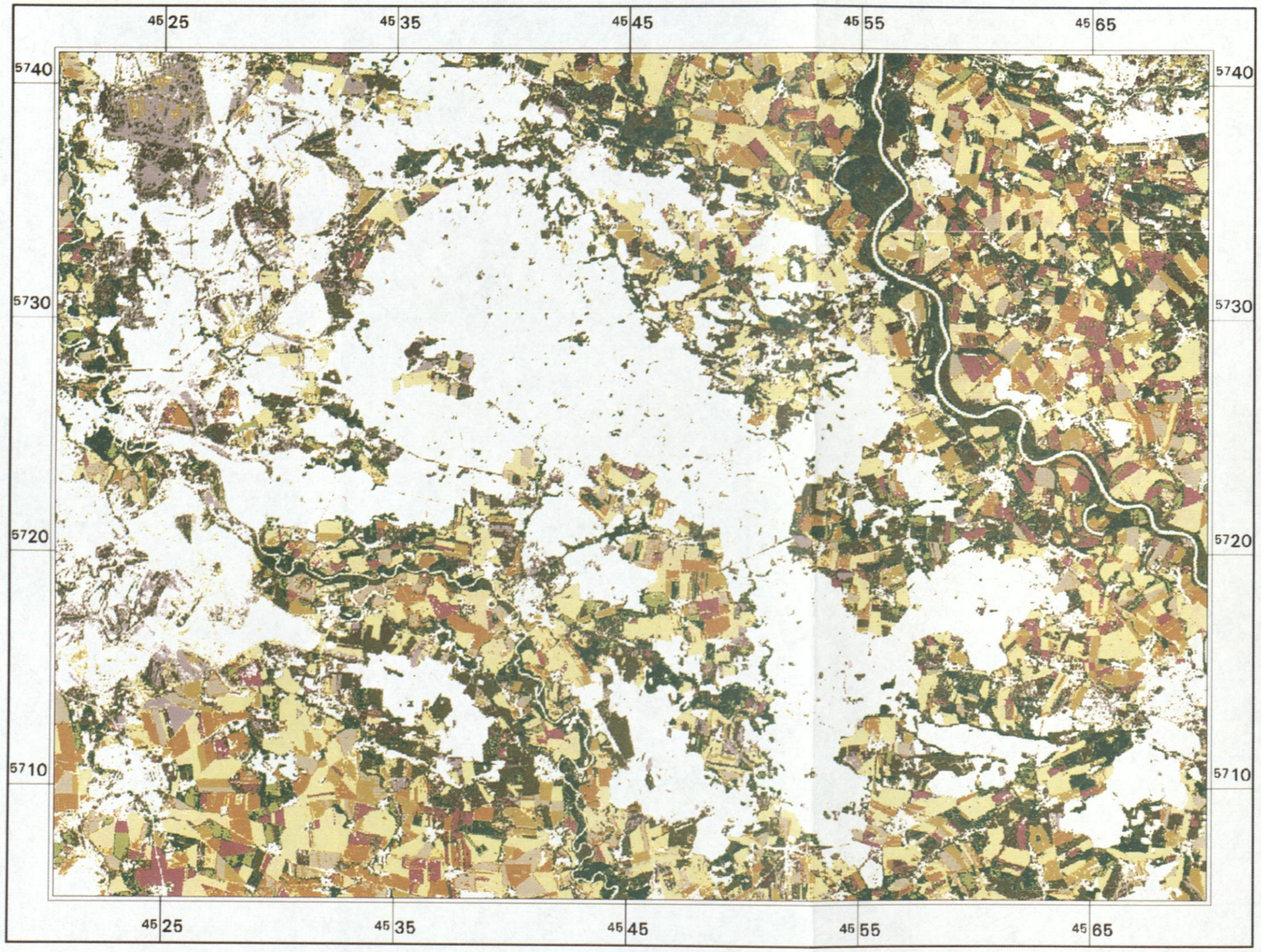
Maßstab 1 : 200 000

5 0 5 Kilometer

Bearbeitung und Kartographie: C. Bühler-Natour
Projektleitung: Prof. Dr. sc. R. Krönert

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

Agrarflächenanalyse des Naturparks "Dübener Heide" mittels eines Satellitenbildes



Legende:

- Nicht landwirtschaftliche Flächen
- Gemähtes Grünland
- Getreide in der Druschreife
- Feldfutter bzw. nicht gemähtes Grünland
- Getreide in der Teigreife
- Grüne Stoppelfelder
- Nicht bodendeckende Vegetation
- Weitständige, trockene Vegetation
- Bearbeiteter Boden
- Braune Stoppelfelder
- Vegetationsdecke mit Trockenschäden
- Mais bzw. Sonnenblumen ohne Trockenschäden

Datenquelle:

Satellit: Landsat-5-TM
Aufnahmedatum: 21. 07. 1994
Bodenauflösung: 30 m x 30 m

Datenbearbeitung:

Geometrische Entzerrung: 120 Paßpunkte (Teilszene) mit Polynom 2. Ordnung
Entzerrungsgrundlage: TK 25 (N)
Resampling: Nearest Neighbour / 30 m
Klassifikation: Maximum Likelihood nach Anwendung des Wahrscheinlichkeitsgewichtungsfaktor von Bayes
Programm: ERDAS-Imagine 8.2

Anmerkung:

Das klassifizierte Gebiet umfaßt neben dem Naturpark auch angrenzende Gebiete, wie das Elbtal im Nordosten und den Raum um Delitzsch im Südwesten.

Maßstab 1 : 200 000

5 0 5 Kilometer

Bearbeitung und Kartographie: C. Bühler-Natour
Projektleitung: Prof. Dr. sc. R. Krönert

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH

5.3 Leipzig und Umland

5.3.1 Landnutzungsänderungen in der Stadt und im Umland von Leipzig

Brigitte Usbeck

Die Anwendung von Luft- und Satellitenbilddaten ist seit langem auf den unterschiedlichsten Gebieten zu einem wichtigen Arbeitsinstrument geworden. So zeigt dieser Beitrag, wie aktuelle Aufgaben der Stadt- und Regionalentwicklung mit Fernerkungungsdaten, hier speziell mit Luftbildern, bearbeitet werden können. Auf die Besonderheiten der Luftbildinterpretation wird innerhalb des Beitrages eingegangen.

Der Aufsatz ist das Ergebnis eines BMBF-Teilprojektes zur Stadtökologie, das am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH in der Zeit von 1991 bis 1995 erarbeitet wurde. Ziel des „Flächennutzungsprojektes" war die Ermittlung, Analyse und Bewertung der aktuellen Flächennutzung zu den Zeitpunkten Juni 1992 und Juni 1994 sowie ihre Veränderungen in dieser Zeitspanne. Aus der Analyse der Veränderungen, die sich nach der Wiedervereinigung Deutschlands in kurzer Zeit und in großem Ausmaß vollzogen, werden gegenwärtige Entwicklungstendenzen der Stadtregion Leipzig deutlich gemacht und gewertet.

Methode

Das Untersuchungsgebiet umfaßt zum einen das Umland der Stadt Leipzig, das bis 1993 den ehemaligen Landkreis Leipzig bildete und zum anderen die Stadt Leipzig selbst (USBECK, 1996). Als Datengrundlage dienten Luftbilder. 1992 und 1994 wurden dazu durch das UFZ jeweils Luftbildbefliegungen in Auftrag gegeben[1]. Um eine vergleichbare Interpretation mit anderen Städten zu gewährleisten, wurde die vom Statistischen Bundesamt in Wiesbaden empfohlene Realnutzungslegende STABIS für den mitteldeutschen Ballungsraum etwas modifiziert und als Arbeitsbasis verwendet (DEGGAU et al., 1989). Die Legende ist hierarchisch aufgebaut. Sie umfaßt 12 Obergruppen und insgesamt 50 Untergruppen, wobei das Schwergewicht aufgrund der Aufgabenstellung auf weitestgehende Differenzierung der bebauten Flächen gelegt wurde.

Kartierungsgrundlage waren für das Umland topographische Karten im Maßstab 1 : 50 000 und für die Stadt im Maßstab 1 : 25 000. Die kleinste zu kartierende Einheit waren Straßengevierte, homogene Nutzungen oder strukturbestimmende Elemente (z.B. Wasserflächen), die eine Mindestgröße von 1 ha (bzw. 2500 m²) in der Natur bzw. 4 mm² auf der Karte aufweisen. Jede Grundfläche ist datentechnisch so aufbereitet, daß sie direkt der kommunalen Gliederung der Stadt bzw. den Gemeinden des Umlandes zugeordnet werden kann. Somit entstanden Datenbanken mit insgesamt ca. 10 000 Datensätzen, die in sich wiederum mehrere Informationen (z.B. Flächengröße, Realnutzungsart, Gemeindezugehörigkeit, bzw. Stadtbezirk, Ortsteil und Statistischer Bezirk u.a.) enthalten. Diese Daten wurden am UFZ nach der kommunalen Zu-

---

[1] Colorluftbilder vom 26. 6 1992 und Color-Infrarot-Luftbilder vom 25. 6. 1994

gehörigkeit (Gemeinde, Stadtbezirk, Ortsteil, Statistischer Bezirk) und den zwei unterschiedlichen Zeitschnitten mit dem statistischen Programm SAS ausgewertet. Die Ergebnisse der Analyse können nun jederzeit aus dem geographischen Informationssystem zu jeder Gemeinde, jedem Stadtbezirk und jeder anderen kommunalen Gliederungseinheit zu allen erhobenen Realnutzungsdaten und zu den erhobenen Zeitschnitten abgerufen werden. In den Ortsteilkatalogen der Stadt Leipzig 1993 und 1995 wurden z.B. die Ergebnisse der Landnutzungsanalyse pro Ortsteil ausgewiesen (STADT LEIPZIG, 1993 und 1995).

Luftbilder geben in großer Detailtreue die Oberflächenbedeckung unserer Umgebung wieder. Aus dem Muster und der Zusammensetzung der Oberflächen (Gebäude, Vegetation, Gewässer, offener Boden, u.a.) innerhalb der einzelnen Straßengevierte (Grundflächen) kann man auf die Nutzung der Fläche schließen. Flächen, die aus ihrer Struktur nicht eindeutig zugeordnet werden konnten (insgesamt ca. 5 %), wurden vor Ort erkundet. Die Luftbilder zeigen den Zustand der Landnutzung zum Aufnahmezeitpunkt. Die Erfassung der Landnutzung mit Luftbildern ist somit zu einem Zeitpunkt für größere zusammenhängende Flächen möglich. Sie ist eine ausreichend genaue und schnelle Methode im Vergleich zu einer Vor-Ort-Erfassung. Die meisten Nutzungen, wie z.B. Gewässer, Frei- und Erholungsflächen, Wohnbebauung oder Verkehrsflächen sind deutlich im Luftbild zu erkennen. Probleme gibt es bei bebauten Gebieten, die eine neue Nutzung erfahren (vgl. Abb. 1). Alte Industriegebäude, die leer stehen oder als Verwaltungs-/Bürogebäude genutzt werden, können aus dem Luftbild nur wieder als Industriegebäude erkannt werden und werden somit falsch interpretiert. Um Veränderungen in der Nutzung von altindustrialisierten Flächen nachzuspüren, ist deshalb innerhalb der o.g. Projektbearbeitung eine Detailuntersuchung durchgeführt worden. Die Vermutung, daß der gewerbliche Strukturumbruch mit Luftbildern nur über neu entwickelte großflächige Gewerbegebiete erkannt werden kann, wurde bestätigt. Zu einer umfassenden Analyse der Veränderung der Gewerbestruktur in der Stadt können Luftbilder nur teilweise Verwendung finden. Deutlich erkennbar sind alle neu bebauten oder in Bau befindlichen Flächen und damit die extensive Siedlungsflächenentwicklung im Großstadtbereich - die Suburbanisierung. Die Erkundung der gegenwärtigen extensiven Stadtentwicklung und zunehmenden Suburbanisierung des Stadtumlandes kann somit sehr gut mit Luftbildern erarbeitet werden.

Die Methode der visuellen Luftbildinterpretation mit gleichzeitiger Verwendung der GIS-Technologie ist im Vergleich zur „Vor-Ort-Begehung" schnell und ausreichend genau, wenn o.g. Besonderheiten beachtet werden. Neben dem bereits beschriebenen Vorteil der flächendeckenden Verarbeitung von Fernerkundungsdaten (Luft- und Satellitenbilder) zu einem Zeitpunkt erlaubt die hohe Auflösung der Luftbilder eine Erarbeitung und Darstellung der Ergebnisse im mittel- und großmaßstäbigen Bereich, dem Arbeitsbereich der Stadt- und Raumplanung. Luftbilder sind zwar im Vergleich zu Satellitenbilddaten teurer, dafür ist der Kostenaufwand für die visuelle Interpretation und deren Verarbeitung mit GIS-Technologien an PC-Arbeitsplätzen mit preiswerter Software niedriger (vgl. Kap. 5.3.2). Die Entscheidung, welche Daten und welche Technik verwendet werden soll, ist anhand der jeweiligen Aufgaben- und Zielstellung zu treffen.

Als Ergebnis der Flächennutzungsanalyse entstanden zwei Karten zur Realnutzung der Stadt Leipzig und des Umlandes. Beide wurden mit spezifizierten Legenden bearbeitet, so daß ein direktes Zusammenfügen nicht möglich ist. Die vorliegende kartographische Gegenüberstellung wurde inhaltlich aufeinander abgestimmt (vgl. Abb. 2). Die statistische Analyse führt zu den nachfolgend dargestellten Ergebnissen.

Interpretation und Wertung der Flächennutzung

Wohnflächen

Die Leipziger Stadtrandzone ist sowohl durch Kleinstädte und große Industriegemeinden als auch durch ländliche Siedlungen gekennzeichnet. Die aktuelle Flächennutzungsstruktur unterscheidet sich markant von der der Stadt. Mit über 50 % dominiert bisher eindeutig die landwirtschaftlich genutzte Fläche (vgl. Diagramm 1). Die Wohnfläche liegt mit ca. 10 % deutlich unter dem Anteil in der Kernstadt, erreicht jedoch in einigen, mit dem bebauten Stadtgebiet eng verbundenen Gemeinden (Markkleeberg, Mölkau, Wiederitzsch, Holzhausen, Engelsdorf, Böhlitz-Ehrenberg, Taucha) nahezu den städtischen Wert bzw. übertrifft ihn sogar. Hierbei handelt es sich um die am stärksten urbanisierten Vororte.

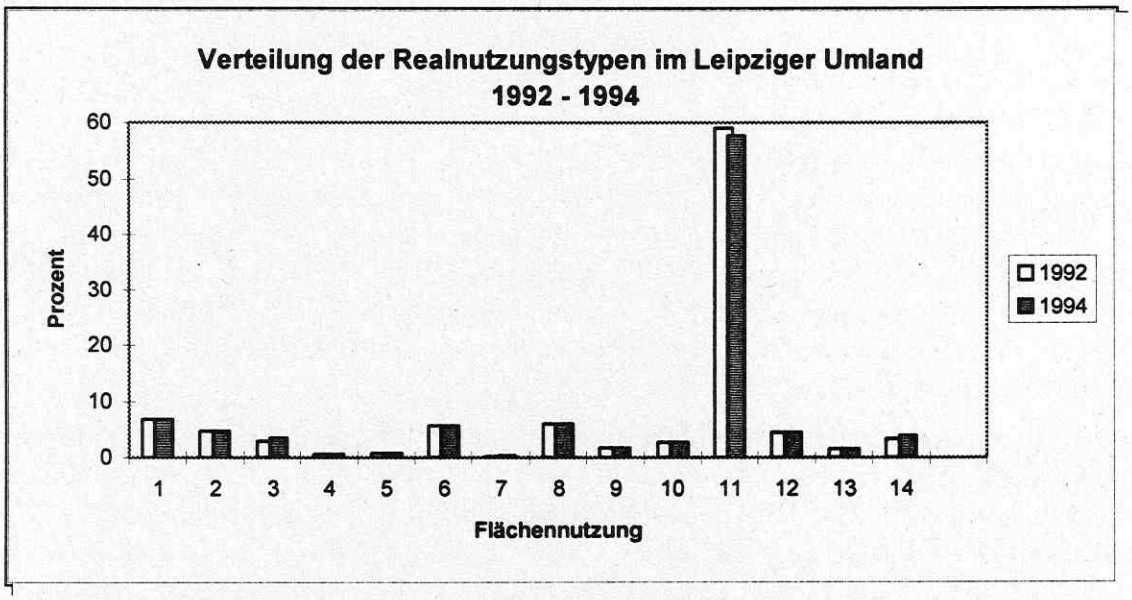


Diagramm 1: Verteilung der Landnutzung im ehemaligen Landkreis Leipzig

Legende zu Diagramm 1 und 2

1 Wohnflächen
2 Mischgebiet
3 Industrie u. Gewerbe
4 Fläche bes. baul. Prägung
5 Techn. Ver- u. Entsorgung
6 Aufschüttungsflächen
7 Abgrabungsflächen
8 Braunkohlenabbau
9 Verkehr
10 Freizeit- und Erholungsflächen
11 Landwirtschaft
12 Wald
13 Wasser
14 Brach- und Umwidmungsflächen

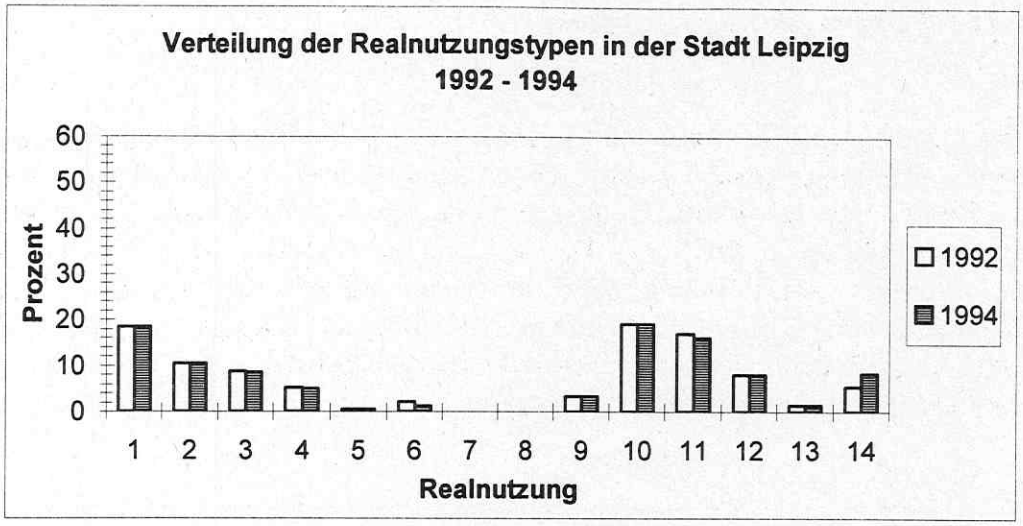


Diagramm 2: Verteilung der Landnutzung in der Stadt Leipzig

1992 wurden 20 % der Leipziger Stadtfläche (ca. 3 000 ha) durch Wohnflächen belegt (vgl. Diagramm 2). Überproportionale Anteile der Wohnfläche an der Stadtbezirksfläche existieren in den Stadtbezirken West (Grünau), Nord (Gohlis), Nordost (Mockau) und Südost (Meusdorf). Diese Stadträume werden somit dominant durch die Wohnfunktion geprägt. Der Stadtbezirk Mitte weist den geringsten Anteil reiner Wohnflächen auf. Hier dominiert mit fast 25 % Flächen die gemischte Nutzung, vor allem im Ortsteil Zentrum (City), wo zwei Drittel der Gesamtfläche durch zentrale Funktionen geprägt werden.

Die größten zusammenhängenden Wohnflächengebiete der Stadt gibt es in den Stadtbezirken Nordost, Südwest, West, Südost und Nord. Sie vereinen etwa zwei Drittel der reinen Wohnflächen der Stadt auf sich. Die Bebauung ist in Nordost (Portitz, Thekla, Mockau-Nord), Südost (Meusdorf, Probstheida, Stötteritz) und Südwest (Knauthain-Knautkleeberg, Großzschocher, Schleußig) durch überproportionale Anteile von niedriger Bauweise (Einfamilienhaus, z. T. Villenbebauung) geprägt.

Die hohe Bauweise (3-10 Geschosse) prägt dominant die Stadtbezirke mit größerer gründerzeitlicher Bebauung (Innenstadt). Sie geben Leipzig das typische Gepräge einer dicht bebauten Stadt. Hochhausbebauung tritt nur in den Neubaugebieten der 60er und 70er Jahre sowie in Grünau auf.

Industrie- und Gewerbeflächen

Die Ortsteile Neulindenau, Plagwitz und Eutritzsch nehmen mit Anteilen zwischen 38 % und 52 % mit deutlichem Abstand die Spitzenstellung bei Industrie- und Gewerbeflächen ein. Größenordnungen von etwa 25 % erreichen nur noch Teile des Stadtbezirkes Nordost. In diesen Räumen sind die größten zusammenhängenden gewerblichen Flächen lokalisiert.

Der westliche Standortraum wird bereits im Bestand durch die Gewerbeflächen des produzierenden Gewerbes dominiert, seine diesbezügliche funktionale Ausrichtung auf das verarbeitende Gewerbe wird durch die Planung noch verstärkt (Gebiet Weidenweg). Sein absolutes und relatives Gewicht als industrieller Standortraum der Stadt erhöht sich somit erheblich. Im Gegensatz dazu geht das des Nordostraumes relativ zurück. Flächen für nicht störende Dienstleistungsbetriebe erfahren hier eine erhebliche Ausweitung. Dies ist in erster Linie auf

Lagebedingungen / logistische Standortvorteile (Lage zwischen City und Neuer Messe; Autobahnnähe) zurückzuführen.

Einige der Umlandgemeinden bilden traditionell stark industriell/gewerblich geprägte Standorte mit einem Gewerbeflächenanteil von über 10 % (Engelsdorf, Böhlitz-Ehrenberg, Wiederitzsch). In Engelsdorf nimmt diese Kategorie fast ein Drittel des Gemeindeterritoriums ein. Mit diesen drei Orten erfahren die historisch entstandenen Gewerbeachsen Leipzigs im Norden, Osten und Westen ihre Fortsetzung in das engere Umland.

Brach- und Umwidmungsflächen

Mitte 1992 wurden immerhin über 5 % des Stadtterritoriums als Brach- und Umwidmungsfläche eingestuft. In den Ortsteilen Heiterblick, Paunsdorf und Schönefeld-Ost tritt diese sogar als dominante Nutzungsart auf und ist Ausdruck der in diesem Stadtbereich begonnenen größeren Erschließungs- und Umnutzungstätigkeit für Gewerbe-, Wohn- und Sondergebiete. Auch in anderen Ortsteilen traten schon 1992 größere Umnutzungsflächen auf, die auf nachfolgende Bautätigkeit schließen lassen (Mockau-Nord, Schönau, Großzschocher).

In der Stadtrandzone liegt der Anteil von Brach- und Umwidmungsflächen mit 7 % noch über dem städtischen Wert und signalisiert den bereits Mitte 1992 deutlich sichtbaren räumlichen Strukturwandel im engeren Umland. Standörtlich schließen sich diese Umwidmungsflächen an diejenigen der Stadt an (im Norden, Nordosten und Osten), kennzeichnen jedoch auch die Gebiete des übrigen Umlandes, in denen mit der Erschließung neuer Baugebiete begonnen wurde (Wachau, Markkleeberg, Taucha, westliches Umland).

Jeweils über 50 % der Umwidmungsflächen in der Stadt und im engeren Umland wurden ehemals landwirtschaftlich genutzt (USBECK, 1996). Im Umland waren weiterhin 12 % vorher Reserveflächen für Industrie und Gewerbe und etwa 13 % für Landwirtschaftsbauten. Etwa ein Fünftel aller Umwidmungsflächen (Stadt und Umland) waren zumindest zeitweise völlig ungenutzt.

Freizeit- und Erholungsflächen

Ein Spezifikum der Leipziger Flächennutzungsstruktur ist nicht nur die hohe Dichte und Geschlossenheit der bebauten Fläche, sondern auch der breite Grünzug der Aue, der die Stadt in Nord-Süd-Richtung durchzieht und durch Wald- sowie Freizeit- und Erholungsflächen geprägt ist. Er stellt nicht nur ein wertvolles ökologisches Potential dar, sondern muß auch als weicher Standortfaktor für die Stadtentwicklung eingeordnet werden, der Ortsteile wie Connewitz, Leutzsch, Wahren, Schleußig, Zentrum-Nordwest oder Kleinzschocher erheblich aufwertet. Dies trifft ebenso, wenn auch nicht so ausgeprägt, für Teile der in nordöstlicher Richtung verlaufenden Partheaue zu.

Immerhin nehmen Freizeit- und Erholungsflächen etwa ein Fünftel der Stadtfläche und zusammen mit der Waldfläche fast 30 % ein. Die Kleingartenflächen, deren Anlage durch die Schreberbewegung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts in Leipzig initiiert wurde und die in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts ihren Höhepunkt hatten, nehmen mit über 1 300 ha eine herausragende Position ein. Bis auf Grünau (11,7 ha) und den Stadtbezirk Mitte (20,1 ha) haben die anderen Stadtbezirke mit jeweils über 100 ha daran relativ gleichmäßigen Anteil. Diese Flächen besitzen nicht nur eine ökologische Funktion, sondern sind ein wichtiger Faktor der Lebens- und Wohnqualität in der dicht bebauten Großstadt.

Der suburbane Raum um Leipzig wurde 1992 und wird mit fast 30 000 ha (ca. 68 %) noch immer dominant von Frei- und Erholungsflächen geprägt. Diese stellen in erster Linie landwirtschaftliche Produktionsflächen auf Grund der hohen Bodenqualität dar. Eigentliche Freizeit- und Erholungsflächen (inklusive Wald- und Gewässerflächen) umfassen dabei lediglich knapp 3 000 ha. Mit nur 8,6 % der Gesamtfläche des engeren Umlandes stellen sie für Ökologie und Erholung der Bevölkerung ein absolut schützenswertes Gut dar.

Insgesamt verdeutlicht Abbildung 2 sowie die Realnutzungskarte den beginnenden räumlichen Strukturwandel der Flächennutzung, der am massivsten im äußeren Stadtbereich und der Stadtrandzone verläuft. Historisch in Ansätzen entstandene Siedlungsbänder zu den benachbarten Vororten werden verdichtet, noch bestehende und vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Freiflächen zwischen der kompakten Stadt und den Stadtrandgemeinden zunehmend überbaut. Dies ist charakteristisch für alle Ausfallachsen in das Umland.

Die bebaute Fläche nahm 1992 im Landkreis etwa 6 500 ha (14,5 %) ein. Rechnet man die Flächen für Verkehr und technische Infrastruktur hinzu, wird ein Flächenanteil von ca. 17 % erreicht. Damit liegt der Überbauungsgrad im Umland deutlich unter dem westdeutscher Großstädte. Unter den bebauten Flächen nehmen Wohnbauflächen und Flächen mit gemischter Nutzung den mit Abstand größten Umfang ein (ca. 5 000 ha). Trotz des hohen Industrialisierungsgrades im Landkreis noch Ende der 80er Jahre nehmen sich demgegenüber Industrie- und Gewerbeflächen mit ca. 1 300 ha noch bescheiden aus, zumal sich die größeren Areale auf ausgewählte Standorte konzentrieren, die sich im wesentlichen bereits in der Zwischenkriegszeit herausgebildet hatten (Böhlitz-Ehrenberg, Engelsdorf, Schkeuditz, Wiederitzsch, Taucha, Liebertwolkwitz).

Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Bergbauflächen

Im ehemaligen Landkreis nahmen Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Bergbauflächen mit ca. 5 200 ha eine Größenordnung ein, die den der Wohnbau- und Mischflächen noch übersteigt. Mit den Bergbau- und Haldenflächen sind sie auf das südliche Umland konzentriert und bilden einen Teil des bergbaulich überprägten Südraumes von Leipzig.

Nutzungswandel 1992 - 1994

- Im ehemaligen Landkreis gingen Nutzungsänderungen grundsätzlich zu Lasten der Frei- und Erholungsflächen (Land- und Forstwirtschaft) und vor allem zugunsten von bebauter Fläche. Den absolut größten Zuwachs unter den bebauten Flächen verzeichneten Umwidmungsflächen, was darauf hinweist, daß dieser Prozeß der Nutzungsänderung in Richtung Siedlungsflächen sich erst in seiner Anfangsphase befindet und sich mit noch stärkerer Intensität fortsetzen wird.
- Die Siedlungsflächen nahmen von 1992 bis 1994 um 3,4 % zu und werden in den nächsten Jahren um weitere 13 % wachsen (derzeitige Umwidmungsflächen in erster Bebauungsphase).
- Auch in den nächsten Jahren wird das Siedlungswachstum in dieser Intensität anhalten, so daß um das Jahr 2000 mit einem Siedlungsflächenanteil von 22 % zu rechnen ist. Dies unterstreicht den massiven, zeitlich verkürzten Suburbanisierungsprozeß im Leipziger Umland. In den alten Bundesländern vollzog er sich allmählicher und über einen Zeitraum von 40 Jahren verteilt.

- Der Suburbanisierungsprozeß verläuft zu den westdeutschen Stadtregionen in umgekehrten Phasen. Im Leipziger Umland geht die Ausweisung von Gewerbeflächen der von neuen Wohnflächen voraus.
- Vom Nutzungswandel in der Stadt sind ca. 4 % der Stadtfläche betroffen. Vorwiegend Brach- und Umwidmungsflächen haben sich im Betrachtungszeitraum flächenmäßig ausgedehnt. Siedlungs-, Frei- und Abgrabungsflächen sind im Umfang etwas zurückgegangen. Dies zeigt, daß mit dem Beobachtungszeitraum lediglich die Anfangsphase des Nutzungswandels erfaßt wurde.
- Der räumliche Strukturwandel hat das gesamte Stadtgebiet flächenhaft erfaßt.
- Neue Nutzungen haben sich erst in bescheidenem Umfang vor allem in Gestalt erweiterter Wohnbau- und Gewerbeflächen etabliert.
- Der Rückgang von Gewerbeflächen konzentriert sich auf Flächen, die oft in Gemengelagen mit Wohnbebauung bestanden bzw. die durch die Wirkung des Bodenmarktes besonders in zentrumsnahen Bereichen sogenannten rentableren Nutzungen zugeführt wurden.

Literatur

USBECK, B. (1996): Flächennutzung und ihre Veränderungen in der Stadtregion Leipzig-Halle. - In: Breuste, J. (Hg.): „Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. (Angewandte Umweltforschung, Band 4). Analytica Verlagsges. Berlin 1996, S. 63 - 72.

DEGGAU, M., W. RADERMACHER & H. STRALLA (1989): Pilotstudie Statistisches Informationssystem zur Bodennutzung (STABIS). - In: Schriftenreihe „Forschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen u. Städtebau, Heft Nr. 471.

STADT LEIPZIG (Hg.) (1993): Ortsteilkatalog 1993. - Amt f. Statistik und Wahlen.

STADT LEIPZIG (Hg.) (1995): Ortsteilkatalog 1995. - Amt f. Statistik und Wahlen.

Ortsteil 51: Plagwitz

Bauverdichtung

Entkernung/Abriß

Grünentzug

510 Nummer des Statistischen Bezirkes im Ortsteil Plagwitz

Grenze des Statistischen Bezirkes

N

Maßstab ca. 1 : 15 000

Das Hintergrundluftbild dient als Orientierungsgrundlage. Es ist geometrisch nicht entzerrt.

Bearbeitung: B. Usbeck

Quelle: Luftbilder v. 25. 6. 1994, UFZ

Abb. 1: Aus dem Luftbild interpretierte Veränderungen im Ortsteil Plagwitz

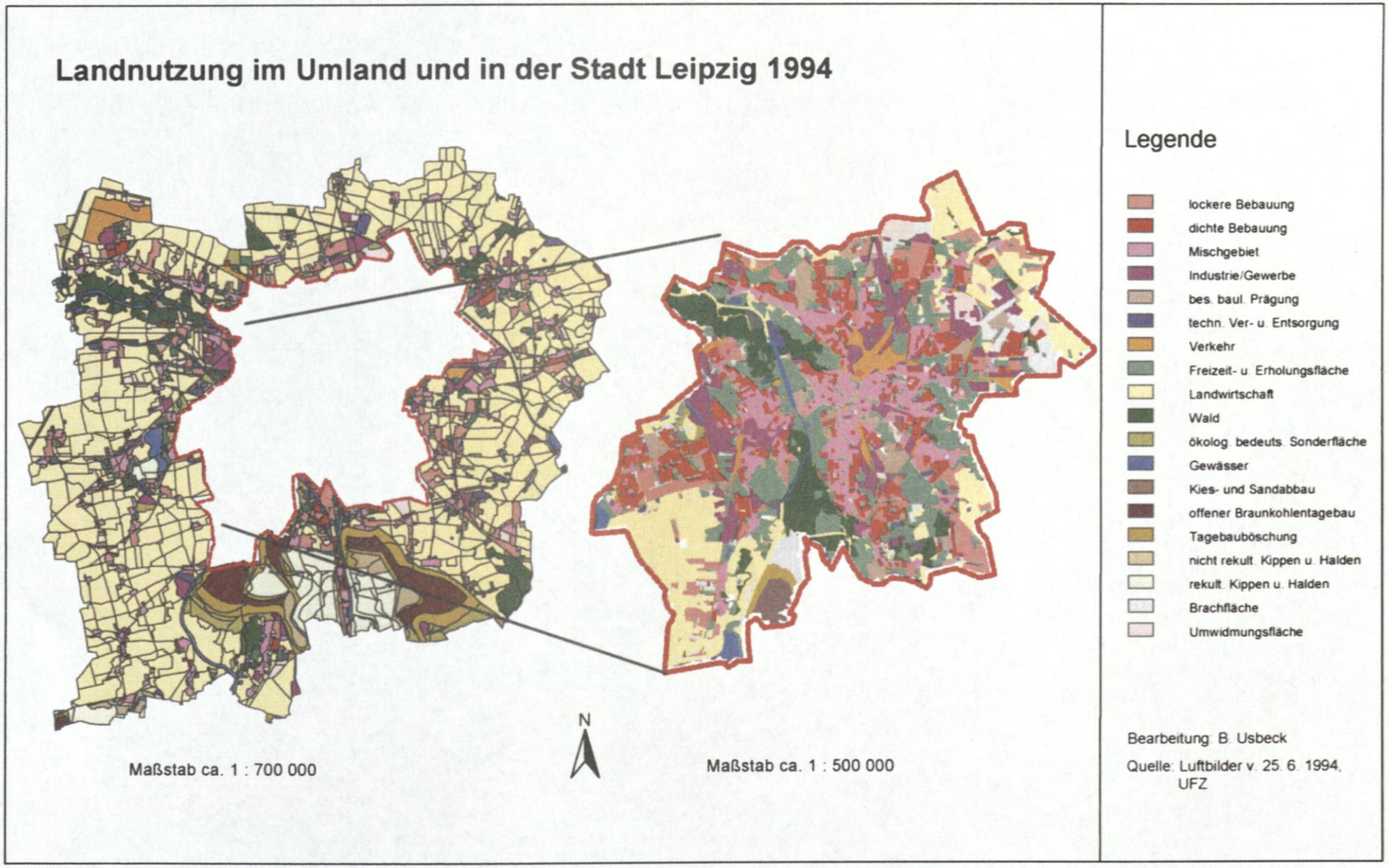


Abb. 2: Landnutzung im Umland und in der Stadt Leipzig 1994

5.3.2 Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen in klassifizierten Landsat-5-TM Bildern am Beispiel der Stadtregion Leipzig

Vera Heinz

Einleitung

Im Zuge der durch die Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland ausgelösten Urbanisierungsprozesse fanden und finden zahlreiche raumrelevante Umgestaltungen, markante Veränderungen der Infrastruktur, Neuansiedlungen von Industrie und Gewerbe, Gebäudeabrisse etc. statt.

Da viele Standorte innerhalb der Städte zum Beispiel wegen ungeklärter Besitzverhältnisse, hoher Kosten, fehlender Infrastruktur, Platzmangels und zahlreicher Altlasten für derartige Neuerungen nicht nutzbar waren, siedelten sich größere Industrie- und Gewerbebetriebe bisher vorwiegend auf der sogenannten 'grünen Wiese' an. Erst gegen Ende dieser Phase erfolgte langsam die Ansiedlung von Wohnbebauung außerhalb der Stadtgebiete. Der in den alten Bundesländern übliche Prozeß der Urbanisierung begann folglich in den neuen Bundesländern in umgekehrter Reihenfolge. Momentan wird die Phase der Ansiedlung von Industrie- und Gewerbegebieten zunehmend durch die Ansiedlung von Wohnbebauung abgelöst (HERFERT 1994, S. 10).

Ziele

Die fernerkundungsmethodisch erkennbaren, mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden räumlichen Veränderungen der Oberflächenbedeckung werden am Beispiel der Stadtregion Leipzig mit Hilfe einer hierarchischen Klassifikation zweier Landsat-TM-Szenen in mittleren Maßstäben untersucht. Im Vordergrund stehen die monotemporale Auswertung, der multitemporale Vergleich, die Bestimmung der Art und Lage der Veränderungen der Oberflächenbedeckung und die Analyse der Erkennbarkeit von Elementen im Satellitenbild, die direkt oder indirekt auf Urbanisierungsprozesse und ihre territorialen Veränderungen hinweisen. Im Gegensatz zu den von USBECK (vgl. Kap. 5.3.1) durchgeführten visuellen Luftbildinterpretationen der Landnutzung und der Suburbanisierung liegen hier die Schwerpunkte in der satellitenbildgestützten Untersuchung der mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderungen der Oberflächenbedeckung (vgl. Kap. 3.1.2).

Methode

Die den vorgestellten Analysen und Ergebnissen zugrunde liegenden Landsat-TM-Szenen von Leipzig vom Mai 1992 und Juli 1994 sind zunächst geometrisch entzerrt und aufeinander angeglichen worden. Die gewählte Form der hierarchischen Klassifikation entstammt verschiedenen Versuchen, ein Optimum an Information aus den Bildern für die Fragestellung

zu extrahieren. Hierbei konnten die besten Ergebnisse mit einer Verknüpfung von überwachten und unüberwachten Klassifikationen sowie Maskierungen der bebauten Bereiche erzielt werden (vgl. Kap. 3.1.2 - Abb. 3). Das Ergebnis dieses interaktiven und stufenweise ablaufenden Prozesses wird für beide Szenen für das Arbeitsgebiet der Stadtregion Leipzig (vgl. Abb. 5, kleine Abbildung) vorgestellt, das sich aus der Stadt Leipzig innerhalb ihrer administrativen

Stadtgrenze, dem Übergangsbereich der Stadt zum Umland (Stadtrandbereich) sowie dem abgebildeten Umland zusammensetzt. Letzteres ist im Gegensatz zu den Untersuchungen von USBECK nicht an administrativen Grenzen festgesetzt.

Die Bearbeitungen haben neun voneinander trennbare Klassen nicht bebauter Flächen (Wald-, Wasser-, Sonstige Grünflächen, Ackerland und Flächen ohne Vegetation) und bebauter Flächen (Großblockbebauung, Flächen hoher, mittlerer und geringer Verdichtung) ergeben.

Für die multitemporale Analyse wurden beide Klassifikationen im Rasterformat miteinander verschnitten, so daß die Bilder pixelweise auf Veränderungen hin überprüft und statistisch analysiert werden konnten.

Ergebnisse

Klassifikation der Landsat-TM-Szene Mai 1992 (monotemporal)

Das klassifizierte Landsat-TM-Bild von Mai 1992 (vgl. Abb. 1 a)) ermöglicht infolge der Thematisierung des Bildes in unterschiedliche Oberflächenbedeckungen eine Trennung der nicht bebauten von den bebauten Bereichen. Innerhalb der Bebauung sind Bereiche unterschiedlicher Verdichtung differenziert, die einen Gradienten der Versiegelungsdichte vom Stadtinneren zu den Randbereichen hin definieren lassen. Die Flächen hoher Verdichtung liegen im Innenstadtbereich. Sie werden von der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' umgeben, an die sich die Flächen geringer Verdichtung anschließen. Diese drei 'Stadtklassen' sind sogenannte 'land-cover'-Klassen. Sie bestehen im Rohbild infolge der Kleinstrukturierung innerhalb der Stadt überwiegend aus Mischpixeln und lassen sich entsprechend klassifizieren.

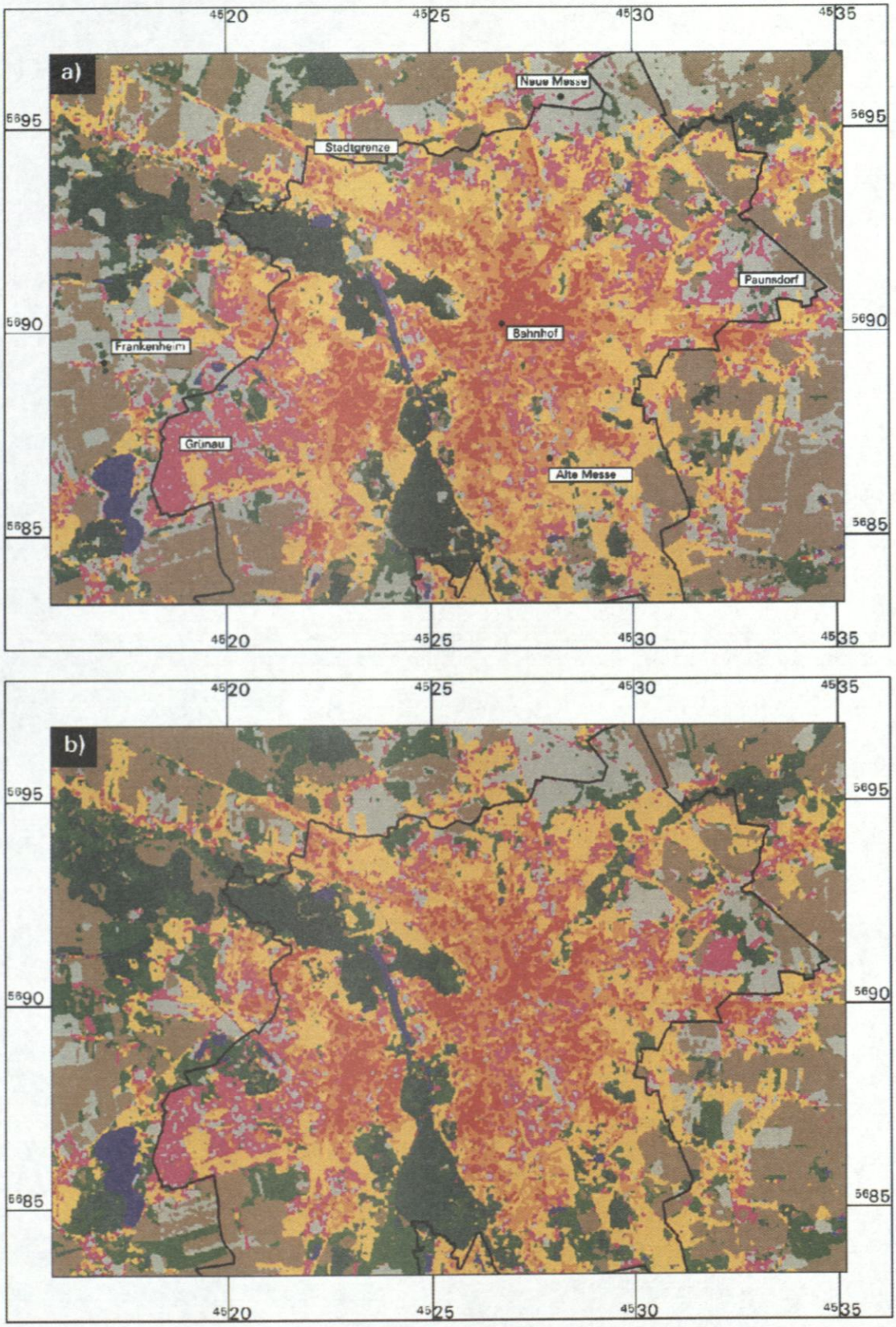
Im Gegensatz dazu bildet sich die Klasse 'Großblockbebauung' nur lückenhaft ab. Zumeist befinden sich innerhalb dieser Gebiete Bereiche mit Flächen ohne Vegetation. Ein Beispiel hierfür ist Grünau im Westen der Stadt. Daneben wurden auch einige Gebiete als solche klassifiziert, die nicht eindeutig dieser Klasse zuzuordnen sind (z.B. Bereich der Alten Messe). Dies läßt sich auf Oberflächen gleicher spektraler Charakteristik zurückführen. Die Ungenauigkeit der Klassenzuweisung kommt durch die grobe Strukturierung im Rohbild mit vielen homogenen Pixeln neben wenigen Mischpixeln zustande (vgl. Kap. 3.1.2).

Durch die Überlagerung der Klassifikation mit der administrativen Stadtgrenze wird visuell die Konzentration der bebauten Fläche innerhalb dieses Bereiches sichtbar. Die räumliche Verteilung der Klassen der Flächennutzung belegt das gegensätzliche Verhältnis zwischen der Stadt mit ca. zwei Dritteln und dem Umland mit ca. einem Drittel bebauter Fläche (vgl. Abb. 2). Aussagen zur Realnutzung, z.B. der Anteil der Wohnflächen, sind nur über die Hinzunahme von Referenzdaten möglich (vgl. Kap. 5.3.1).

Die Erkennbarkeit von kleinen Dörfern ist insgesamt sehr gut. Auch die Straßendörfer mit ihrer typisch parallelen Anordnung der Häuser beiderseits einer geradlinig verlaufenden Straße zeichnen sich in der Klassifikation deutlich ab (z.B. Frankenheim). Während die bebaute Fläche vom 30 mal 30 Meter Raster erfaßt wird, läßt sich die Straße - wie die anderen kleineren Straßen auch - aufgrund der geringen geometrischen Auflösung und der damit induzierten Häufigkeit von Mischpixeln nicht erkennen. Sie ist aber anhand der Feldgrenzen im Westen und Osten in ihrem Verlauf zu erahnen. Bei den größeren Straßen - wie den Ausfallstraßen - stellt die an ihnen befindliche, linear angeordnete Bebauung ein Identifikationsobjekt dar. Die Autobahn (A 14) hingegen bildet sich aufgrund ihrer Breite relativ gut ab, obwohl sie teilweise durch angrenzende Bereiche - wie Ackerland - in der Klassifikation überdeckt wird.

Abb. 1: Flächennutzungsklassifikation Leipzig (Landsat-TM)

Ausschnitte Mai 1992 (a) und Juli 1994 (b)



Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: Dipl.-Geogr. V. Heinz

gefördert durch: Deutsche Agentur
für Raumfahrtangelegenheiten GmbH

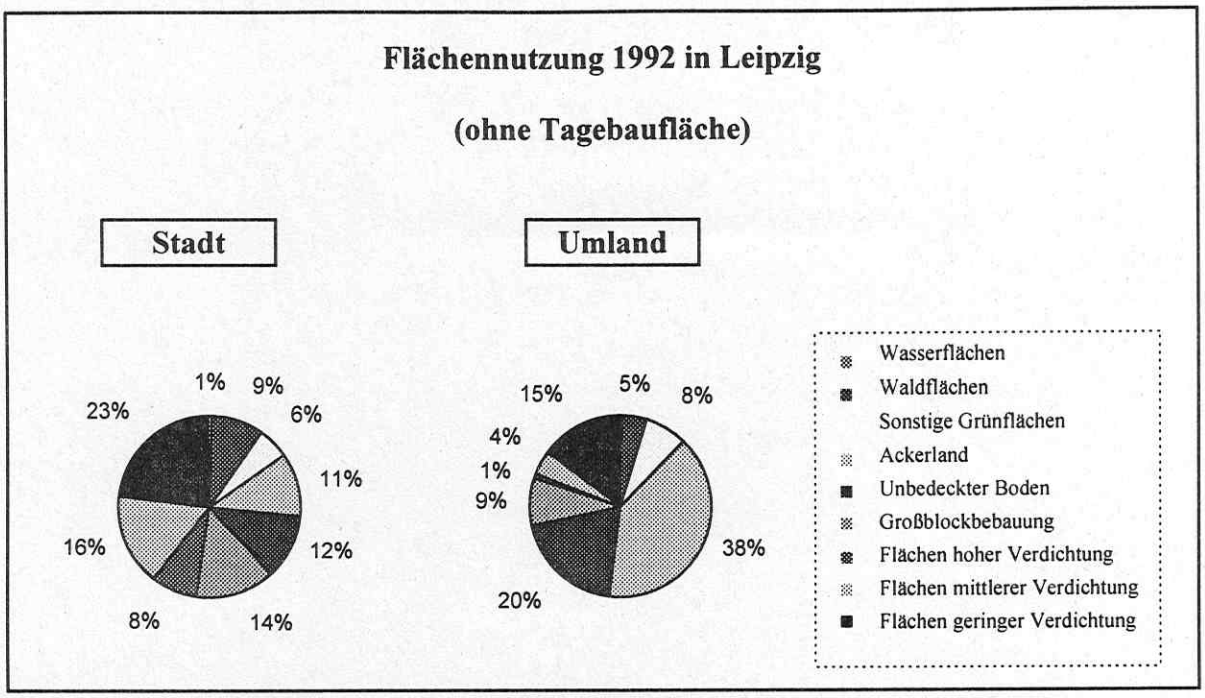


Abb. 2: Flächennutzung in Leipzig 1992 (eigene Berechnung)

Sie erscheint zumeist mit der Signatur für Großblockbebauung. Nur aufgrund des linienhaften Abbildungsverhaltens und der Ortsvorkenntnis kann auf eine Autobahn geschlossen werden.

Während sich die Wald- und Wasserflächen relativ gut abbilden, sind die Klassen 'Sonstige Grünflächen', 'Ackerland' und 'Flächen ohne Vegetation' mit Unsicherheiten infolge des Aufnahmedatums Mai und der damit verbundenen Phänologie behaftet. Für den zu untersuchenden raumrelevanten Urbanisierungsprozeß ist aber nur die Flächenidentifikation nach 'unbebaut' relevant. Insbesondere die klassifizierten Bereiche ohne Vegetation weisen bei Überprüfung einen Überlappungsbereich mit anderen Klassen auf. Infolge des gehäuften Auftretens der Vermischung dieser Klasse mit der der Großblockbebauung kann die relative Aussage abgeleitet werden, je weniger Pixel mit der Identität 'Fläche ohne Vegetation' neben Pixeln mit 'Großblockbebauung' vorhanden sind, desto wahrscheinlicher ist die Fläche der Klasse 'Großblockbebauung' zuzuordnen. Andererseits können viele Pixel mit 'Flächen ohne Vegetation' neben wenigen mit der Information für 'Großblockbebauung' einen Hinweis auf ein momentanes Bebauungsgebiet geben, was einer Verifizierung mittels Referenzmaterialien bedarf.

Klassifikation der Landsat-TM-Szene Juli 1994 (monotemporal)

Das Klassifikationsergebnis des Landsat-TM-Bildes vom Juli 1994 (vgl. Abb. 1 b) erscheint homogener und zeigt ein relativ gleiches Verhältnis zwischen bebauter und unbebauter Fläche in der Stadt und im Umland wie das Klassifikationsergebnis von 1992 (vgl. Abb. 2, Abb. 3).

Der Klassifikationsprozeß hat eine größere Streuung der Flächen hoher Verdichtung für 1994 als für 1992 ergeben. Auch sie werden - wie in der Klassifikation 1992 - von den Flächen mittlerer Verdichtung umgeben, die sich sternförmig ausprägen und an die sie umgebenden Flächen geringer Verdichtung angrenzen. Letztere erstrecken sich radial in die Außengebiete und lassen die klare Abgrenzung zwischen bebauten und unbebauten Gebieten zu. Die Identifikationsmöglichkeit der 'Stadtklassen' kann bei Sommeraufnahmen mit unterschiedlichen

phänologischen Stadien (hier Mai und Juli) demnach als annähernd gleich gut angesehen werden.

Kleinere Strukturelemente sind auch in dieser Klassifikation nur schwer erkennbar. Infolge des Einflusses der Vegetation und der Lageabweichungen der Pixel zwischen beiden Aufnahmen sind zum Beispiel die Flußläufe, Ausfallstraßen und die Autobahn unterschiedlich deutlich zu erkennen. Das Straßennetz innerhalb der Stadt kann wegen der geringen Auflösung des Landsat-TM nicht erkannt werden. Nur durch die sternförmige Ausbreitung der Klassen der mittleren und geringen Verdichtung läßt sich eine Struktur erahnen und eine gewisse innerstädtische Zuordnung tätigen.

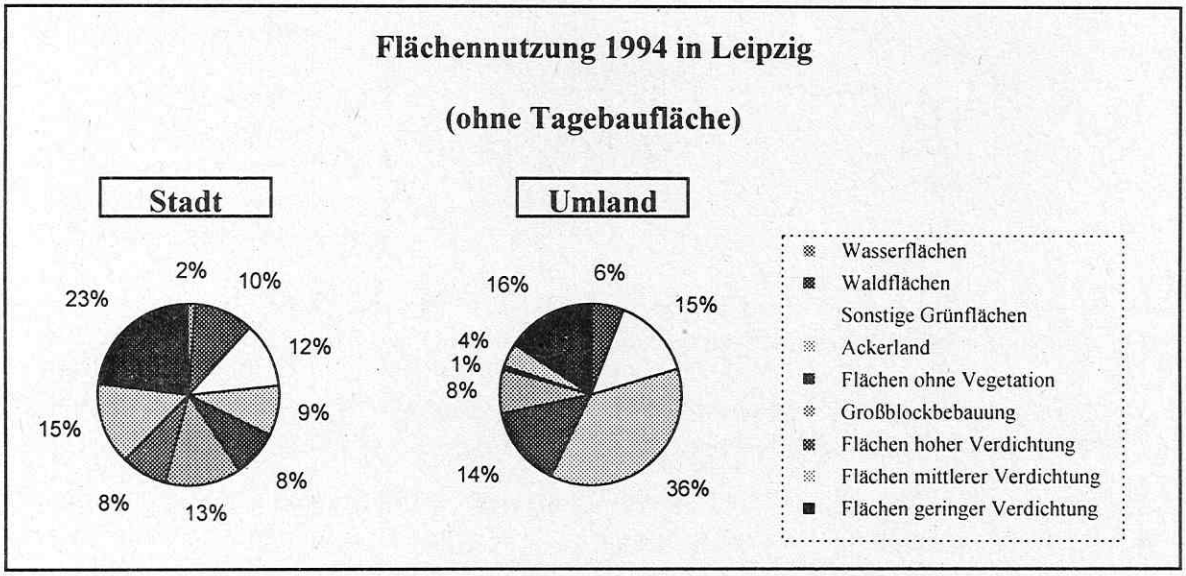


Abb. 3: Flächennutzung in Leipzig 1994 (eigene Berechnung)

Problematisch stellen sich auch hier die Klassen 'Großblockbebauung' und 'Flächen ohne Vegetation' dar. Letztere greifen wieder in die Flächen mit Großblockbebauung hinein, wobei der Zusammenhang zwischen beiden mit ableitbarem Schluß auf Bebauungsgebiete in dieser Abbildung sehr unsicher wird (vgl. Kap. 3.1.2).

Verschneidungsprodukt der Klassifikationen Mai 1992 und Juli 1994 (multitemporal)

Mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung können beide Klassifikationen pixelweise auf Veränderungen der Oberflächenbedeckung und damit der Flächennutzung hin verglichen werden, die in diesem Zusammenhang als Veränderungen in den jeweils zugeordneten Klassen zu verstehen sind. Das Ergebnis ist eine Kartenserie der Veränderungen in den neun Klassen. Neben der Darstellung der Veränderung 1992 zu 1994 ist auch die Darstellung 1994 zu 1992 interessant. Während die eine Darstellungsform zeigt, wie sich die Flächen von 1992 bis 1994 verändert haben, zeigt die umgekehrte Darstellung, was 1992 beim Ist-Zustand 1994 war. Insbesondere die Veränderungen der nicht bebauten zu den bebauten Flächen und der bebauten zu den nicht bebauten Flächen lassen auf Veränderungen der Oberflächenbedeckung im Zuge von Urbanisierungsprozessen schließen.

Aus der Kartenserie sei das thematische Paar der Klasse 'Flächen hoher Verdichtung' herausgegriffen (vgl. Abb. 4). Diese verzeichnen eine große Streuung mit einer Konzentration im innerstädtischen Bereich. Auffällig ist der Leipziger Hauptbahnhof mit seinem großen Gleiskörper, der auf beiden Abbildungen die größte zusammenhängende Fläche darstellt. Seine

thematische Zuordnung ist aufgrund der spektralen Eigenschaften des Gleiskörpers (Schotter) nicht richtig. Werden die Verkehrsflächen aus der Betrachtung herausgenommen, so verbleibt das Stadtzentrum. Die Karte für 1994 zeigt neben den Bereichen der Flächen hoher Verdichtung zahlreiche Pixel (rotorange eingefärbt), die auf eine Veränderung von Flächen mittlerer Verdichtung 1992 zu Flächen hoher Verdichtung 1994 hinweisen (Verdichtungszunahme). Sie befinden sich zumeist in den Randbereichen der Flächen hoher Verdichtung. Die Karte für 1992 veranschaulicht das entgegengesetzte Bild der Entdichtung. Flächenmäßig nehmen diese Bereiche einen größeren Anteil als die der Verdichtung ein. Die Untersuchungen verschiedener Stichprobenflächen haben diese Tendenz der Auswirkung von Urbanisierungsprozessen bestätigt. Weitere Lokalisationen im Einzelpixelbereich fallen aufgrund der möglichen Lageverschiebung von Pixeln (bis zu zehn Metern) und oftmals flächenmäßig sehr kleinen Veränderungen innerhalb der Stadt schwer.

In der Abbildung 5 sind alle Klassen der Bebauung in einer Klasse zusammengefaßt, um die Lage der Veränderungen zwischen bebautem und unbebautem Zustand und somit der räumlichen Ausdehnung dieser Urbanisierungsprozesse zu verdeutlichen. Während beide Möglichkeiten der Bebauungszunahme und -abnahme in geringer Anzahl auf kleinen Flächen innerhalb der Stadtfläche vorkommen, haben sie in den Randbereichen - vor allem im Norden und Westen der Stadt - eine größere Ausprägung (vgl. USBECK, Kap. 5.3.1). Zu begründen ist dies vorrangig mit dem Platzmangel innerhalb der Stadtgrenze und dem größeren Flächenangebot außerhalb des Verdichtungsgebietes der Stadt. Während im Westen visuell eine Ausweitung der Stadt in Richtung Halle entlang der sogenannten Entwicklungsachse ersichtlich wird, läßt sich die Konzentration im Norden mit der guten Infrastruktur erklären. Im Süden von Leipzig werden derartige Aktivitäten durch die Tagebaugebiete begrenzt, während im Osten der Stadt vermehrt Wohnbebauung entstehen soll, deren Entwicklung 1994 in ihren ersten Anfängen stand. Deutlich wird das bereits angesprochene Problem der Bebauungsgebiete. Das Beispiel 'Neubaugebiet Neue Messe' im Norden der Stadt zeigt fälschlicherweise Bereiche mit Bebauungsabnahme.

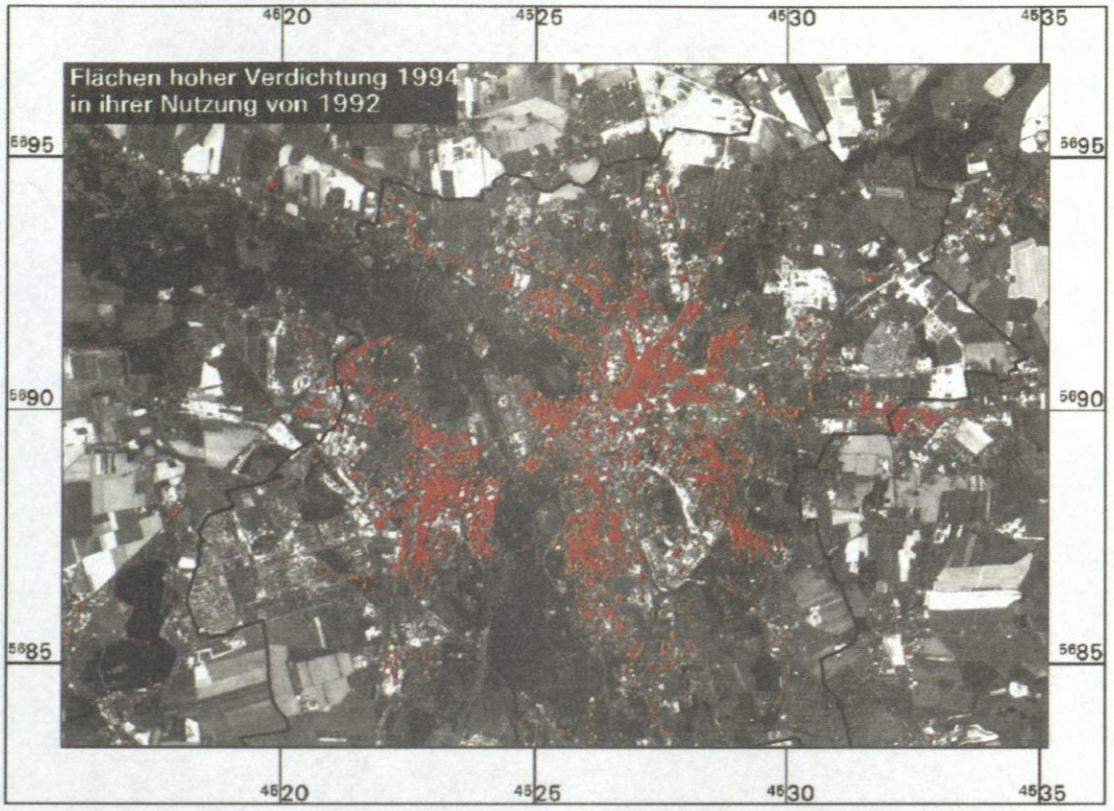
Tab. 1: Veränderung der bebauten Fläche von 1992 bis 1994 in der Stadtregion Leipzig

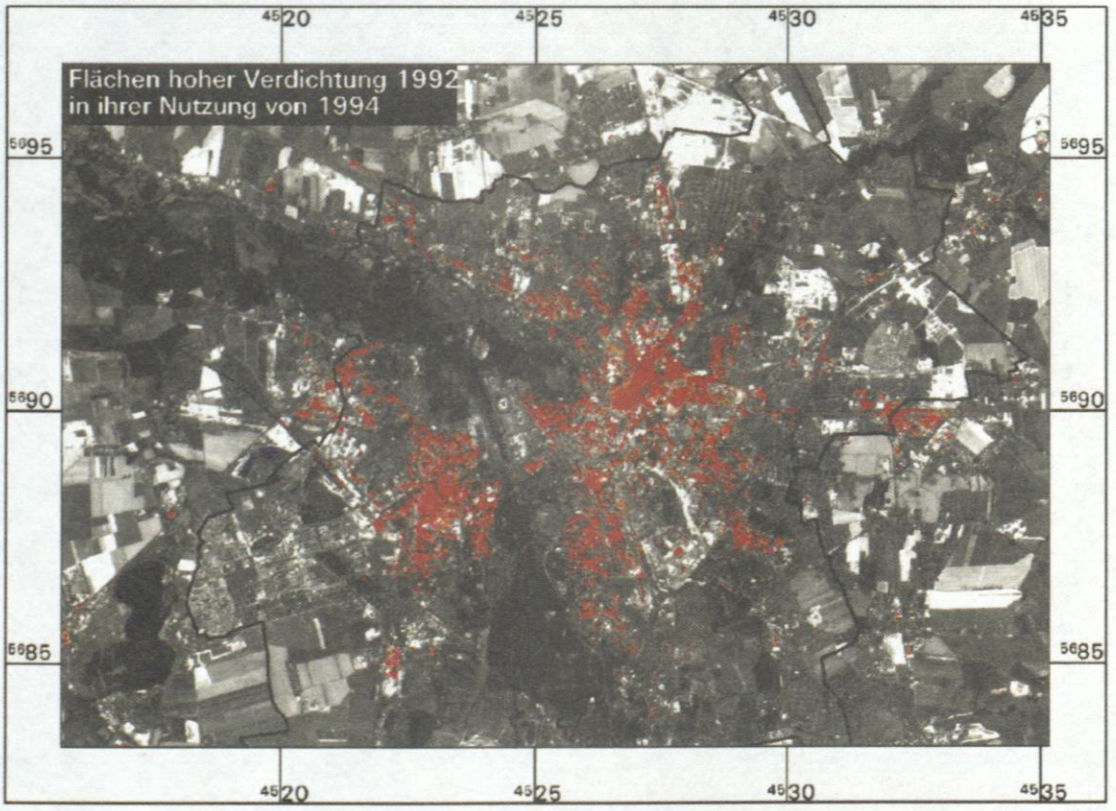
	Leipzig Stadt [ha]		Leipzig Umland [ha]	
	1992	1994	1992	1994
Fläche geringer Verdichtung	3352,09	3385,85	1807,85	1948,05
Fläche mittlerer Verdichtung	2389,99	2136,68	522,73	477,33
Fläche hoher Verdichtung	1174,00	1180,52	111,95	110,30
Großblockbebauung	2024,62	1907,29	1048,20	967,92
bebaute Fläche gesamt	8940,70	8610,34	3490,73	3503,60
unbebaute Fläche gesamt	5557,98	5888,34	8711,62	8698,75

Optisch läßt sich eine höhere Abnahme als Zunahme der Bebauung innerhalb der Stadtgrenze ableiten. Im Umland scheint die entgegengesetzte Tendenz vorhanden zu sein. Die Tabelle 1, die die Veränderungen innerhalb des Arbeitsgebietes (vgl. Abb. 5 - kleine Abbildung) veranschaulicht, bestätigt dies. Ebenso haben die Untersuchungen von USBECK (vgl. Kap. 5.3.1) eine Ausdehnung der Brach- und Umwidmungsflächen sowie den Rückgang der Siedlungs-, Frei- und Abgrabungsflächen in der Stadt ergeben. Vom Nutzungswandel in der Stadt sind bei USBECK nur ca. 4 % der Stadtfläche betroffen.

Abb. 4: Veränderungen der 'Flächen hoher Verdichtung'

Multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994
Ausschnitt Leipzig dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994





Wasserflächen
Waldflächen
Sonstige Grünflächen
Ackerland
Großblockbebauung
Flächen ohne Vegetation
Flächen hoher Verdichtung
Flächen mittlerer Verdichtung
Flächen geringer Verdichtung

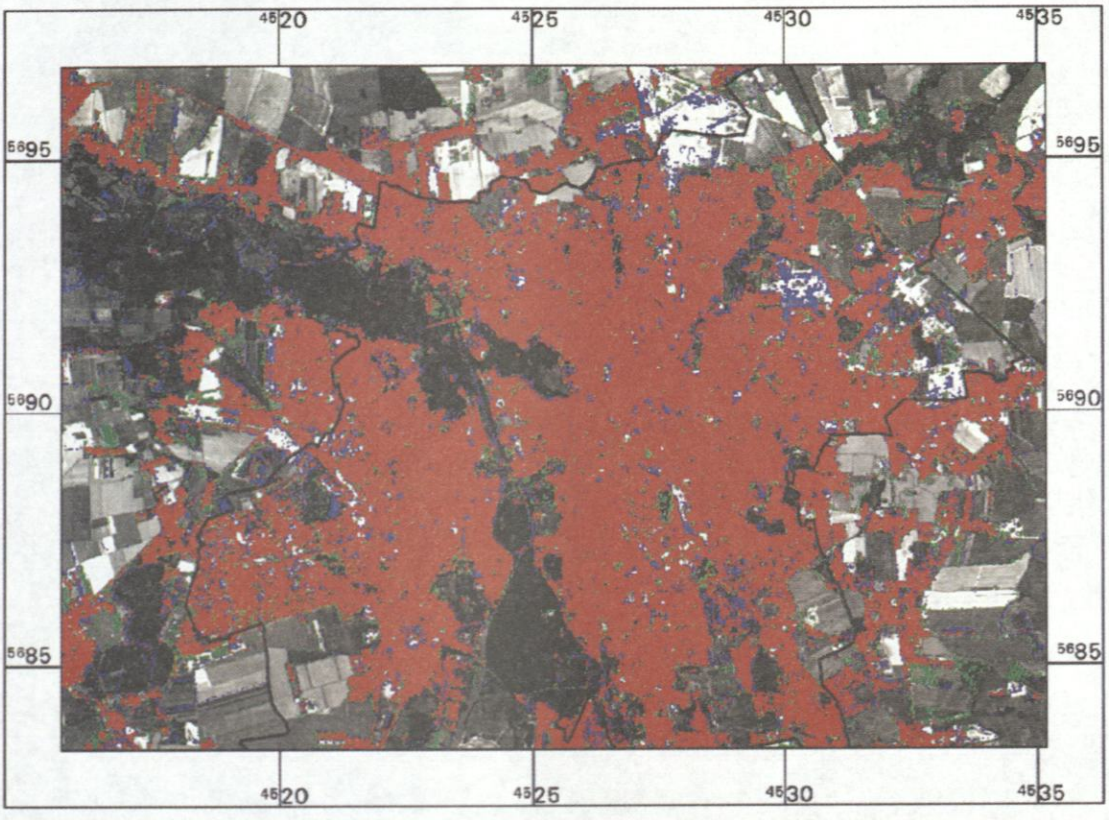
1 : 150 000
0 5 Kilometer

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: Dipl.-Geogr. V. Heinz

gefördert durch: Deutsche Agentur
für Raumfahrtangelegenheiten GmbH

Abb. 5: Bebaute Flächen in der Stadtregion Leipzig

Multitemporale Verschneidung der Klassifikationen 1992 und 1994
Ausschnitt Leipzig dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994



1992 und 1994 bebaut
1992 unbebaut; 1994 bebaut
1992 bebaut; 1994 unbebaut

Arbeitsgebiet
Stadtregion Leipzig
Maßstab 1 : 740 000

1 : 150 000
0 5 Kilometer

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: Dipl.-Geogr. V. Heinz

gefördert durch: Deutsche Agentur
für Raumfahrtangelegenheiten GmbH

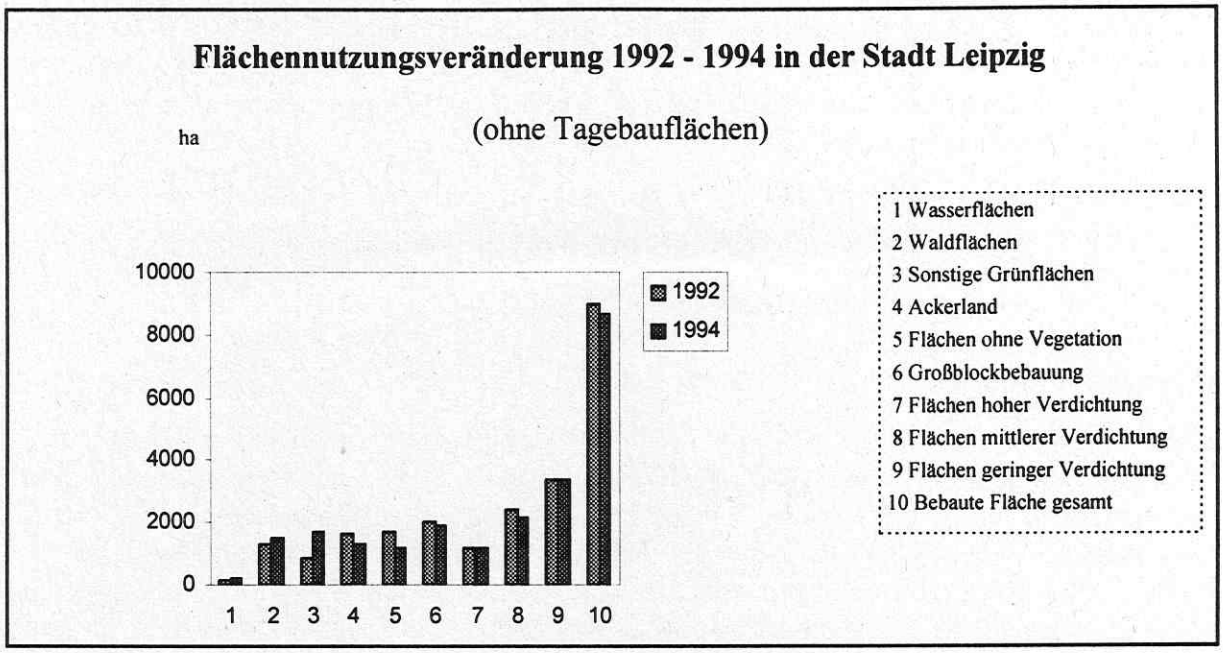


Abb. 6: Flächennutzungsveränderung 1992 - 1994 in der Stadt Leipzig (eigene Berechnung)

Die in der Abbildung 6 veranschaulichte Flächennutzungsveränderung für alle Klassen der Klassifikation innerhalb des Arbeitsgebietes verdeutlicht diese Tendenz ebenfalls. Die Abnahme der bebauten Fläche ist offensichtlich hauptsächlich den Veränderungen in der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' zuzuordnen, deren Abnahme als ein Hinweis auf die zahlreichen Abrisse innerhalb der Stadt verstanden werden kann. Die flächenmäßig größten Veränderungen verzeichnen die Klassen ohne Bebauung. Da die Veränderungen in jeweils entgegengesetzter Richtung sehr viel größer sind als die der bebauten Fläche, läßt sich der Einfluß der Phänologie ableiten. Je nach Aufnahmezeitpunkt und somit in Abhängigkeit vom Zustand der Vegetation werden gleiche Bereiche unterschiedlich klassifiziert.

Probleme

Probleme bei Klassifikationen dind oftmals methodisch bedingt und sind hierauf das der (Maximum-Likelihood-) Klassifikation zugrundeliegende Zuordnungsprinzip der größten Wahrscheinlichkeit zurückzuführen. Weitere Fehler kommen durch spektrale Ähnlichkeiten von Objekten zustande, wodurch sich einzelne Gebiete in bebauten Bereichen nur schwer trennen lassen. Problematisch gestalten sich ebenfalls die in kleinräumig strukturierten Gebieten zahlreich vorhandenen Mischpixel/ -signaturen. Sie erschweren eine genaue thematische Zuordnung, lassen hingegen aber Aussagen zum Verdichtungs- bzw. Durchgrünungsgrad zu. Einzelne Flächennutzungen - speziell die der Innenstädte - zeichnen sich durch eine hohe spektrale Inhomogenität aus, die bei höherer Auflösung sogar zunimmt (vgl. ACHEN 1993, S. 54).

Bei der multitemporalen Bearbeitung kommen zusätzlich Fehler in der geometrischen Lagebeziehung hinzu. Sie sind auf unvermeidbare Fehler bei der Georeferenzierung und unterschiedliche Bahnparameter des Satelliten zurückzuführen. Hinzu treten spektrale Unterschiede zwischen verschiedenen Aufnahmezeitpunkten, die durch Veränderungen des Sensors (Kalibrierung) und durch Veränderung der spektralen Oberflächeneigenschaften zustande kommen. Auch die atmosphärischen Bedingungen zwischen zwei Aufnahmezeitpunkten differieren.

Die jeweilige Phänologie zu den Aufnahmezeitpunkten kann zu gravierenden Unterschieden zwischen zwei Bildern führen (vgl. Abb. 1). Hierdurch können sich die Randbereiche zwischen verschiedenen Gebieten verschieben, da der Durchgrünungsanteil in Abhängigkeit von der Jahreszeit erheblich schwankt.

Insgesamt stellen Klassifikationen somit nur relative Ergebnisse dar. Die aufgeführten Problembereiche müssen bei der fernerkundungsmethodischen Untersuchung der mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Flächennutzungsveränderung beachtet werden.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Klassifikation eines Landsat-TM-Bildes das Erkennen der Lage der Stadt, ihrer räumlichen Ausprägung und unterschiedlichen Verdichtung erkennen läßt. Sie stellt eine Vorabinformation zur ersten Orientierung dar, die in der Wirklichkeit überprüft werden muß. Die Klassifikation erlaubt eine gute flächenhafte Darstellung der Verteilung der 'Stadtklassen'. Kleinere Elemente einer Stadt - wie das Straßennetz oder unterschiedliche Bebauungsarten - sind nicht erkennbar. Ebenso lassen sich Industrie- und Gewerbegebiete oder Verkehrsflächen nicht eindeutig identifizieren. Die Detailerkennbarkeit der Flächennutzung ist im Luftbild größer (vgl. USBECK, Kap. 5.3.1).

Es kann festgehalten werden, daß die Grundtendenz bzw. der Trend der Flächennutzungsänderungen, die auf Urbanisierungsprozesse deuten, im klassifizierten Satellitenbild bei multitemporalem Vergleich erkennbar ist. Eine Übertragung auf Einzelpixel und absolute Aussagen sind jedoch nicht möglich.

Literatur

ACHEN, M. (1993): Untersuchungen über Nutzungsmöglichkeiten von Satellitenbilddaten für eine ökologisch orientierte Stadtplanung am Beispiel Heidelberg. - Heidelberger geographische Arbeiten, H. 91. Heidelberg.

HERFERT, G. (1994): Suburbanisierung der Bevölkerung in Großstadtregionen Sachsens. Erste Trends nach dem politischen Wandel (mit Kartenbeilage). - Europa Regional 2, H. 3, S. 10 - 19.

5.4 Der Südraum von Leipzig

5.4.1 Erfassung der Landnutzung im Südraum von Leipzig anhand einer Landsat-5-TM Aufnahme

Ellen Banzhaf

Untersuchungsraum

Der Südraum von Leipzig ist in seiner Nutzungsstruktur von zwei Wirtschaftszweigen dominiert: zum einen ist er traditionell von der Landwirtschaft geprägt, zum anderen nahm seit der Jahrhundertwende der Braunkohlentagebau und die damit verbundene Veredelungsindustrie immer mehr Fläche in Anspruch.

Die Landwirtschaft war bis weit in das vergangene Jahrhundert die dominierende Landnutzung. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts begann der Braunkohlenbergbau im Tagebaubetrieb und führte in diesem Jahrhundert durch den Übergang zum Großtagebau zur Beanspruchung riesiger Flächen. Insgesamt wurden in diesem Braunkohlenrevier während der 70er und 80er Jahre durchschnittlich 60 Mio t jährlich gefördert. Die mit der Braunkohlengewinnung einhergehenden charakteristischen Entwicklungsabschnitte sind Grundwasserabsenkung, Aufschluß, Tagebaubetrieb, Einstellung der Förderung sowie Entwicklung der Bergbaufolgelandschaft, die häufig synchron ablaufen (BERKNER, 1989). Als Folge dieser Nutzung bestehen heute noch große vegetationsarme bis -freie Flächen in Form von aktiven Tagebauen, Restlöchern, Kippen und Halden. Bisher sind von den Förderflächen ca. 66 % einer geordneten Nachnutzung zugeführt worden (EICHLER & HERZOG, 1997).

In den 50er Jahren setzte in der Landwirtschaft die Kollektivierung und somit die genossenschaftliche Nutzung des Bodens zur Pflanzen- und Tierproduktion ein. Um die Bewirtschaftung auf großen Ackerschlägen durchführen zu können, wurden landschaftsgliedernde Elemente wie Wege, Hecken und Raine beseitigt. Die vom Bergbau zur landwirtschaftlichen Rekultivierung zurückgegebenen Flächen wurden deshalb ebenfalls als weite, ebene, baumlose Flächen gestaltet.

Seit der Wiedervereinigung wurden die meisten Tagebaue stillgelegt. Bei der Sanierung der Bergbaulandschaft werden Land- und Forstwirtschaft als Folgenutzungen auch weiterhin eine große Rolle spielen. Durch die Flutung der zahlreichen Restlöcher wird eine Seenlandschaft entstehen, die auch ein nennenswertes Potential für die Naherholung bieten soll.

Für diesen südlich an Leipzig grenzenden Raum wurde eine satellitenbildgestützte Landnutzungsklassifikation durchgeführt, um eine aktuelle Flächenbilanz zu erhalten und um den flächendeckenden Datensatz als Baustein für Simulationsmodelle in dieser Region zur Verfügung zu stellen. Auch für Regional- und Landschaftsplanung sind diese Landnutzungsdaten im mittleren Maßstab von Bedeutung.

Quantitative Erfassung der Landnutzung

Datengrundlagen

Das zugrunde liegende Satellitenbild ist ein Ausschnitt aus der geocodierten, entzerrten Landsat-5-TM Vollszene 193/024 vom 21.07.1994. Als terrestrisch erhobene Referenzdaten, sogenannten „ground truth" Informationen, standen die Schlagkarteien einiger landwirtschaftlichen Betriebe für den Aufnahmezeitpunkt zur Verfügung[1]. Für die Detailuntersuchung der Tagebaue wurden CIR - Luftbilder im Maßstab 1:10 000 aus einer Befliegung vom 25.06.1994 genutzt.

Multispektrale Klassifikation

In einem ersten Schritt wurde eine multispektrale Klassifikation durchgeführt. Sie basiert auf der Annahme, daß zu betrachtende Grauwerte einer bestimmten Objektklasse einer Gauß´schen Normalverteilung unterliegen und sich somit jede Klasse von einer anderen unterscheiden ließe. Mit dem Standard-Algorithmus des „Maximum Likelihood" und vorgeschaltetem „First Pass Parallelepiped" wurde eine Gesamtgenauigkeit von ca. 90 % erzielt, was auf die präzisen Informationen über Testgebiete, bzw. "ground truth" Daten zurückzuführen ist. Diese prozentuale Angabe läßt allerdings nur eine Aussage darüber zu, wie genau die zuvor definierten Nutzungsklassen der ausgewählten Stichprobe (= Testgebiete) zugeordnet werden. Die Klassifikation des gesamten Gebietes zeigte qualitative Schwächen und erreichte nicht diese extrem hohe Güte. Deshalb wurde mittels Texturanalyse und Vegetationsindizes versucht, das Gesamtergebnis zu verbessern.

Texturanalyse und Vegetationsindizes als Schritte zur qualitativen Optimierung der Landnutzungsklassifikation

Die Texturanalyse bietet die Möglichkeit, texturell verschiedene Objekte zu trennen. Das Verfahren der Texturanalyse basiert auf Co-Occurrence Matrizen, das Texturmerkmale unterstützt. Sie sind eine besondere Art von Histogrammen, die nicht wie bei der multispektralen Klassifikation nur ein Merkmal, nämlich die relative Häufigkeit der Grauwerte von Pixels erfaßt. Vielmehr wird hier die relative Häufigkeit berechnet, mit der Pixels verschiedener Grauwerte nebeneinanderliegen, d.h. in einer bestimmten Umgebung werden die „co-occurrences" der Grauwerte beschrieben. Mit diesen Matrizen können verschiedene Texturmerkmale gleichzeitig verwendet werden. Zur Untersuchung werden empirisch die Parameter (Eingangskanäle, Suchrichtungen, Umgebungsgrößen, Grauwertstufen und Feature Spaces) ausgewählt und miteinander kombiniert, die für die zu separierenden Klassen optimale Trennbarkeiten liefern können (CARLSON & EBEL, 1995; LOHMANN, 1994).

Bei der vorausgehenden multispektralen Klassifikation zeichneten sich zwei Fälle ab, bei denen es sich anbot, zur Verbesserung des Ergebnisses die Texturanalyse einzusetzen. Im ersten Problemfall war es schwierig, die Landnutzungsarten *Bebauung / versiegelte Flächen* und *Kraut- und Strauchvegetation* voneinander zu trennen. Der Grund dafür ist die spektrale Ähnlichkeit von bebauten Flächen mit Baumbestand und Gärten einerseits sowie offenen, ausge-

---

[1]Die Interpretation der spektralen Variationen agrarischer Testflächen (Phänologie, Erntezeitpunkt, räumliche Besonderheiten - vgl. Kap. 5.2.2) erfolgte in Zusammenarbeit mit Dipl. -Agr. Ing. K. Heinrich, Geographisches Institut der Universität Leipzig.

trockneten Böden mit wenig Vegetation andererseits. Gerade besiedelte Flächen weisen stark gestreute Grauwert-Muster auf und gelten als schwer erfaßbare Klasse. Im zweiten Fall ließen sich die *Wasser*flächen nicht eindeutig von *Wald*flächen abgrenzen, die wenig tiefgründig sind und im Hochsommer starken Algenwuchs besitzen. Dieses Phänomen führt zwar spektral zu Überlappungsbereichen, nicht aber textural. So konnten in beiden Fällen die jeweiligen Objektklassen mit Hilfe des co-occurrence Ansatzes getrennt und somit eindeutig zugewiesen werden.

Auch bestimmte Kulturarten ließen sich in der multispektralen Klassifikation nicht eindeutig unterscheiden. Mit Hilfe von Vegetationsindizes wurde die Möglichkeit der Separierung dieser Nutzungsarten deutlich verbessert. Am Beispiel der *Luzerne* war davon auszugehen, daß sie entweder als *Grünland* oder als *Wintergetreide* klassifiziert wurde. Zur Ermittlung der Trennbarkeit wurden drei verschiedene Indizes (Tasseled Cap, Perpendicular Vegetation Index und NDVI = Normalized Difference Vegetation Index) ausgewählt, von denen der NDVI eine optimale Trennbarkeit der Nutzungsarten ermöglichte, so daß im gesamten Klassifikationsergebnis eine genauere Differenzierung dieser Kulturarten erreicht wurde.

Zur Optimierung der Gesamtklassifikation wurden die nun getrennten Klassen aus der Texturanalyse und aus dem NDVI mit dem Ergebnis der multispektralen Klassifikation überlagert. Entscheidend ist nun die Ausweisung dieser unterschiedlichen Nutzungsarten und die qualitative Güte des klassifizierten Satellitenbildes (BANZHAF & LILIENTHAL, 1996).

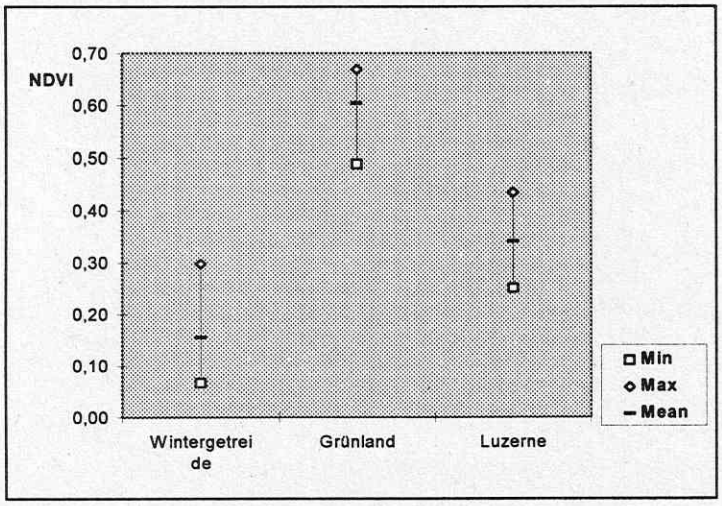


Abb. 1: Darstellung der Trennbarkeit für NDVI

Ergebnis und Diskussion

Der Schwerpunkt der Zielstellung für die zu trennenden Nutzungsarten lag bei landwirtschaftlichen Nutzungen und bei der Differenzierung der Tagebaue. Deshalb wurde die Klasse *Bebauung / versiegelte Fläche* nicht weiter differenziert, so daß innerstädtische Unterscheidungen entfielen. Das Stadtgebiet von Leipzig wurde aus diesem Grund nicht in die weiteren Untersuchungen einbezogen und geht nicht in die Flächenbilanz ein (Grenzlinie in der Farbabb. "Landnutzungsklassifikation Südraum Leipzig"). Unterschiedliche Methoden zur Erfassung der Landnutzung in urbanen Räumen werden von USBECK (Kap. 5.3.1) und HEINZ (Kap. 5.3.2) diskutiert.

Eine Berechnung der Flächenanteile wurde zum einen für den auf der Farbabbildung dargestellten Untersuchungsraum 'Südraum Leipzig' und zum anderen für den zum Zeitpunkt der

Aufnahme noch existierenden Kreis Borna (vgl. Farbabb. „Landnutzungsklassifikation für den ehemaligen Kreis Borna) vorgenommen.

Auswertung der Landnutzungsklassifikation für den 'Südraum Leipzig'

Der landwirtschaftlich genutzte Anteil (einschließlich Brache) liegt im gesamten Untersuchungsgebiet mit 33 360 ha bei 61 % (vgl. Tab. 1). Dabei kann mit Methoden der Fernerkundung nicht unterschieden werden, ob es sich dabei um landwirtschaftliche Nutzung auf gewachsenen oder auf verkippten Böden handelt. Zum Zeitpunkt der Satellitenbildaufnahme hat bereits die Ernte begonnen, so daß bei ca. 14 % der landwirtschaftlichen Fläche nur *Stoppeln* bzw. Felder im *Umbruch* festgestellt werden konnten. Auch bei den als *Kraut- und Strauchvegetation* klassifizierten Flächen (ca. 18 % Anteil) kann es sich in manchen Fällen um abgeerntete Felder handeln. Der größte Teil jedoch wird Brachflächen zuzuordnen sein.

Tab. 1: Landnutzung im Südraum von Leipzig

Nutzungsklasse	Fläche in ha	Flächenanteil in %
• **Landwirtschaftliche Fläche und Wald**		
Wintergetreide	7462,1	13,7
Sommergerste / Zwiebeln	2064,1	3,8
Heu / sehr trockenes Getreide	269,9	0,5
Stoppeln / Umbruch / trockene Ruderalvegetation	8031,2	14,7
Luzerne	487,1	0,9
Grünland / Ackerfutter	4883,1	8,9
Kraut- und Strauchvegetation	10163,0	18,6
Laub- und Nadelwald	5353,9	9,8
• **Tagebau**		
Tagebauböschung	1562,0	2,9
offener Tagebau	4888,1	8,9
Spülkippe	103,3	0,2
• **Andere**		
Bebauung / versiegelte Flächen	7940,4	14,5
Wasser	946,7	1,7
nicht klassifiziert	480,1	0,9
Summe	54635,0	100,0

Die zu Zeiten der DDR entstandene großräumige Schlageinteilung in diesem Gebiet hat sich auch in den letzten Jahren wenig verändert (HERZOG & HEINRICH, 1997). Da Raps zum Aufnahmezeitpunkt bereits abgeerntet war und somit kein typisches spektrales Verhalten besitzen konnte, wurde er der Klasse *Stoppeln* zugewiesen. Ein Problem ist die Zusammenfassung von *Sommergerste* und *Zwiebeln* in eine Gruppe, was auf ihrem ähnlichen spektralen Verhalten basiert, jedoch handelt es sich zumeist um Gerste, da der Anbau von Zwiebeln in diesem Gebiet gering ist. Mit einem Anteil von knapp 10 % an der Gesamtfläche ist der Waldanteil relativ gering.

Der Flächenanteil des Tagebaus in dieser ehemaligen Agrarlandschaft beträgt im Untersuchungsgebiet 6 553 ha, das entspricht ca. 12 % der Fläche. Nur noch in wenigen Tagebauen wird Braunkohle gefördert, so z.B. im Tagebau Vereinigtes Schleenhain bis 2037 (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN, 1993). Die mit der hohen Landschaftsdynamik einhergehende Renaturierung der entstandenen Kippenflächen durch Land- und

Forstwirtschaft sowie die geplanten Flutungsmaßnahmen bedürfen eines Monitoring in engen Zeitschnitten.

Die inzwischen ausgedehnten Wasserflächen in diesem Gebiet entstanden als Folge des Abbaus von Braunkohle sowie von pleistozänen Schottern, Kiesen und Sanden durch die Bauwirtschaft, wie z.B. Restloch Cospuden, Speicher Witznitz, Speicher Borna, Restloch Haselbach. Sie nehmen mit knapp 950 ha einen Anteil von ca. 1,7 % an der Gesamtfläche ein.

Die methodische Schwachstelle der automatischen Klassifikation liegt in der Zuordnung der Klasse *Bebauung / versiegelte Flächen.* Hier wird die Grenze der Landnutzungsklassifikation mit Satellitenbilddaten deutlich. An spektral ähnlich reflektierenden Landschaftselementen, wie Sand- und Kiesflächen um Seen (z.B. Speicher Borna) und auch in Tagebauen kann der Klassifikationsalgorithmus kaum mehr zwischen offenen, nicht bebauten und versiegelten Flächen unterscheiden. Da neben der spektralen Überlappung auch die Rauhigkeit in Tagebauen und in bebauten Arealen sehr ähnlich ist, kann diesem Problem mit einer Texturanalyse nicht begegnet werden. Die Folge ist, daß die Gruppe *Bebauung / versiegelte Fläche* überrepräsentiert vertreten ist. Dies macht sich weniger in der Flächenstatistik bemerkbar (14,5 % im Vergleich zu 13 %; BERKNER, 1991) als in Form von linienförmigen Elementen und Punkten auf der Karte.

Auswertung der Landnutzungsklassifikation für den ehemaligen Kreis Borna

Der landwirtschaftlich genutzte Anteil der Fläche liegt im ehemaligen Kreis Borna mit 21 464 ha bei ca. 58,8 % und hat sich im Vergleich zum Jahr 1989 kaum verändert (20 802 ha bzw. 57,1 %; LRA Borna, 1993). Jedoch wirken sich die stark verminderten Tierbestände auf den Futterbedarf und damit direkt auf das Anbauverhältnis aus. So kam es zu einer Reduzierung der Hauptfutterfläche von ca. 20 % im Jahr 1989 (LRA BORNA, 1993) auf 8,5 % im Jahr 1994 (Grünland / Ackerfutter) (vgl. Tab. 2).

Wichtige Fruchtfolgeglieder, wie die Luzerne (knapp 1 % Flächenanteil) als die geeignetste Rekultivierungspflanze erfahren leider verstärkt Anbaubeschränkungen, da mangels Rinderbeständen eine sinnvolle Verwertung nicht mehr im erforderlichen Umfang gegeben ist. Wald- und Forstflächen sind bei einem Flächenanteil von knapp 10 % zu zwei Dritteln auf rekultivierten Flächen zu finden (nach BERKNER, 1991).

Land- und Forstwirtschaft haben u.a. durch Flächenverlust, Staub- und SO_2-Immissionen unter der massiven bergbaulichen und industriellen Nutzung des Raumes gelitten. Insgesamt besetzen im Südraum von Leipzig die Tagebaue ca. 66 km² Betriebsfläche (HÖNSCH, 1992), die einer Nachnutzung zugeführt werden müssen, davon im Kreis Borna ca. 33 km² (9.15 % der Kreisfläche). Wurden die meisten bergbaulich beanspruchten Flächen in der DDR für landwirtschaftlich intensive Nachnutzungen in Großbetrieben rekultiviert (BERKNER 1989), so gewinnen künftig bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaften landeskulturelle Aspekte verstärkt an Bedeutung (SÄCHS. STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN, 1993). Die durch die Rohstoffgewinnung entstandenen Wasserflächen (ca. 2,5 %) in Form von Speicherbecken und Restlöchern tragen bereits heute zur Naherholung und zur Auflockerung der wegen ihrer Schlaggröße und Reliefarmut monoton wirkenden Landschaft bei.

Tab. 2: Landnutzung im ehemaligen Kreis Borna

Nutzungsklasse	Fläche in ha	Flächenanteil in %
• **Landwirtschaftliche Fläche und Wald**		
Wintergetreide	4647,4	12,7
Sommergerste / Zwiebeln	1715,3	4,7
Heu / sehr trockenes Getreide	167,1	0,5
Stoppeln / Umbruch / trockene Ruderalvegetation	4467,8	12,2
Luzerne	329,7	0,9
Grünland / Ackerfutter	3104,0	8,5
Kraut- und Strauchvegetation	7032,8	19,3
Laub- und Nadelwald	4881,3	13,4
• **Tagebau**		
Tagebauböschung	811,8	2,2
offener Tagebau	2424,6	6,7
Spülkippe	103,3	0,3
• **Andere**		
Bebauung / versiegelte Flächen	5621,1	15,4
Wasser	854,6	2,3
nicht klassifiziert	339,7	0,9
Summe	36500,5	100,0

Ausblick

Die Großräumigkeit und die oft erschwerte Zugänglichkeit zahlreicher Bergbaugebiete erfordern den Einsatz von Verfahren, die ein Monitoring der hier ablaufenden Dynamik erlauben. Im Südraum wurden mit Satellitenbilddaten bereits einzelne Tagebaue (Zwenkau und Espenhain) analysiert, wobei der Schwerpunkt in der inneren Differenzierung der Tagebaugebiete lag; Land- und Forstwirtschaft blieben weitgehend unberücksichtigt (SCHMIDT, 1995). Ein solches Vorgehen begünstigt zwar die präzisere Untersuchung eines Teilraumes mit seiner vorherrschenden Landnutzung, schließt jedoch eine großflächige, landschaftsbezogene Raumuntersuchung und eine Flächenbilanzierung aus.

Satellitengestützte Fernerkundung ist seit längerem ein erprobtes Werkzeug für land- und forstwirtschaftliche Untersuchungen (STIBIG, 1988). Dabei ermöglichen die beiden gängigsten Satellitensensorsysteme Landsat-TM und Spot bereits die Erfassung und Überwachung der Nutzungsstrukturen von Land- und Forstwirtschaft wie auch der Dynamik von Tagebauen. Aufgrund ihrer geometrischen und radiometrischen Auflösung eignen sie sich nur für mittlere Maßstabsebenen (SAURER, 1989). Eine kleinräumige Differenzierung einzelner Nutzungsarten oder aber die Erfassung der Übergänge von einer Nutzung zur benachbarten sind mit den bisher operativ eingesetzten Sensoren nicht oder nur begrenzt durchführbar. Es ist zu wünschen, daß die angekündigten hochauflösenden Sensoren (MOMS-2P, Early Watch Programm) tatsächlich operativ einsetzbar werden und den benötigten Qualitätssprung für das Monitoring auf planungsrelevanten Maßstabsebenen darstellen (vgl. Kap. 3.1).

In den beiden nachfolgenden Kapiteln werden in den Teilräumen Tagebau Espenhain und Tagebau Borna-Ost / Bockwitz die Landschaftsveränderungen mit anderen Datengrundlagen der Fernerkundung und Methoden geographischer Informationssysteme in größeren Maßstäben erfaßt und die Dynamik der ökologischen Prozesse in Bergbaugebieten aufgezeigt.

Literatur

CARLSON, G.E. & W.J. EBEL (1995): Co-occurence Matrices for Small Region Texture Measurement and Comparision. - In: Int. Journal for Remote Sensing, Vol. 16, No. 8, pp. 1417-1423.

BANZHAF, E. & H. LILIENTHAL (1996): Einsatz von EBIS und Vegetationsindizes zur Verbesserung herkömmlicher Klassifikationen. - In: Geosystems (Hg.): Strategien zur Verbesserung digitaler Klassifikationen: Preprocessing und Klassifikationsalgorithmen in Theorie und Praxis. Fachtagung 24./25.Juni 1996. 9 S.

BERKNER, A. (1989): Braunkohlenbergbau, Landschaftsdynamik und territoriale Folgewirkungen in der DDR. - In: Petermanns Geographische Mitteilungen, 3/89, S. 173-190.

BERKNER, A. (1991): Südraum Leipzig - Realnutzung. Karte der Regionalen Planungsstelle beim Staatlichen Umweltfachamt Leipzig.

EICHLER, S. & F. HERZOG (1997): Concepts for Mining Landscape Development in Eastern Germany with Grazing Animals and Agroforestry. - Proc. XVIII Int. Grassland Congress, Saskatoon, Saskatchewan, Canada 8th-19th June 1997 pp. 27-17/27-18.

HERZOG, F. & K. HEINRICH (1997): Die Landwirtschaft im Südraum Leipzig - nachhaltig geschädigt. - In: Ring, I. (Hg.): Nachhaltige Entwicklung im Südraum Leipzig. Teubner Verlag S. 191-220.

HÖNSCH, F. (1992): Der Leipziger Südraum - eine Region im Wandel. - Geographische Rundschau 44, H. 10, S. 592-599.

LOHMANN, G. (1994): Co-occurrence Based Analysis and Synthesis of Textures. - In: Proc. Int. Conference on Pattern Recognition (ICPR), Oct. '94, Jerusalem, Israel.

LRA BORNA (1993): Landkreise Borna/Geithain - Kreisentwicklungskonzeption. - Wirtschaftsamt 01/93.

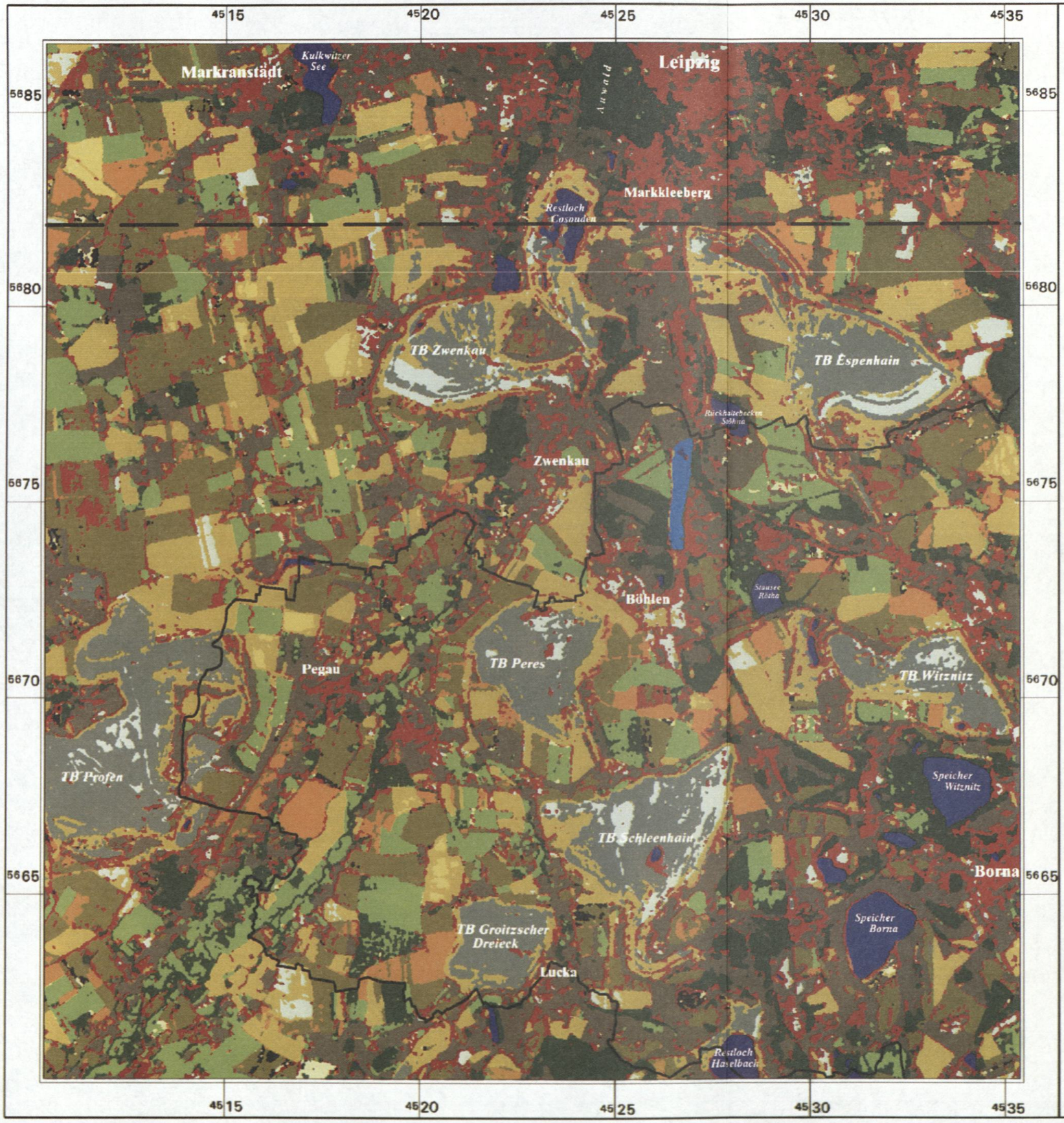
REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (1993): Braunkohlenplan - Tagebau Vereinigtes Schleenhain. Regionale Planungsstelle - Referat Braunkohlenplanung - Entwurf vom 01.09.1993.

SÄCHS. STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (1993): Aktionsraum Ländlicher Raum. Dorfentwicklung, Land- und Forstwirtschaft in Braunkohlelandschaften. Bereich Delitzsch. Bereich Borna. Bereich Oberlausitz.

SAURER, H. (1989): Rasterorientierte Informationssysteme in der Geographie. Konzepte und Erfahrungen bei der Realisierung eines GIS für die Waldschadensforschung. Dissertation. Würzburg Geographische Arbeiten, Heft 74. Würzburg.

SCHMIDT, H. (1995): Untersuchung zu Anwendungsmöglichkeiten von ausgewählten Fernerkundungsmethoden zum Umweltmonitoring in Bergbaufolgelandschaften - dargestellt am Südraum Leipzig. - In: Geosystems (Hg.): User Group Meeting. 17.-19. Oktober 1995 in Feldafing. S. 43-53.

STIBIG, H.-J. (1988): Untersuchungen zum Anwendungspotential von Spot- und TM-Daten für die digitale land- und forstwirtschaftliche Landnutzungsklassifikation anhand von Simulations- und Originalaufnahmen. - Dissertation. Mitteilungen der Abteilung für forstliche Biometrie und der Abteilung für Luftbildmessung und Fernerkundung der Universität Freiburg i. Br. 88-2.



Landnutzungsklassifikation Südraum Leipzig

Maßstab 1 : 100 000

5 0 km

Landnutzungen

- Wintergetreide
- Sommergerste / Zwiebeln
- Heu / sehr trockenes Getreide
- Stoppeln/ Umbruch/ trock. Ruderalveg.
- Luzerne
- Grünland / Ackerfutter
- Kraut- und Strauchvegetation
- Laub- und Nadelwald
- Tagebauböschung
- offener Tagebau
- Bebauung / versiegelte Flächen
- Spülkippe
- Wasser
- nicht klassifiziert
- Nordgrenze der Referenzfläche
- ehemaliger Kreis Borna

Datenquelle

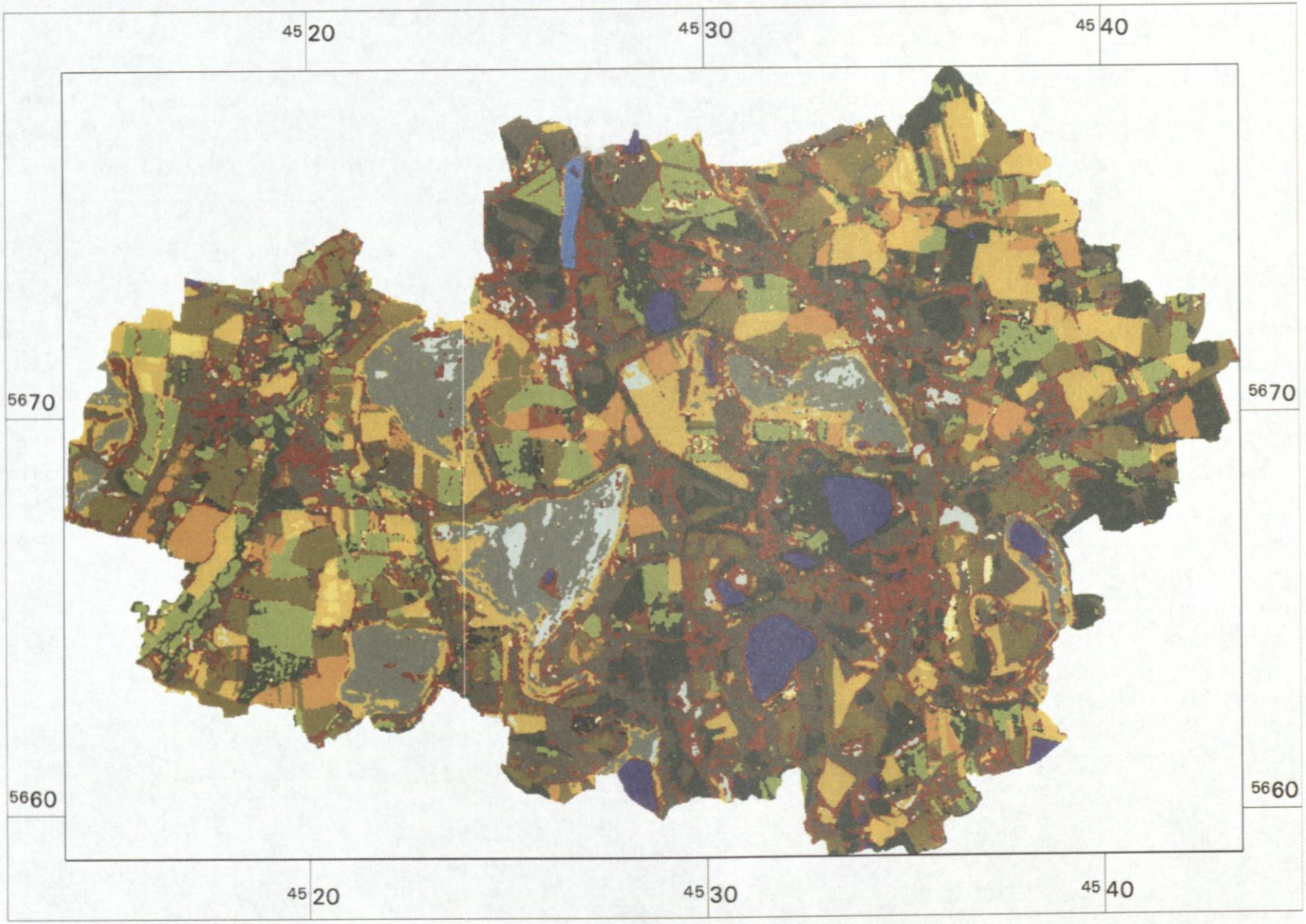
Satellit:	Landsat-5-TM
Aufnahmedatum:	21.07.1994
Bodenauflösung:	30 m x 30 m

Datenbearbeitung

Geometrische Entzerrung:	600 Paßpunkte(Vollszene) mit Polynom 2. Ordnung
Entzerrungsgrundlage:	TK 25 (N)
Resampling:	Nearest Neighbour/25m RMS: 0,9
Klassifikation:	Maximum Likelihood verbessert durch: Texturanalyse NDVI
Programm:	ERDAS-Imagine 8.2
Bearbeitung:	E. Banzhaf H. Lilienthal
Kartographie:	H. Lilienthal E. Banzhaf
Ground Truth Information:	K. Heinrich

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Landnutzungsklassifikation für den ehemaligen Kreis Borna



Maßstab 1 : 150 000

5 0 km

Datenquelle

Satellit:	Landsat-5-TM
Aufnahmedatum:	21.07.1994
Bodenauflösung:	30 m x 30 m

Datenbearbeitung

Geometrische Entzerrung:	600 Paßpunkte (Vollszene) mit Polynom 2. Ordnung
Entzerrungs-grundlage:	TK 25 (N)
Resampling:	Nearest Neighbour/25m RMS: 0,9
Klassifikation:	Maximum Likelihood verbesser durch: Texturanalyse NVDI
Programm:	ERDAS-Imagine 8.2
Bearbeitung:	E. Banzhaf H. Lilienthal
Kartographie:	U. Steinhardt E. Banzhaf
Ground Truth Information:	K. Heinrich

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Landnutzungen

- nicht klassifiziert
- Wintergetreide
- Sommergerste / Zwiebeln
- Heu / sehr trockenes Getreide
- Stoppeln/ Umbruch/ trock. Ruderalveg.
- Luzerne
- Grünland / Ackerfutter
- Kraut- und Strauchvegetation
- Laub- und Nadelwald
- Tagebauböschung
- offener Tagebau
- Bebauung / versiegelte Flächen
- Spülkippe
- Wasser

5.4.2 Landschaftsveränderungen im Gebiet des Tagebaus Espenhain

Uta Steinhardt, Angela Lausch, Felix Herzog, Eckhard Müller & Steffen Lehmann

Problem- und Zielstellung

Landschaftsveränderungen können durch natürliche und durch anthropogene Impulse ausgelöst werden. Im Laufe seiner Entwicklung hat der Mensch die natürliche in eine „kultürliche" Umwelt umgewandelt. In Mitteleuropa können diesbezüglich vier Etappen unterschieden werden (BASTIAN & SCHREIBER, 1994):

- Agrarische Landnahme und -nutzung (vor ca. 5 - 6 000 Jahren beginnend);
- Komplexer Landausbau während der Feudalzeit;
- Industrielles Zeitalter (Beginn vor ca. 100 Jahren);
- Wissenschaftlich-technisches Zeitalter (beginnend vor ca. 30 - 40 Jahren).

Die beiden letzten Etappen mit einer extremen Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen (Braunkohle), umfangreicher karbochemischer Industrie, den daraus folgenden Umweltbelastungen (Luft, Wasser, Boden) und Veränderungen in Infrastruktur und Siedlungsnetz sowie einer intensiven Landwirtschaft ließen den Südraum von Leipzig zu einem Problemgebiet werden.

Zur Darstellung von Landschaftsveränderungen bietet sich heute der Einsatz geographischer Informationssysteme (GIS) an. Die benötigten Basisdaten (Landnutzung zu verschiedenen Zeitpunkten) können sowohl durch Fernerkundung als auch durch die Analyse topographischer Karten erhoben werden; auch können beide Verfahren kombiniert werden. Diese Methoden wurden eingesetzt, um die Landnutzungsänderungen in einem Testgebiet zu dokumentieren, zu quantifizieren und mittels des Hemerobie-Ansatzes einer Bewertung zu unterziehen. Der Raum Espenhain wurde stellvertretend für den Südraum gewählt, weil dort alle Landnutzungsänderungen beobachtet werden können, die für die Vorgänge im Südraum typisch sind: umfangreicher Tagebau mit Zerstörung von Ortschaften, naturnahen Auebereichen und Ackerflächen; land- und forstwirtschaftliche Rekultivierung, Umstrukturierung auch der nicht verritzten Flächen durch agrarstrukturelle Maßnahmen.

Diese Arbeiten sind noch im Gang, hier wird ein Zwischenstand wiedergegeben. Ein ähnlicher Ansatz wird im Beitrag von LAUSCH & BELLMANN (vgl. Kap. 5.4.3) verfolgt, in dem basierend auf GIS-Auswertungen von Luftbildern und topographischen Karten Aussagen zur Rekultivierung im Tagebau Bockwitz gemacht werden. Weiterführende Bemerkungen zu ökologischen Folgen von Landnutzungsänderungen, insbesondere auf den Gebietswasserhaushalt, finden sich im Beitrag von KRÖNERT & ERFURTH (vgl. Kap. 5.1).

Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt südlich von Leipzig (HW 5673900 - 5680500, RW 4526000 - 4535000) und gehört administrativ zum Kreis Leipziger Land. Es umfaßt 58 km^2. Geologisch gehört es zu der im Tertiär angelegten Leipziger Tieflandsbucht mit ihren reichen Braunkohlenvorkommen im Weißelster-Becken, die so bedeutsam für die Veränderungen der Landschaft werden sollten. Prägend für die landschaftliche Gliederung waren saalezeitliche glazi-

gene Prozesse (Talentwicklung, Ablagerungen von Grundmoräne und Schmelzwassersand), weichselkaltzeitliche äolische Ablagerungen (Sandlöß) und holozäne Sedimentation (Auelehm, Kolluvium).

Folgende Naturraumeinheiten, die im Laufe der letzten Jahrzehnte sehr stark anthropogen überformt wurden, lassen sich zu Beginn des industriellen Zeitalters unterscheiden:

Täler:
- Breitsohlental mit Auelehm unter Grünland- und Gehölznutzung (Pleiße);
- Schmalsohlental, vorwiegend mit Auelehm unter Grünlandnutzung (Gösel);
- Mulden und Rinnen mit kolluvialen Abschlämmassen unter Grünland- und Gehölznutzung (Schlumper-Bach).

Platten:
- flachwellige Sandlößplatten unter Ackernutzung, vorwiegend von durchlässigen Sanden und Kiesen unterlagert (z.B. westlich der Pleiße);
- ebene Sandlößplatten unter forstlicher Nutzung, vorwiegend von durchlässigen Sanden und Kiesen unterlagert (Harth);
- flachwellige Sandlößplatten unter Ackernutzung, vorwiegend von Geschiebelehm unterlagert (z.B. zwischen Pleiße und Gösel, östlich der Gösel);
- ebene Sandlößplatten unter forstlicher Nutzung vorwiegend von Geschiebelehm unterlagert (Oberholz).

Heute ist nur noch ein Teil dieser Landschaftseinheiten vorhanden. Fast zwei Drittel der Fläche wurden durch den Tagebau bis zu 50 m tief abgetragen. Auf einer Landbrücke zwischen den Tagebauen Espenhain und Zwenkau im Westen des Untersuchungsgebietes konzentrieren sich Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur, welche die Stadt Leipzig und ihren Südraum verbinden. Daran schließen die rekultivierten und offenen Flächen des Tagebaus Espenhain an. Nur im Nordosten finden sich noch ländlich geprägte Landstriche, wie sie vormals für den Südraum von Leipzig charakteristisch waren.

Methoden

Kartengrundlagen

Die Landnutzung wurde anhand historischer und aktueller topographischer Karten 1 : 25 000 erfaßt. Da diese nur etwa alle 30 - 40 Jahre neu aufgelegt werden, wurden zusätzlich Luftaufnahmen ausgewertet, um den Fortgang des Tagebaus in kleineren Zeitschnitten zu dokumentieren (Tabelle 1). Hier wurden vorerst die Zeitschnitte 1944 und 1989 präsentiert, die anderen befinden sich noch in der Bearbeitungsphase.

Tab. 1: Datenbasis für das Untersuchungsgebiet Tagebau Espenhain

Zeitschnitt	Datenmaterial
1910	Topographische Karte 1 : 25 000
1944	Topographische Karte 1 : 25 000
1973	schwarz-weiß Luftbilder ca. 1 : 12 000
1989	Topographische Karte 1 : 25 000

Alle kartographischen Grundlagen beruhen auf dem Bessel-Ellipsoid. Um die Karten auswerten zu können, werden sie mit dem geographischen Informationssystem Arc/Info (Version 7.03) digital erfaßt. Die digitale Basis wurde anhand des Zeitschnittes 1944 erarbeitet, da dieser die größte Anzahl geometrischer Elemente enthält. Die Ableitung der anderen Zeitschnitte erfolgt, indem lediglich die Änderungen neu digitalisiert werden. Die topographi-

sche Karte von 1989 mußte völlig neu erfaßt werden, da die topographischen Karten 1 : 25 000 in der ehemaligen DDR auf der Grundlage von Laufendhaltungsdaten im Maßstab 1 : 10 000 erstellt wurden, wodurch sich geringfügige Abweichungen und Verschiebungen in der Geometrie der Kartenelemente von 1989 im Vergleich zu 1944 und 1910 ergeben. Die Informationen der Luftbilder (1973) werden durch Hochzeichnen der Veränderungen auf die Kartengrundlage von 1944 und anschließendes Digitalisieren erfaßt.

Bewertung

Um den Grad des menschlichen Einflusses auf die Landschaft zu messen, entwickelte JALAS (1955) das Konzept der Hemerobiestufen, das u.a. von BLUME & SUKOPP (1976) aufgegriffen und variiert wurde. Tabelle 2 zeigt diesen Klassifikationsansatz im Überblick. Die erfaßten Landnutzungsformen wurden den Hemerobiestufen nach Tabelle 2 zugeordnet und sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 2: Klassifikation des menschlichen Einflusses auf Ökosysteme

Hemerobiestufe	Natürlich-keitsgrad	Anthropogene Einwirkungen
ahemerob	natürlich	nicht vorhanden
oligohemerob	naturnah	geringe Holzentnahme, Beweidung, Luft- und Gewässerimmissionen
mesohemerob	halbnatürlich	Rodung und seltener Umbruch bzw. Kahlschlag, Streunutzung und Plaggenhieb, gelegentlich schwache Düngung
β-euhemerob	bedingt naturfern	Düngung, Kalkung, Biozideinsatz, leichte Grabenentwässerung
α-euhemerob	naturfern	Tiefumbruch, Entwässerung, Biozideinsatz und Intensivdüngung
polyhemerob	naturfremd	einmalige Vernichtung der Biozönose bei gleichzeitiger Bedeckung des Biotops mit Fremdmaterial
metahemerob	künstlich	Biozönose vernichtet

Tab. 3: Zuordnung von Landnutzungsformen zu Hemerobiestufen

oligo-he-merob	mesohemerob	β-euhemerob	α-euhemerob	polyhemerob	metahemerob
Mischwald, periodisch überflutetes Grünland	Ufergehölze, trockener Graben, Laubwald, Gebüsch, Hecke, Baumreihe, Park, Steinbruch, Grube	Allee, Graben, Bach, Fluß, See, Teich, Nadelwald, Baumschule, Dauergrünland	Ackerland, Freizeiteinrich-tungen, bebaute Fläche (ländl.)	Eisenbahn, Wege, offener Tage-bau	Straßen, bebaute Fläche (städt.), Spülkippe

Ergebnisse und Diskussion

Methoden

SCHMIDT (1995) untersucht die Möglichkeiten der Anwendung und Nutzung von ausgewählten Fernerkundungsmethoden unter Einbeziehung von zusätzlichen Geodaten zur Beobachtung von Braunkohletagebauen mit dem Ziel, multitemporale Veränderungen der Sukzessionsflächen zu erfassen und eine Klassifikation der Abraumsubstrate in den offenen Tagebaubereichen zu erarbeiten. Eine aus Satellitenbilddaten abgeleitete Landnutzungsklassifikation für das Gebiet des Leipziger Südraumes wird in dem Beitrag von BANZHAF (vgl. Kap.

5.4.1) vorgestellt und diskutiert. Um hingegen die hier diskutierte Problematik anzugehen, ist die geometrische Auflösung von Satellitenaufnahmen zu gering; deshalb wurde auf Luftbilder zurückgegriffen. Zur Erfassung der verschiedenen Landnutzungsformen bieten sich CIR-Aufnahmen an, die jedoch für historische Zeitschnitte kaum zur Verfügung stehen. Erhältlich sind schwarz-weiß Luftbilder, deren Aufnahmemaßstab nach Möglichkeit besser (größer) sein soll als der angestrebte Darstellungsmaßstab (hier 1 : 25 000), um die erforderliche Unterscheidung zwischen den verschiedenen Formen der Landnutzung aufgrund struktureller Bildinformationen treffen zu können. Der Nachteil bei der Nutzung von Luftbildern liegt in ihrer nicht kartographischen Abbildungsweise, d.h. es muß in jedem Fall eine geometrische Korrektur (Entzerrung) der Kartierungsergebnisse erfolgen. Zudem ist es vom Erfahrungsschatz des Bearbeiters abhängig, inwieweit die abgebildeten Landnutzungsformen eindeutig zugeordnet werden. Ein gewisses Maß an Subjektivität und Fehlklassifikation wird sich nicht vermeiden lassen.

Die beiden letztgenannten Probleme treten bei der Analyse topographischer Karten nicht auf. Sie sind sowohl hinsichtlich ihres geographisch-kartographischen Bezuges durch die Einpassung in ein Koordinatensystem als auch der Klassifikation der Landnutzung durch das Vorhandensein einer Legende eindeutig. Im hier untersuchten Zeitraum änderte sich jedoch der Klassifikationsschlüssel. Die Legendenschlüssel der verschiedenen Kartenausgaben mußten daher aneinander angepaßt werden (Tab. 4).

Tab. 4: Beispiele zur Vereinheitlichung der Legendenschlüssel der TK 25 für die Jahre 1944 und 1989

Bezeichnung in der hier verwendenden Legende	Bezeichnung in der Legende TK 25 (N) (1989)	Bezeichnung in der Legende TK 25 - Meßtischblatt (1944)
Hauptstraße	Hauptstraße (Breite mindestens 6m)	Reichsstraße IA (etwa 5,5m Mindestnutzbreite)
Dauergrünland	Wiesen, Weiden, nasse Stellen	Wiese (nasse Wiese)

Der Nachteil bei der Nutzung topographischer Karten zur Analyse von Landschaftsveränderungen liegt im sehr großen Zeitintervall ihrer Aktualisierung. Dagegen sind Luftbilder eines Gebietes oft zu dicht aufeinanderfolgenden Zeitpunkten verfügbar und durch entsprechende Recherchen zu akquirieren.

Der Ansatz der Hemerobie erlaubt eine übergreifende Bewertung der gesamten Landschaft im Hinblick auf ihren Natürlichkeitsgrad. Im Südraum von Leipzig erstreckt sich die anthropogene Beeinflussung über die biotischen Kompartimente des landschaftlichen Ökosystems hinaus auch auf Untergrund und Relief, ober- und unterirdisches Gewässernetz sowie Boden und Luft. Dieser Raum stellt dadurch ein Extrembeispiel für den menschlichen Einfluß auf Ökosysteme dar. Beschränkte sich der Hemerobie-Ansatz ursprünglich auf die Veränderung der Vegetationsstruktur und Artenkombination im Vergleich zur potentiellen natürlichen Vegetation, so wurde er von BLUME & SUKOPP (1976) auch auf die abiotischen Dimensionen der Landschaft ausgedehnt.

Die Wahl eines so komplexen Parameters wie der Landnutzung als Indikator für den Hemerobiegrad ist jedoch unter Umständen mit Problemen verbunden. In Abhängigkeit von der konkreten Situation im Untersuchungsraum müssen gegebenenfalls weitere biotische (Anteil von Neo- und Therophyten am Artenbestand) und/oder pedologische (morphologische und chemische Bodenparamter) Indikatoren ergänzend hinzugezogen werden. Für die Verwendung des Hemerobiegrades als Parameter zur Landschaftsbewertung spricht jedoch seine Anwendbarkeit auf Fernerkundungsdaten, die zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen werden.

Im Südraum von Leipzig hat die forstliche Rekultivierung zu deutlich naturfernerem Wald geführt (oft Pappelreinkultur). Die Vegetationsentwicklung auf landwirtschaftlich rekultivierten Kippen kann zwar zu Pflanzengesellschaften führen, die denjenigen auf gewachsenen Böden vergleichbar sind, es muß jedoch bezweifelt werden, ob diese Entwicklung von Dauer ist. So kann das Euphorbio-Melandrietum, das auf gewachsenen Böden die besten Ackerstandorte der Bördelandschaften besiedelt, auf Kipp-Kalklehmen und Kipp-Kalkschluffen bereits in den ersten Rekultivierungsjahren vorkommen. Später tritt wieder eine Abnahme auf, die mit einer Absenkung des pH-Wertes und zunehmender Vernässung erklärt wird. Auf Kipp-Lehmen wird diese Pflanzengesellschaft erst nach dem 25. Rekultivierungsjahr beobachtet (TISCHEW & KLOTZ, 1991). Daher wäre zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Hemerobiegrad der rekultivierten Flächen tiefer zu bewerten als derjenige der gewachsenen Böden. Es bestehen jedoch starke substratspezifische Unterschiede, und in Abhängigkeit von der Entwicklung von Vegetation und Boden müßte in Zukunft eine entsprechende Neubewertung stattfinden, bei der die Kippenflächen differenziert betrachtet werden.

Ebenfalls differenzierter als es hier möglich ist, müßte die Zuordnung der Kategorie „Offener Tagebau" vorgenommen werden. Im Lauf der Jahre hat sich dort stellenweise Sukzessionsvegetation entwickelt, die zu einer naturnäheren Bewertung der jetzt pauschal als polyhemerob bewerteten Flächen führen müßte. Die dafür notwendigen Informationen können jedoch retrospektiv nicht gewonnen werden, wenn - wie bei den hier vorgestellten Zeitschnitten - als Datengrundlage lediglich topographische Karten vorliegen.

Bergbaubedingte Veränderungen

Die Veränderungen, die durch den Bergbau hervorgerufen wurden, betreffen alle biotischen und abiotischen Komponenten der Landschaft und haben über den ökologischen Bereich hinaus auch soziale Konsequenzen (z.B. BISCHOFF et al., 1995; KABISCH, 1997). Die Vollendung des Werkes Espenhain (1942) führte zur verstärkten Erschließung des angrenzenden Tagebaues (Abraumförderung seit 1937, Kohleförderung seit 1940). Ihm mußten zunächst v.a. landwirtschaftlich genutzte Flächen guter Bodenqualität weichen. Damit begann auch eine „anthropogene Reliefumkehr": der Rote oder Röthaer Berg (143 m) geriet in den Abgrabungsbereich der auf Dekameter abgeteuften Hohlform. In der Folge kam es zu weiteren morphologischen Veränderungen. Es entstanden Halden (z.B. nordöstlich Rötha), Unterflurkippen (westlich Böhlen) und aufgefüllte Tagebauabschnitte (östlich Großdeuben).

Mit den Energie- und Chemieprogrammen der DDR begann in den 50er Jahren eine enorme bergbauliche Landnahme. 1956 entzog der Tagebau Espenhain 56,7 ha Fläche (BARTHEL, 1960), heute umfaßt er 17 km^2 rekultivierte Böden und 21 km^2 Betriebsfläche (GÖTZE & STAHL, 1996). Die Farbabbildungen „Untersuchungsraum Espenhain - Flächennutzung 1944" und „- Flächennutzung 1989" zeigen die digitalisierte Landnutzung in diesen beiden Jahren. Im Zeitraum von 45 Jahren hat sich der Flächenanteil (inkl. rekultivierte Flächen) des Tagebaus mehr als verdreißigfacht (Tab. 5). Dies hatte dramatische Landnutzungsänderungen zur Folge (Tab. 6 und 7).

Dem Tagebau sind über 60 % des Ackerlandes im Untersuchungsgebiet zum Opfer gefallen (22,5 km^2). 1989 liegt rund die Hälfte des Ackerlandes auf rekultivierten Böden. Aufgrund ihrer Flachgründigkeit und nachteiligen physikalischen Eigenschaften werden sie die hohe Bodenqualität der gewachsenen Böden dieses Raums kaum je erreichen (HERZOG & HEINRICH, 1997).

Tab. 5: Flächenanteil von gewachsenem Boden, offenem Tagebau und rekultivierten Flächen in % der Gesamtfläche

Nutzung	1944 [%]	1989 [%]
Gewachsener Boden	98,06	39,95
Offener Tagebau	1,94	24,00
Rekultivierte Flächen	0,00	36,05

Tab. 6: Flächenanteil der einzelnen Landnutzungsformen in % der Gesamtfläche

Landnutzungsform	1944 [%]	1989 [%]
See, Teich	0,24	0,06
Laubwald	3,61	5,28
Nadelwald	1,55	0,00
Mischwald	1,47	0,36
Gebüsch	0,06	0,00
Baumschule	1,26	0,00
Park	0,13	0,00
Freizeiteinrichtungen	0,81	0,09
Ackerland	66,69	54,45
Dauergrünland	12,33	2,79
Periodisch überflutetes Grünland	0,00	4,03
Bebaute Flächen (ländl.)	8,72	5,14
Bebaute Flächen (städt.)	1,05	2,59
Steinbruch, Grube	0,15	0,00
Offener Tagebau	1,94	24,00
Spülkippe	0,00	1,21

Tab. 7: Gesamtlänge der als lineare Strukturen erfaßten Landnutzungsformen

Landnutzungsform	1944 [km]	1989 [km]
Eisenbahn	16,80	45,36
Straßen	16,70	10,51
Wege	248,99	159,56
Fließgewässer	77,57	32,58
Ufergehölze	35,42	3,05
Baumreihen, Alleen	81,23	22,45
Hecken	8,53	0,10
Trockener Graben	34,65	16,20
Summe	519,88	289,82

Mit rund 6 % an der Gesamtfläche ist der Waldanteil auf konstant tiefem Niveau. Allerdings ist vom ursprünglichen Bestand (1944) nur noch rund ein Drittel vorhanden; fast zwei Drittel der Waldfläche im Jahre 1989 befinden sich auf rekultivierten Böden. Das Mischwaldgebiet der Harth ist verloren gegangen, und es hat eine Verschiebung zugunsten des Laubwaldes stattgefunden. Diese ist in erster Linie auf *Aufforstungen* mit Pappel zurückzuführen (VOGLER & VOGLER, 1994). Schmale Aufforstungsbereiche auf Kippen bzw. Halden zwischen Kleinstädteln und Großdeuben, beiderseits der B 95 zwischen Probstdeuben und Böhlen,

westlich Böhlen und nordöstlich Rötha, können die wichtigsten Funktionen des Waldes (Habitat, Klimaregulation, Erholung) nur unzureichend erfüllen und stellen keinen Ersatz für die Harth dar.

Zahlreiche *Siedlungen* wurden devastiert: Geschwitz 1951-53 (545 Einwohner), Rüben 1955-57 (289), Stöhna 1955-57 (792), Zehmen 1957-58 (580), Sestewitz 1967-68 (203), Cröbern und Crostewitz 1967-72 (1750), Magdeborn 1977-88 (3200) oder teildevastiert: Großdeuben 1956-63 (360), Gaschwitz 1964-65 (256), Rödgen 1984-85 (125). Die Bevölkerung wurde umgesiedelt. Diese Entwicklung spiegelt sich in der Abnahme der bebauten Fläche ländlicher Prägung wieder. Siedlungen und Infrastruktur konzentrieren sich auf den verbliebenen Landpfeiler zwischen Kleinstädteln und Böhlen und führen dort zu einer Zunahme der bebauten Flächen städtischer Prägung.

Durch den Abbau kam es zur Unterbrechung bzw. Kappung von *Flüssen* und Bächen wie Pleiße, kleine Pleiße, Gösel, Schlumper-Bach, Güldengossaer Bach. Flußverlegungen, Flußkanalisierungen und Dammbauten führten zu einer Vernichtung von *Auelandschaften* mit mäandrierenden Flußabschnitten, Altarmen, Teichen, Auenwäldern und -wiesen (erhaltene Wiesenreste bei Pötzschau an der Gösel sowie Röhricht und Erlenbruch am Schlumperbach und Schäferteich in Störmthal). Die Gesamtlänge der Fließgewässer wurde mehr als halbiert und die begleitenden Ufergehölze auf rund 10 % der ursprünglichen Ausdehnung reduziert. Mit ihnen verschwanden auch fast 80 % des Dauergrünlandes, das die Flußauen charakterisierte. Das 1989 vorhandene Dauergrünland befindet sich zu 44 % auf rekultivierten Böden. Insgesamt wurden lineare Strukturen, die den Charakter „ökologische Infrastruktur" aufweisen (Hecken, Baumreihen usw.), um nahezu 70 % verringert. Die verbleibenden Auewälder und -wiesen sowie der zum Pleißeeinzugsgebiet gehörende Teil des Oberholzes (soweit nicht staunässebeeinflußt) waren von der für den Tagebau erforderlichen Grundwasserabsenkung betroffen. Dies alles führt letztlich zu Verschiebungen im floristischen und faunistischen Artenspektrum. Aus Sicht des Naturschutzes ist dies nicht nur als negativ zu bewerten. Insbesondere auf den der Sukzession überlassenen Flächen sind Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten entstanden, die in der Kulturlandschaft kaum mehr vorkommen (DURKA et al., 1996; LAUSCH & BELLMANN, 1997).

Vorrangig nicht bergbaulich bedingte Veränderungen

Die 1952 beschlossene Kollektivierung der Landwirtschaft sowie der 1976 beginnende Übergang zu industriemäßigen Produktionsmethoden (Trennung von Pflanzen- und Tierproduktion, Höchstertragskonzeption) in der Landwirtschaft hatten Auswirkungen auf die Landnutzungsstruktur, die nur zum Teil in topographischen Karten sichtbar werden. Es sind dies vor allem:

- die Schaffung von Großschlägen. Im ehemaligen Bezirk Leipzig betrug die durchschnittliche Schlaggröße 1987 50,8 ha (DITTRICH, 1989), diejenige der rekultivierten Schläge des Tagebaus Espenhain 58,4 ha (VOGLER & VOGLER, 1994). Feldwege, die der Naherholung dienten, wurden entfernt (z.B. nördlich von Güldengossa und Pötzschau, nordöstlich von Störmthal und Dreiskau-Muckern). Fuß- und Nebenwege im Untersuchungsgebiet nahmen zwischen 1944 und 1989 um 73 % ab.
- der Bau von Großställen und Wohnblöcken, der zu Dorferweiterungen und z.T. negativen Dorfbildveränderungen führte;
- die Förderung von Meliorationen zur Umwandlung von Grün- in Ackerland;
- die Auflassung von Scheunen.

Desweiteren führten zu einer Beeinträchtigung des Landschaftsbildes:

- der Verlust von Obstbaumalleen z.B. nördlich von Dreiskau-Muckern und Pötzschau;
- die Anlage baumloser Straßen z.B. nordöstlich von Pötzschau und nördlich von Rötha;
- die Landschaftszerschneidung durch Energie- und Rohrleitungen.

Veränderung der Hemerobie

Diese Landnutzungsänderungen haben eine Abnahme des Natürlichkeitsgrades der Landschaft bewirkt (Abb. 1). Betrugen poly- und metahemerobe (naturfremde und künstliche) Strukturen 1944 noch 3 % der Gesamtfläche (und 54 % der linienförmigen Strukturen), so stieg ihr Flächenanteil 1989 auf 54 %, der Anteil linearer Strukturen auf 74 %. Diese Zunahme erfolgte v.a. zu Lasten der α-euhemeroben Strukturen (naturfern). Den größten Flächenanteil in dieser Hemerobiestufe hat Ackerland auf gewachsenem Boden, es wurde von 39,1 km^2 auf 16,6 km^2 reduziert. Den Klassen oligo-, meso- und β-euhemerob (naturnah bis bedingt naturfern) sind die für den Haushalt von Kulturlandschaften wichtigen Landnutzungsformen zugeordnet. Sie gingen insgesamt von 21 % Flächenanteil (46 % der linienförmigen Strukturen) auf 11 % bzw. 22 % zurück.

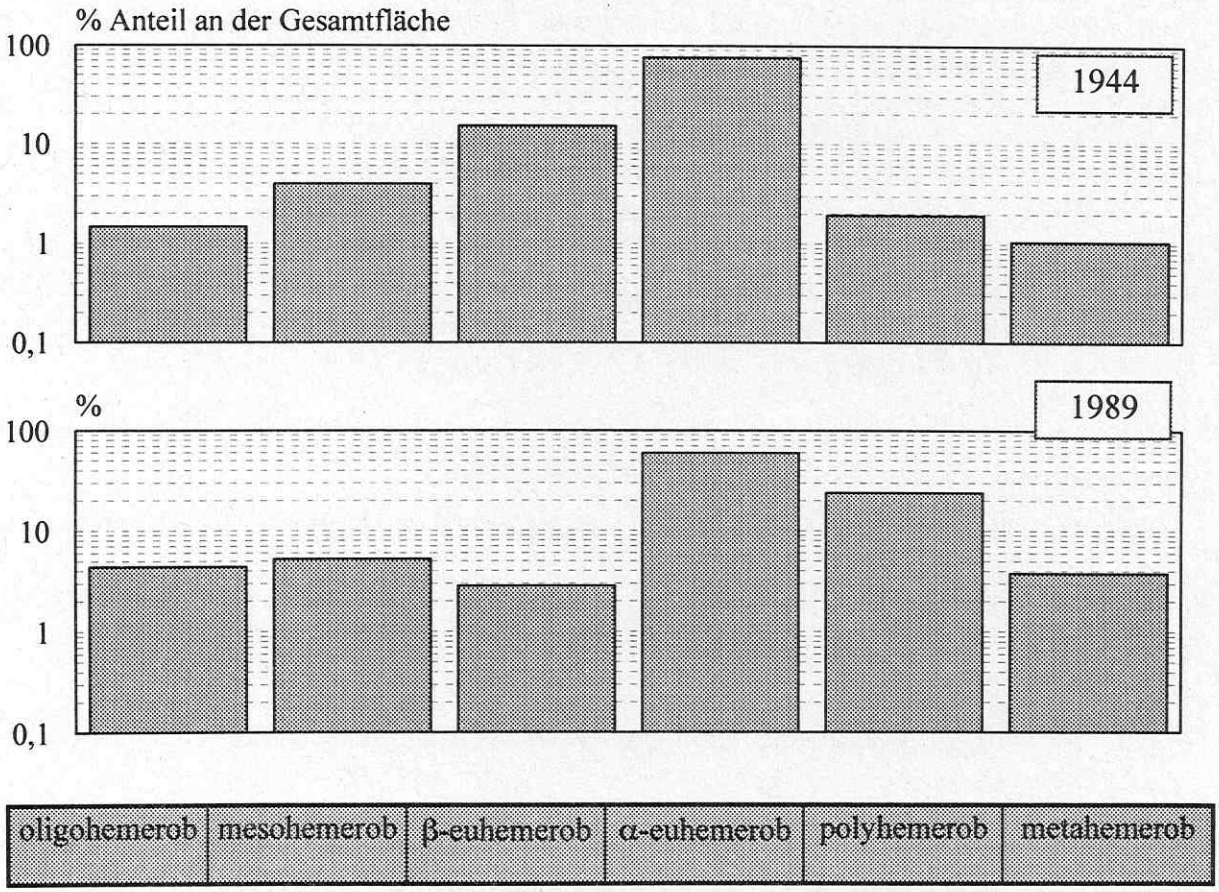


Abb. 1: Anteile der Hemerobiestufen nach Tabelle 2 an der Gesamtfläche

Die massiven anthropogenen Eingriffe in diese Landschaft spiegeln sich in der Veränderung der Hemerobiestufen wider. Eine Abnahme des Natürlichkeitsgrades geht stets einher mit einer deutlichen Minderung des Regulations- und Regenerationsvermögens des Landschafts-

systems und damit auch seiner ökologischen Stabilität. Bei der hier vorliegenden Art und Intensität der Nutzung bzw. Störung ist das natürliche Regulationspotential nicht nur mehr oder weniger eingeschränkt, sondern künstlich verändert oder sogar ganz unterbunden. Der daraus resultierende gesellschaftliche Aufwand zur Sicherung der Nutzungseigenschaften ist immens.

Schlußfolgerungen

Diese vorläufigen Ergebnisse geben einen ersten Eindruck der drastischen Landschaftsveränderungen, die in diesem Jahrhundert im Südraum von Leipzig stattgefunden haben. Die digitale Auswertung weiterer Zeitschnitte und die Erfassung auch der linearen Strukturen als Flächen wird ein besseres Verständnis dieses Geschehens erlauben. Der Hemerobieansatz bietet einen objektivierten Rahmen zur Bewertung dieser Landschaftsveränderungen unter (landschafts-)ökologischen Gesichtspunkten, da die Hemerobie als „die Gesamtheit aller Wirkungen, die beim beabsichtigten und unbeabsichtigten Einwirken des Menschen in Ökosystemen stattfinden" (SUKOPP, 1976) ein Maß für die Summe aller Störungen der natürlichen Verhältnisse darstellt, die in ihrer Komplexität so weder meßbar noch wahrnehmbar sind.

Das Konzept der Hemerobie ist ökologisch fundiert und kann auch auf Ergebnisse der Fernerkundung Anwendung finden. Im Bereich des Landschaftsmonitorings kann es dazu dienen, Landnutzungsänderungen nicht nur zu erkennen, sondern sie auch einer ersten Bewertung im Hinblick auf die Intensität des anthropogenen Einflusses zu unterziehen.

Bei einer komplexen Herangehensweise wie der hier gewählten sollte es auch möglich sein, den Hemerobieansatz in Lösung eines zentralen Problems der Landschaftsökologie, der Kopplung von Struktur- und Prozeßbetrachtungen auch in größeren Räumen (Regionalisierung), zu integrieren. Gegenüber anderen (herkömmlichen) Indizes, die zur Beschreibung landschaftlicher Veränderungen herangezogen werden, bietet der Hemerobieansatz den wesentlichen Vorteil, nicht nur beschreibende, sondern auch bewertende Aussagen zu erlauben.

Literatur

BARTHEL, H. (1960): Das Borna- Meuselwitzer Braunkohlenrevier in Vergangenheit und Gegenwart. - Sächsische Heimatblätter 6, S. 336-352.

BASTIAN, O. & K.-F. SCHREIBER (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. - Jena, Stuttgart.

BISCHOFF, U., S. KABISCH, S. LINKE, I. RING & D. RINK. (1995): Soziale Brüche und ökologische Konflikte in einer ländlichen Industrieregion: Der Südraum Leipzig. - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, UFZ-Bericht 2/95.

BLUME, H.-P. & H. SUKOPP (1976): Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. - Schr.-R. f. Vegetationskunde, Bonn - Bad Godesberg, S. 246/247.

DITTRICH, G. (1989): Ergebnisse analytischer Untersuchungen zur Entwicklung der Schlaggrößen in den LPG und VEG Pflanzenproduktion. - Feldwirtschaft 30, S.22/23.

DURKA, W., M. ALTMOOS, A. LAUSCH, & K. HENLE (1996): Landschaftsentwicklung und Biotopgestaltung in der Bergbaufolgelandschaft. Bedeutung von Bergbaufolgelandschaften für den Naturschutz unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen. - Abschlußbericht 1996 an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.

GÖTZE, H. & H. STAHL (1996): Statusbericht zur Rekultivierung im Freistaat Sachsen 1995. - Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1(3), S. 25-55.

HERZOG, F. & K. HEINRICH (1997): Die Landwirtschaft im Südraum Leipzig - Nachhaltig geschädigt. - In: Ring I. (Hg.): Nachhaltige Entwicklung in Industrie- und Bergbauregionen - Eine Chance für den Südraum Leipzig? Stuttgart, Leipzig, Teubner Verlag, S. 191-220.

JALAS, J. (1955): Hemerobe und hemechore Pflanzenarten. Ein terminologischer Reformversuch. - Acta Fauna Flora Fenn.72/11, S. 1-15.

KABISCH, S. (1997): Siedlungsstrukturelle Einschnitte infolge des Braunkohlenbergbaus. - In: Ring I. (Hg.): Nachhaltige Entwicklung in Industrie- und Bergbauregionen - Eine Chance für den Südraum Leipzig? Stuttgart, Leipzig, Teubner Verlag, S. 113-137.

LAUSCH, A. & A. BELLMANN (1997): Zur Realisierung nachhaltiger naturschutzstrategien mit Hilfe der Geoinformation: Tagebau Borna-Ost/Bockwitz - Vom Tagebau zum Naturschutzgebiet? - In: Ring I. (Hg.): Nachhaltige Entwicklung in Industrie- und Bergbauregionen - Eine Chance für den Südraum Leipzig? Stuttgart, Leipzig, Teubner Verlag, S. 73-92.

SCHMIDT, H. (1995): Untersuchungen zur Anwendung von Fernerkundungsmethoden zum Umweltmonitoring von Bergbaufolgelandschaften; dargestellt am Südraum Leipzig. - Vorträge der ERDAS-Anwender beim GEOSYSTEMS User Group Meeting. Germering, S. 43-53.

SUKOPP, H. (1976): Dynamik und Konstanz in der Flora der Bundesrepublik Deutschland. - Schr.-R. f. Vegetationskunde, Bonn - Bad Godesberg, S. 9-27.

TISCHEW, S. & S. KLOTZ (1991): Die Pflanzengesellschaften der Äcker auf rekultivierten Kippen des Tagebaugebietes südlich von Leipzig. - Wiss. Z. Univ. Halle XXXX '91 M (3), 3-24.

VOGLER, F. & E. VOGLER (1994): Angewandte Verfahren und Ergebnisse bei der Wiedernutzbarmachung von Kippenböden im Bereich von Braunkohletagebauen im Raum Leipzig. - Dölzig, Dr. Vogler und Partner; Radebeul, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.

Untersuchungsraum Espenhain
Flächennutzung 1944

1 : 30 000

Legende

- See, Teich
- Laubwald
- Nadelwald
- Mischwald
- Gebüsch
- Baumschule
- Dauergrünland
- Periodisch überflutetes Grünland
- Ackerland
- Park
- Bebaute Fläche (ländl.)
- Bebaute Fläche (städt.)
- Freizeiteinrichtung
- Offener Tagebau
- Steinbruch, Grube
- Spülkippe

- Eisenbahn
- Straße
- Weg
- Fluß
- Graben, Bach
- Trockener Graben
- Baumreihe, Allee
- Hecke

Darstellung auf der Grundlage des Meßtischblattes 1 : 25 000,
Blatt 4740 Markkleeberg, Ausgabe 1940, mit Genehmigung
des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN d 45/96.
Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber.
Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des
Landesvermessungsamtes Sachsen.

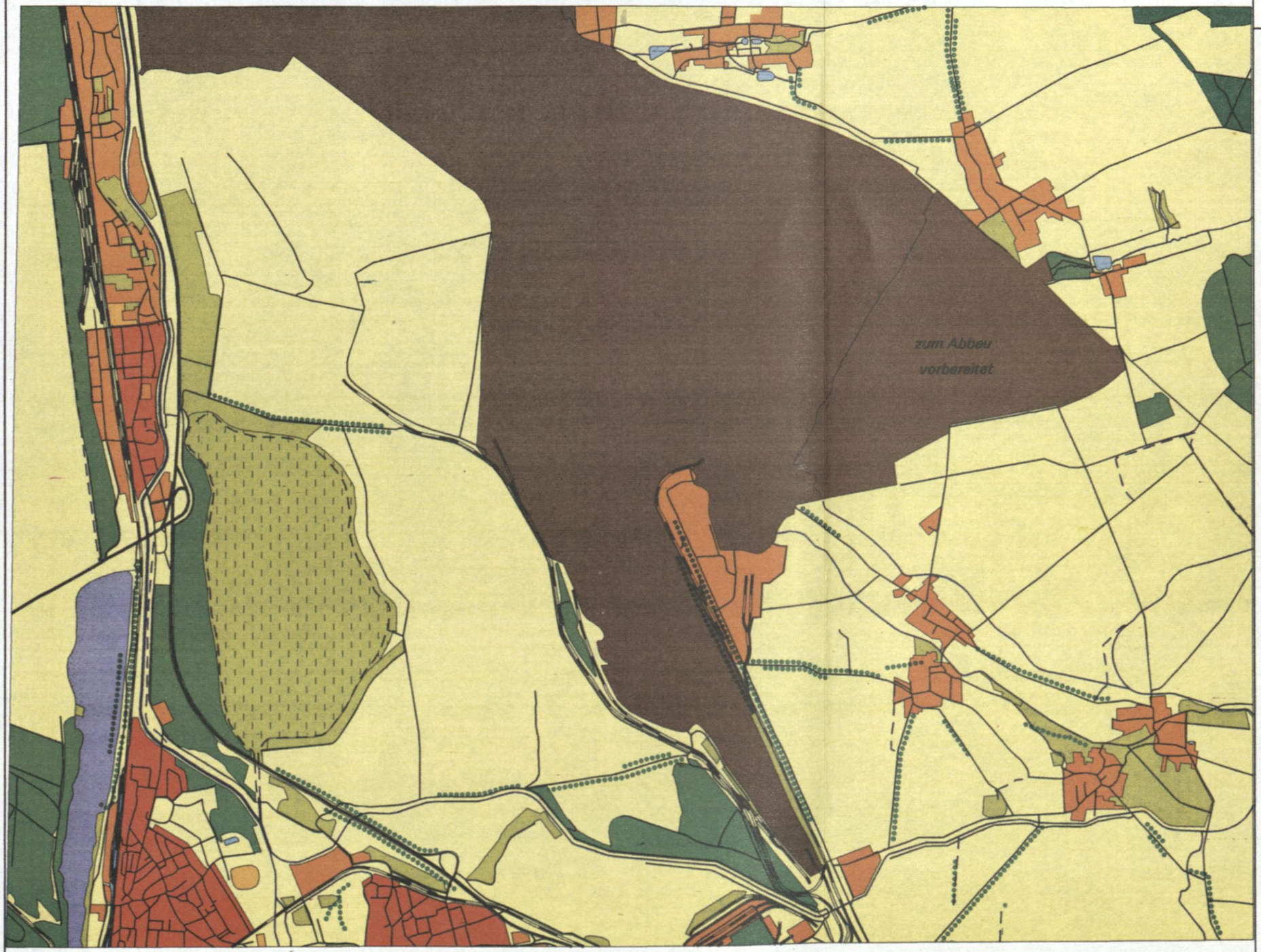
Inhaltliche Bearbeitung:
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
A. Lausch, Dr. U. Steinhardt, Dr. F. Herzog, Dr. E. Müller

Kartographie und Geographisches Informationssystem (GIS):
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
AG Geoinformation
Dr. A. Kindler, S. Lehmann

Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Untersuchungsraum Espenhain
Flächennutzung 1989

1 : 30 000



Legende

- See, Teich
- Laubwald
- Nadelwald
- Mischwald
- Gebüsch
- Baumschule
- Dauergrünland
- Periodisch überflutetes Grünland
- Ackerland
- Park
- Bebaute Fläche (ländl.)
- Bebaute Fläche (städt.)
- Freizeiteinrichtung
- Offener Tagebau
- Steinbruch, Grube
- Spülkippe

- Eisenbahn
- Straße
- Weg
- Fluß
- Graben, Bach
- Trockener Graben
- Baumreihe, Allee
- Hecke

Darstellung auf der Grundlage der topographischen Karte 1 : 25 000 (N),
Blatt 4740 Leipzig Süd, Ausgabe 1992, mit Genehmigung
des Landesvermessungsamtes Sachsen; Genehmigungsnr. DN d 51/96.
Änderungen und thematische Erweiterungen durch den Herausgeber.
Jede weitere Vervielfältigung bedarf der Erlaubnis des
Landesvermessungsamtes Sachsen.

Inhaltliche Bearbeitung:
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
A. Lausch, Dr. U. Steinhardt, Dr. F. Herzog, Dr. E. Müller

Kartographie und Geographisches Informationssystem (GIS):
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
AG Geoinformation
Dr. A. Kindler, S. Lehmann

Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

5.4.3 Tagebau Borna-Ost / Bockwitz - Ansätze zur Durchführung eines Monitoring in der Bergbaufolgelandschaft

Angela Lausch & Annett Bellmann

Problemsituation und Zielstellung

Kohleabbau sowie die anschließende agrarische und forstliche Rekultivierung sind mit einer starken Einflußnahme auf abiotische und biotische Parameter einer Region verbunden. In Braunkohlenbergbaugebieten werden wegen der großräumigen Landschaftszerstörung die Regulationsmechanismen des Landschaftshaushaltes teilweise oder gar völlig zerstört. Durch mechanische und hydrologische Senkungserscheinungen als Folge des Braunkohlenabbaus werden Bodenmosaik und regionale Bodenfeuchte bzw. -verteilung verändert. Diese Änderung abiotischer Parameter zieht Strukturänderungen biotischer Parameter nach sich. Die Bergbaufolgeflächen werden von einer den Gleichgewichtszustand anstrebenden Dynamik erfaßt, die zu neuen physisch-geographischen Zuständen hinleitet (BARTHEL, 1964).

Im Ballungsgebiet Leipzig-Halle wurden in den letzten hundert Jahren ca. 600 km² Fläche durch den Braunkohlenbergbau beansprucht. Folgen dieser Nutzung waren große vegetationsarme Restflächen in Form von Tagebauen, Restlöchern, Kippen und Halden. Von diesen Flächen wurden bisher ca. 50 % einer geordneten Nachnutzung zugeführt.

Neben den Resten der noch erhaltenen alten Auen (Pleiße- und Elsteraue) wurden durch die Abbautätigkeit erd- und naturgeschichtlich hochinteressante Aufschlüsse ans Licht gebracht, die nicht nur Probleme sondern auch Potentiale mit sich bringen. Aufgrund von standörtlicher Heterogenität, Dynamik und zum Teil geringer menschlicher Einflußnahme konnten sich spontane Sukzessionen und Biozönosen herausbilden, die in den sonstigen, meist intensiv genutzten Landschaften kaum Platz finden. So entwickelten sich besonders in dem ehemaligen Braunkohlentagebau Borna-Ost / Bockwitz durch Prozesse der natürlichen Sukzession für den Naturschutz wertvolle Bereiche, die Grundlage für die Ausweisung als Vorranggebiet für Natur und Landschaft sind.

Besonders im Bergbaugebiet unterliegen ökologische Prozesse einer hohen Dynamik. Um diese Veränderungen zumindest teilweise zu steuern, muß der Prozeß der Entstehung, Veränderung und Erhaltung ökologisch wertvoller Bereiche in der Bergbaufolgelandschaft erfaßt, dokumentiert und verglichen werden. Aufgrund der Großräumigkeit sowie der zumeist bestehenden Unzugänglichkeit zahlreicher Kippengebiete müssen zusätzlich zu den existierenden Erfassungs- und Analysemethoden Verfahren entwickelt werden, die ein Monitoring devastierter Bergbaufolgelandschaften ermöglichen.

Hierzu bieten sich Verfahren der Geoinformation (geographisches Informationssystem (GIS) und Fernerkundung) an, mit denen flächenhafte und punktuelle Daten für die Erfassung, Analyse und Bewertung sowie für die Durchführung eines Monitorings verarbeitet werden können.

Im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz wurden neben terrestrischen Untersuchungen der Einsatz dieser Methoden zur Erfassung und Analyse ökologischer Parameter mit der Zielsetzung des Aufbaus eines Umweltmonitorings devastierter Gebiete getestet.

Das Untersuchungsgebiet Tagebau Borna-Ost / Bockwitz

Lage und naturräumliche Gliederung

Das Gebiet des Tagebaus Borna-Ost / Bockwitz liegt zwischen den Ortschaften Kesselshain und Eula (Norden), Schönau (Osten), Bubendorf (Süden) und Zedlitz sowie Borna im Westen. Das gesamte Gebiet des Tagebaus (Abbau- und Verkippungsgebiet) erstreckt sich in Nord-Süd-Richtung auf ca. 7,5 km und in Ost-West-Richtung auf ca. 3 km Länge. Das Untersuchungsgebiet gehört administrativ zum Kreis Leipziger Land. Naturräumlich gesehen liegt es im Süden des Leipziger Landes am Grenzbereich zum Altenburg-Zeitzer-Lößhügelland. Charakteristisch hierfür ist das nur geringfügige Relief der Pleistozänplatten, die geringmächtige, aber nahezu geschlossene Sandlößdecke sowie eine beachtliche Heterogenität der Bodendecke. Ebene bis flachwellig vorherrschende Oberflächenformen prägen das Relief des Untersuchungsgebietes, welches an seiner höchsten Erhebung 169 m NN bzw. an seiner niedrigsten Stelle 140 m NN aufweist.

Tagebaubetrieb und Folgelandschaft

Der Tagebaubereich Borna-Ost / Bockwitz wird seit ca. drei Jahrzehnten durch den Braunkohlenbergbau geprägt (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN, REGIONALE PLANUNGSSTELLE - REFERAT BRAUNKOHLENPLANUNG, 1996). Der hierdurch entstandene Gesamtentzug von Flächen durch die beiden Tagebaue beläuft sich auf 1 432,8 ha und gliedert sich wie in Tabelle 1 dargestellt folgendermaßen auf:

Tab. 1: Inanspruchnahme von Land im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz 1996 (Quelle: SANIERUNGSRAHMENPLAN TAGEBAU BORNA-OST / BOCKWITZ, 1996)

Inanspruchnahme von Land	ha
• ***Inanspruchnahme von Land (gesamt)***	1432,80
landwirtschaftliche Nutzfläche	1189,30
forstwirtschaftliche Nutzfläche	179,30
sonstige Flächen einschl. Wasserflächen	64,20
• ***Betriebsfläche (gesamt)***	582,60
• ***Wiedernutzbarmachung (gesamt)***	850,20
landwirtschaftliche Nutzfläche	513,30
forstwirtschaftliche Nutzfläche	195,60
Wasserflächen	65,30
sonstige Flächen	76,30

Potentiale in einer Tagebauregion

Trotz langjähriger Devastierungsprozesse kann die Bedeutung von Bergbaufolgeflächen für den Artenerhalt in unserer ausgeräumten Kulturlandschaft bereits durch zahlreiche durchgeführte Arbeiten in den unterschiedlichsten Bergbauregionen nachgewiesen werden (WIEDEMANN, 1991; HÖSER, 1993; DONATH, 1994; JENTSCH, 1994; DURKA et al., 1996).

Nachfolgende Auflistung zeigt die Bedeutung der Bergbaufolgelandschaft für den Naturschutz im Südraum von Leipzig (verändert nach DURKA et al., 1996):

1. Lebensraum

- Lebensraumerweiterung für alle Arten
- Hohe Verbreitung euryöker und regional verbreiteter Arten
- Refugium für Arten, deren Habitate außerhalb der Bergbaugebiete liegen
- Erfüllung von Habitatansprüchen für stenöke Arten, die besonders in der Bergbaufolgelandschaft realisiert werden können

2. Möglichkeiten der Sukzessionsentwicklung

- Natürlich ablaufende Sukzessionen über lockere Pioniergesellschaften zu Magerrasen und Staudenfluren
- Längerfristiges Vorkommen von Offenlandarten durch ein verzögertes Wachstum
- Hohe raum-zeitliche Heterogenität von Standorten
- Hohe Struktur- und Artenvielfalt im Sukzessionsverlauf (längerfristiges Vorkommen stenöker Offenlandarten)

3. Folgende Charakteristika der Bergbaufolgelandschaft spielen hierbei eine große Rolle:

- Nährstoffmangel
- Humusarmut
- Schwache biologische Aktivität
- Schwankende pH-Werte
- Ungünstige abiotische Bedingungen (saure, tertiäre Substrate, trockene Sande und Kiese)
- Starke standörtliche Heterogenität (vertikal und horizontal)
- Zum Teil starker Wechsel im Relief (exponierte Geländeerhebungen, Senken)
- Hohe Dynamik geomorphologischer Prozesse (Erosion und Hangrutschungen)
- Starke Dynamik unterschiedlicher Habitate (hohe Morphodynamik)
- Hohe Zahl unterschiedlicher, relativ seltener Habitattypen (offene Rohböden, sonnige Tümpel, Offenlandbereiche)
- Weiträumigkeit mit nur geringfügigen Zerschneidungsprozessen
- Noch relativ geringer anthropogener Einfluß in den zentralen Bereichen der Bergbaufolgelandschaft

Ausgehend von der Bedeutung der Bergbaufolgelandschaft wurde von PLACHTER (1991) das übergeordnete Leitbild der „Vielfalt an Standortbedingungen und Sukzessionsstadien" in der Bergbaufolgelandschaft abgeleitet. Für den Südraum von Leipzig ergeben sich nach Untersuchungen von DURKA et al. (1996) zwei komplementäre Leitbilder. Es sind dies zum einen die Erhaltung von Offenlandbereichen und zum anderen ungestörte Sukzession.

Eine Realisierung dieser Zielstellung erfordert nun eine systematische Erfassung und Analyse der für die Leitbilder relevanten Einflußfaktoren. Hier jedoch liegt eines der größten Probleme der Naturschutzpraxis. Bisher ist eine Erfassung, Analyse und Kontrolle zahlreicher bedeutsamer Biotope nur mit hohen personellen und finanziellen Aufwendungen möglich. In der Bergbaufolgelandschaft kommt erschwerend hinzu, daß ein Großteil der Gebiete wegen Gefahren, die durch Hangrutschung und Absenkungen entstehen, nicht betreten werden darf, was eine Unterschutzstellung wertvoller Biotope durch Nichterfassung nach sich zieht. Es besteht somit in zahlreichen Gebieten die Gefahr, daß infolge von Rekultivierungsarbeiten (z.B. Aufforstung, Schaffung neuer landwirtschaftlicher Nutzflächen) Flächen für naturschutzrelevante Ziele verloren gehen.

Derzeit werden Versuche unternommen, dieses Problem der Großräumigkeit und Unzugänglichkeit devastierter Gebiete durch den Einsatz der Fernerkundung zu umgehen.

Methoden

Floristische Untersuchungen im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz

Die Kartierung der Biotoptypen in der Tagebauregion Borna-Ost / Bockwitz (vgl. Farbabb. 3) erfolgte mit Hilfe von Color-Infrarot-Luftbildern (CIR-Luftbilder), die aus einer UFZ eigenen Befliegung des Jahres 1994 im Maßstab 1 : 26 000 zur Verfügung stehen. Mit Hilfe des Luftbild-Stereointerpretationsgerätes Visopret wurden die Biotoptypen im Luftbild interpretiert und abgegrenzt. Diese Abgrenzung ermöglicht eine gezieltere Durchführung der Geländeerhebungen.

Die vegetationskundlichen Untersuchungen (vgl. BELLMANN, 1996) erfolgten nach der Methode von Braun-Blanquet als Artmächtigkeitsschätzungen. Bei geringen Deckungswerten (<5 %) wird die Abundanz, bei höheren Deckungsgraden (>5 %) die Dominanz bewertet. Die Auswahl der Aufnahmeflächen richtete sich nach den von DIERßEN (1990) formulierten Grundsätzen von Homogenität und Artenvollständigkeit, soweit es die oft sehr heterogenen Standortverhältnisse zuließen. In floristisch und strukturell unterscheidbaren Pflanzenbeständen erfolgten Vegetationsaufnahmen. Um repräsentative Artenbestände zu erfassen, wurde bei der Ermittlung der zur Aufnahme benötigten Flächengröße die Methode des Minimumareals angewandt. Für die Waldflächen wurde eine Größe von 100 m² bzw. bei einer hohen Artenvielfalt von 200 m² gewählt. Die Aufnahmegröße für Ruderalgesellschaften und Röhrichte betrug fast einheitlich 16 m², nur in wenigen Fällen lag die Flächengröße bei 4 m². Von August bis September 1994 wurden 75 Flächen aufgenommen.

Um Auswertungen vegetationsbezogener Daten in einem GIS durchführen zu können, wurden die Grenzen der Biotoptypen am Visopret (CAD-System Mikrostation) digital erfaßt. Da sich bei der Anbindung der Datenbank an ein CAD-System zahlreiche Probleme ergeben können, erfolgte eine Transformation der erstellten Karte in das GIS-System Arc/Info. Für die Integration der für den Tagebau Borna-Ost / Bockwitz vorliegenden, terrestrisch erfaßten, vegetationsbezogenen Daten in das GIS wurde eine Datenbank entwickelt, die sich inhaltlich an die Kartieranleitung „Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands“ (RIECKEN et al., 1994) anlehnt.

Nach Aufarbeitung des digitalen Materials in unterschiedlichen Ebenen können die vorliegenden Daten für Analysen und Modellierungen genutzt werden.

Erstellung von Höhenmodell, Orthophoto und Movie

Zur Erfassung wichtiger reliefbezogener Parameter im Tagebau ist die Erstellung eines Höhenmodells erforderlich.

Das Höhenmodell sowie das Orthophoto für den Tagebau Borna-Ost / Bockwitz wurden mit Hilfe des Programms Erdas-Imagine/Orthomax erstellt. Die für den Tagebau vorliegenden drei Luftbilder mit einer Überlappung von 60 % wurden mit einer Auflösung von 1200 dpi farbig gescannt. Die Berechnung des digitalen Geländemodells (DGM) erfolgte unter vorheriger Paßpunkteingabe und innerer Orientierung der Luftbilddaten vollautomatisch mit einer Maschenweite von 5 Metern in x, y und z Richtung. Nach der Datenkorrektur und dem Zusammenschneiden (Mosaik) von Teilen des DGM zu einem DGM für den gesamten Tagebau wurde die Berechnung des Orthophotos mit einem Meter Rasterweite interpoliert. Anschließend wurden Überlagerungen der verschiedenen Datenebenen DGM, Orthophoto, Flächennutzungskartierung sowie der Vegetation durchgeführt. Nach der Durchführung der Überlagerung des Höhenmodells mit dem Orthophoto wurden ca. 60 Einzelbilder unterschiedlicher

Standorte und Höhen als Einzelbilder abgespeichert, um sie in einer Animation als Sequenz ablaufen lassen zu können.

Ergebnisse und Diskussion

Floristische Untersuchungen

Durch die im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz vorliegenden unterschiedlichen Substrateigenschaften, Mikroklima, Wasserverhältnisse sowie Sukzessionsdauer konnte sich ein vielfältiges Vegetationsmosaik herausbilden. Dokumentiert und erfaßt wurde der Zustand des Untersuchungsgebietes im Frühjahr 1995. Aufgrund der Sukzession sowie des permanenten Grundwasseranstieges ist mit einer relativ schnellen Veränderung der Vegetationsflächen im Tagebau zu rechnen. Folgende prozentuale Aufteilung der Flächen ergab sich für den Tagebau Borna-Ost / Bockwitz:

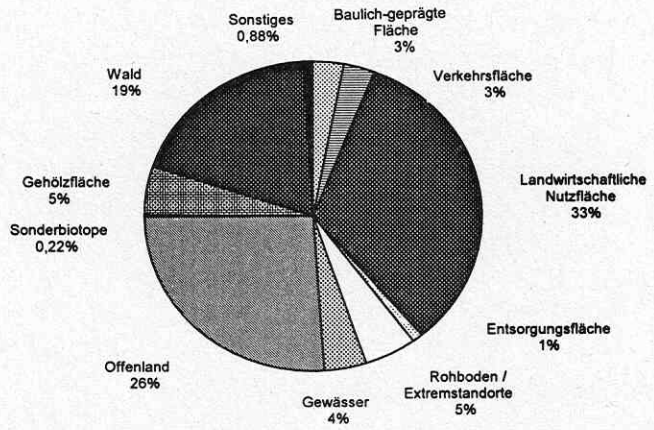


Diagramm 1: Flächennutzung im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz 1995 [%]

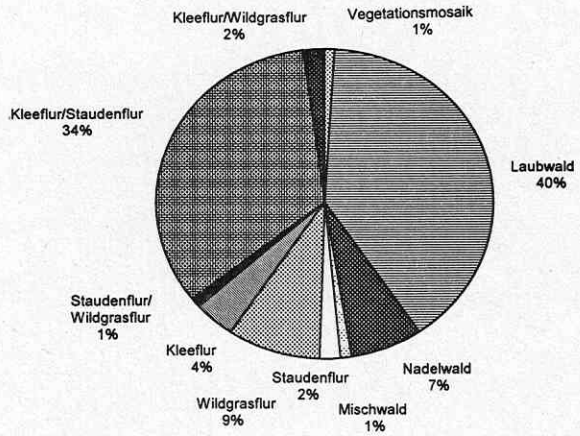


Diagramm 2: Vegetation im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz 1995 [%]

Höhenmodell, Orthophoto und Movie

Das Höhenmodell für den Tagebau Borna-Ost / Bockwitz ermöglicht Aussagen zu notwendigen abiotischen Parametern. Wichtige Parameter zur Modellierung ökologischer Prozesse im Tagebau sind Höhen, Hanglängen, Aussagen zur Exposition sowie Erosionsgefährdung.

Aufgrund der relativ ungünstigen Datenlage in Tagebaugebieten bieten sich zur Erstellung eines Höhenmodells zwei Datengrundlagen an.

Höhenmodell aus CIR-Stereoluftbilddaten (Maßstab 1 : 26 000)

Die Berechnung des Höhenmodells aus Stereoluftbilddaten stellt eine gute Alternative der DGM-Erstellung im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz dar. Der personelle Aufwand ist relativ gering. Große Probleme bereitet die anfallende Datenmenge von 193 Mbytes für ein in Farbe gescanntes CIR-Luftbild bei einer Scannauflösung von 1200 dpi. Durch die hohe Datenmenge kann der Speicherplatz zum limitierenden Faktor werden. Die im Modell berechneten Höhendaten müssen weiterhin aufgrund von Reflektionserscheinungen im CIR-Luftbild nachträglich korrigiert bzw. teilweise durch Neueingagbe von Höhendaten interpoliert werden. Hierdurch wird der Fehler im Modell vergrößert, was zu einer höheren Gesamtungenauigkeit gegenüber dem aus Markscheiderdaten berechneten Höhenmodell führt. Ein weiteres Problem bei der Erstellung eines DGM's ist, daß es sich bei dem vorliegenden Modell nicht um Höhenangaben in m über NN, sondern um Höhen der Geländeoberfläche handelt, die die Höhen der Vegetation, Gebäude u.a. mit einschließt. Es handelt sich somit um ein Geländeoberflächenmodell. Mit Hilfe des vorliegenden DGM können nun Sekundärdaten (Hangneigung, Exposition, Erosionsgefährdung) abgeleitet werden.

Höhenmodell aus Punktdaten - Vermessungsdaten der Markscheiderei

(Maßstab 1 : 2 000)

Diese gemessenen Höhendaten liegen in einem Abstand von ca. 20 m als Einzelpunktdaten vor. Der Aufwand ihrer digitalen Umsetzung ist recht hoch. Sie sind daher zur Erstellung eines DGM's einer größeren Region nur bedingt geeignet.

Die Genauigkeit dieser Punktdaten ist als recht hoch einzuschätzen, sie wurden daher zu Vergleichs- bzw. Korrekturzwecken verwendet.

Das im Projekt berechnete Orthophoto stellt ein Luftbild dar, welches über das bereits vorliegende Höhenmodell entzerrt vorliegt. Das Orthophoto besitzt somit die gleiche geometrisch definierte Projektion wie eine topographische Karte und stellt somit als topographischer Hintergrund für Vegetationserfassungen eine wichtige Grundlage dar. Im Vergleich zu topographischen Karten enthält es die Information eines Luftbildes und ist im Vergleich zum ursprünglich aufgenommenen CIR-Luftbild geometrisch entzerrt.

Um eine optimale Darstellung des Höhenmodells für den Tagebau zu erreichen, können Reliefbilder genutzt werden. Folgende Überlagerungen unterschiedlicher Informationsebenen liegen vor:

- Höhenmodell überlagert mit Orthophoto (Farbabb. 1 und 2)
- Höhenmodell überlagert mit Karte „Flächennutzung“ (Farbabb. 3)
- Höhenmodell überlagert mit Karte „Vegetationskartierung“ (Farbabb. 3).

Diese Überlagerungen (Farbabb. 1, 2, 3) ermöglichen einerseits eine rein visuelle Interpretation des Geländes. Es kommen somit unterstützend zur Vegetationskartierung Angaben zur Geländehöhe hinzu, die in weiteren Modellierungsschritten Analysen zu Vorranggebieten für Offenland und sonnenexponierte Trockenstandorte erlauben. Mit der Überlagerung von zwei Datenebenen (DGM und Orthophoto) besteht die Möglichkeit, zahlreiche Einzelbilder (Farbabb. 2) von unterschiedlichen Standorten und unterschiedlichen Betrachtungshöhen bzw. -winkeln zu erfassen und nachfolgend in einem Film ablaufen zu lassen.

Hierbei stellt sich nun die Frage: Ist ein Movie Teil von Wissenschaft und Planung oder nur Spielerei?

Die Möglichkeit, mittels Computersimulation über den Tagebau zu „fliegen" kann derzeit folgende Zielrichtungen verfolgen:

- Orientierung im Gelände (besonders in nicht zugänglichen Problembereichen des Tagebaus)
- Möglichkeit visueller Interpretation - Offenlandbereiche, Gehölzflächen, Strauchvegetation, Sukzessionsflächen, bebaute Flächen
- Darstellungsmittel für Planungszwecke
- Öffentlichkeitsarbeit (Naturschutzverbände, Umweltbehörden)

Derzeit existieren die Möglichkeiten noch nicht in genügendem Umfang, GIS-Analysen in überlagerten Bildern (DGM-Orthophoto, DGM-Vegetationskartierung) innerhalb ablaufender Movies durchführen zu können. Somit kann die vorliegende Animation in erster Linie als Beitrag für eine wirksame Öffentlichkeitsarbeit der Region verstanden werden.

Einsatz der Geoinformation für naturschutzfachliche Fragestellungen im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz

In Bergbauregionen, wie sie der Südraum von Leipzig darstellt, entsteht durch den langjährigen Devastierungsprozeß ein großer Bedarf nach einem Monitoring zur Analyse und Kontrolle von „neu" ablaufenden ökologischen Prozessen. Die Erfassung wichtiger vegetationskundlicher und zoologischer Daten stellt den Anfang einer Primärdatenerfassung zur Ausweisung wichtiger Schutzgebiete dar. Erste wichtige Arbeiten für den Tagebau Borna-Ost / Bockwitz liegen hierzu von BELLMANN (1996) sowie DURKA et al. (1996) vor. Diese zeigen den notwendigen Handlungsbedarf sowie die vorliegenden Potentiale landschaftsökologischer Vielfalt einer Bergbaufolgelandschaft. Aufgabe eines Monitorings der Tagebauregion ist es nun, die Vielfalt an unterschiedlichen Standortbedingungen und Sukzessionsstadien zu erfassen und in ihrer zeitlichen Veränderung zu analysieren, um hieraus notwendige Maßnahmen der Pflege und Sicherstellung ableiten zu können.

Geoinformationssysteme stellen bei sinnvoller Anwendung ein wichtiges, vielerorts bereits etabliertes und in Zukunft gängiges Werkzeug zur Unterstützung bei der Erfassung und Analyse von Primärdaten dar. Hierbei spielt besonders die Eigenschaft von Geoinformationssystemen gegenüber anderen abfrageorientierten Informationssystemen eine besondere Rolle, daß ein räumlicher Bezug von Sachdaten bzw. eine enge Integration von geometrischen und thematischen Attributen räumlicher Objekte vorliegt (BLASCHKE, 1995). Dadurch werden nach KIAS (1990) die Methoden der Fernerkundung hinsichtlich des Einsatzes für Untersuchungen in der Tagebauregion wichtig:

- Geoinformationssysteme als Instrument zur Datenhaltung sowie Darstellung,
- Geoinformationssysteme als Instrument zur Analyse, Bewertung, Simulation und Planung.

Im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz sind mit Hilfe eines Geoinformationssytems die Biotoptypen digital erfaßt. Nach Anknüpfung einer Datenbank liegen die vegetationskundlichen Daten nun vektoriell vor und können in unterschiedlichen Ebenen dargestellt werden (Farbabb. 3).

Schlußfolgerungen und Ausblick

In Bergbaufolgelandschaften besteht die dringende Notwendigkeit, flächenbezogene Daten unterschiedlichster Maßstabsebenen zu erfassen, auf aktuellem Stand zu halten sowie eine Auswertung und Analyse des Materials durchzuführen. Dies kann jedoch nur durch den Einsatz neuer Erfassungs- und Analysemethoden erreicht werden. Großräumigkeit sowie die fortschreitende hohe Dynamik von Bergbaufolgelandschaften erschweren den Einsatz von nur partiellen, stichprobenhaften Erfassungmethoden, aus denen sich nur bedingt eine Gesamtaussage für ein Gebiet ableiten läßt.

In diesem Zusammenhang muß jedoch darauf verwiesen werden, daß die Methoden der Geoinformation nicht als ein Ersatz für traditionelle Erfassungsmethoden verstanden werden dürfen, sondern ein Werkzeug zur Unterstützung und Lösung anfallender flächenhafter Probleme darstellen.

Mit der Erstellung von Höhenmodell, Orthophoto sowie der digitalen Umsetzung vegetationsbezogener Daten ist ein erster Beitrag zum Monitoring von devastierten Bergbaufolgelandschaften im Südraum von Leipzig geleistet.

Literatur:

BLASCHKE, T. (1995): Analyse und Bewertung eines Ökosystems mit GIS - Methodische Untersuchungen am Beispiel der bayerischen Salzachauen. Dissertation. - Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Salzburg, 223 S.

BARTHEL. H. (1964): Braunkohlentagebau und Landschaftsdynamik im Leipziger Land. - In: Exkursionsführer der Geographischen Gesellschaft der DDR, Leipzig, S. 19-27.

BELLMANN, A. (1996): Die Bedeutung der naturschutzrelevanten Zonen im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz für den Arten- und Biotopschutz. - Konzeption zur Entwicklung eines Naturschutzgebietes unter besonderer Beachtung natürlicher Sukzessionsflächen. Diplomarbeit. Martin-Luther-Univ. Halle, 97 S.

DIERßEN, K. (1990): Einführung in die Pflanzensoziologie. - Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt.

DONATH, H. (1994): Möglichkeiten des Naturschutzes und der Landschaftsentwicklung während der Bergbausanierung. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 2/1994, S. 16-19.

DURKA, W., M. ALTMOOS, A. LAUSCH, K. HENLE (1996): Landschaftsentwicklung und Biotopgestaltung in der Bergbaufolgelandschaft. Bedeutung von Bergbaufolgelandschaften für den Naturschutz unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen. - Abschlußbericht 1996 an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 174 S.

HÖSER, N. (1993): Naturschutz im Tagebau Zechau: eine Neuheit. - Mauritiana 12, S. 569-573.

JENTSCH, H. (1994): Das Naturschutzgebiet Sukzessionslandschaft Nebendorf. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 1/1994, S. 29-32.

KIAS, U. (1990): Überlegungen zur Aufbereitung biotopschutzrelevanter Daten für die Verwendung in der Raumplanung und deren Realisierung mit Hilfe der EDV. Ergebnisse aus der Fallstudie „Ökologische Planung Bündner Rheintal". - Zürich, (=Berichte zur Orts-, Regional- und Landesplanung Nr. 80).

PLACHTER, H. (1991): Naturschutz. - Fischer Verlag Stuttgart, 463 S.

REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN, REGIONALE PLANUNGSSTELLE - REFERAT BRAUNKOHLENPLANUNG (1996): Braunkohlenplan als Sanierungsplan für den Tagebau Borna-Ost / Bockwitz 1996, S. 1-40.

RIECKEN, U., A. SSYMAK (1994): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 41, 184 S.

SANIERUNGSRAHMENPLAN TAGEBAU BORNA-OST / BOCKWITZ (1996): Entwurf vom 09.08.1996, Regionaler Planungsverband Westsachsen, Regionale Planungsstelle - Referat Braunkohlenplanung (unveröffentlicht).

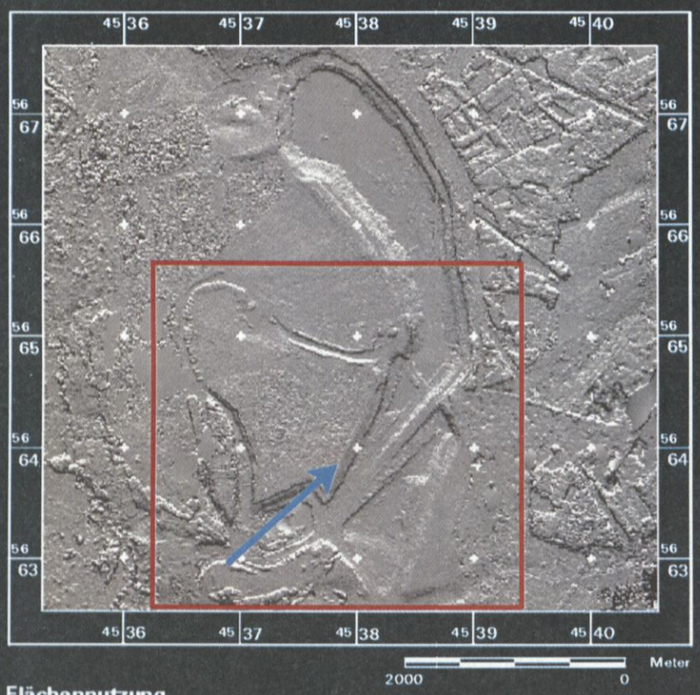
WIEDEMANN, D. (1991): Aufgaben und Probleme bei der Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften aus der Sicht des Naturschutzes. - Abh. d. sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, math.-nat. Klasse 57/3, S. 63-72.

Co-Autorin:

Dipl.agrar.-Ing. Annett Bellmann arbeitet an der ökologischen Station Borna-Birkenhain e.V. und schrieb ihre Diplomarbeit 1995/96 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg zum Thema „Die Bedeutung der naturschutzrelevanten Zonen im Tagebau Borna-Ost / Bockwitz für den Arten und Biotopschutz, Konzeption zur Entwicklung eines Naturschutzgebietes unter besonderer Beachtung natürlicher Sukzessionsflächen". Die Arbeit wurde von Dipl.-Biol. Angela Lausch an der Sektion Angewandte Landschaftsökologie des UFZ betreut.

Tagebau Borna-Ost / Bockwitz

Höhenmodell

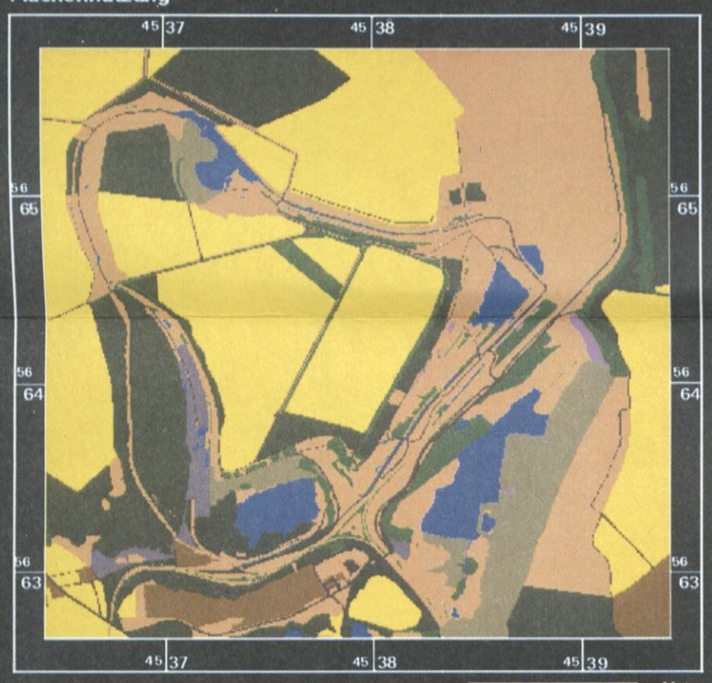


Höhenmodell mit überlagertem Orthophoto

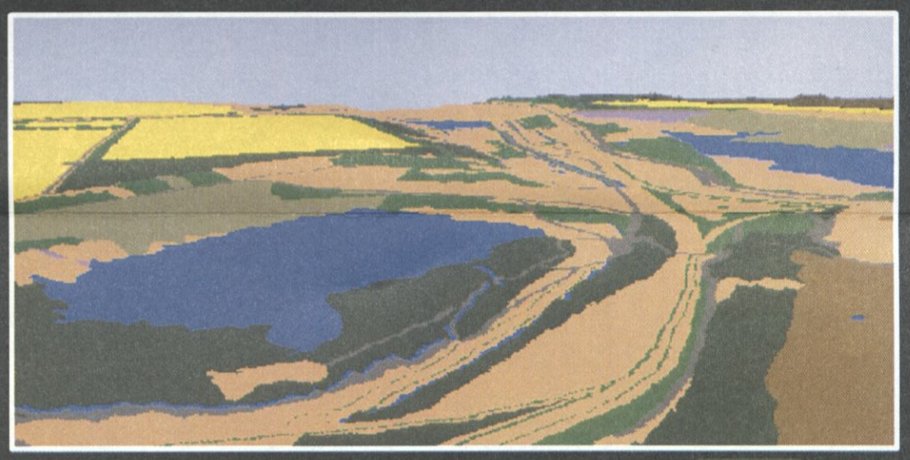
Bereich der Flächennutzungs- und Vegetationskartierung

Blickrichtung

Flächennutzung

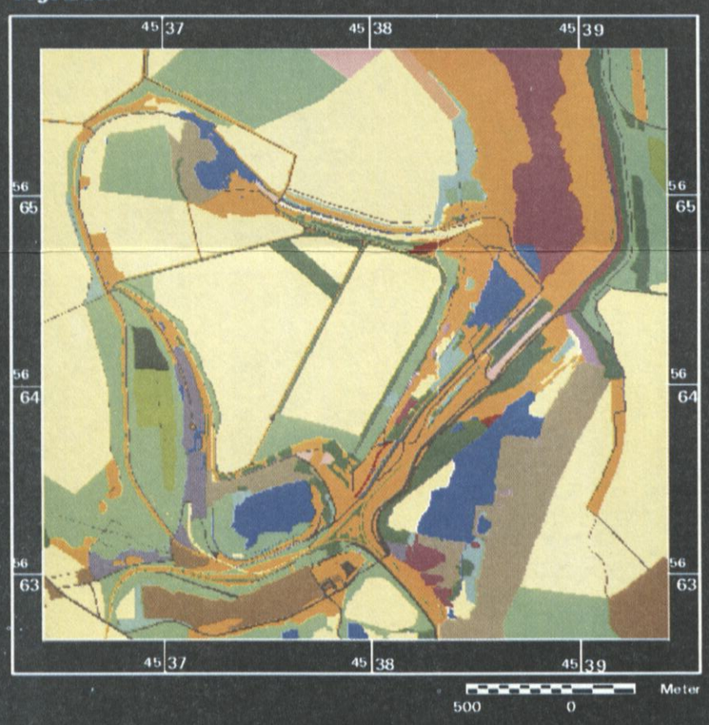


Höhenmodell mit überlagerter Flächennutzung



Baulich geprägte Fläche
Verkehrsfläche
Entsorgungsfläche
Landw. Nutzfläche
Rohboden / Extremstandorte
Gewässer
Offenland
Gehölzfläche
Wald
Sonderbiotope

Vegetation



Höhenmodell mit überlagerter Vegetation

Keine Erfassung
Laubwald
Nadelwald
Mischwald
Staudenflur
Vegetationsmosaik
Wildgrasflur
Kleeflur
Staudenflur
Kleeflur / Staudenflur
Rohboden / Extremstandorte
Gewässer
Gehölzfläche
Sonderbiotope
Baulich geprägte Fläche
Verkehrsfläche
Entsorgungsfläche

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bearbeitung und Kartographie: Dipl.-Biol. Angela Lausch

Datenbearbeitung / Programm

ERDAS-Imagine / Orthomax
Erstellung von Hohenmodell / Orthophoto
Scan-Auflösung der CIR-Luftbilder 1200 dpi
DGM - Maschenweite (x,y,z) 5 m
Ortho - Weite des Interpolationsgitters 1 m

Datenquelle

Luftbilder:
Hansa Luftbild GmbH Münster
UFZ-eigene Befliegung
Color-Infrarot-Aufnahmen, Juni 1994
Maßstab 1:25000

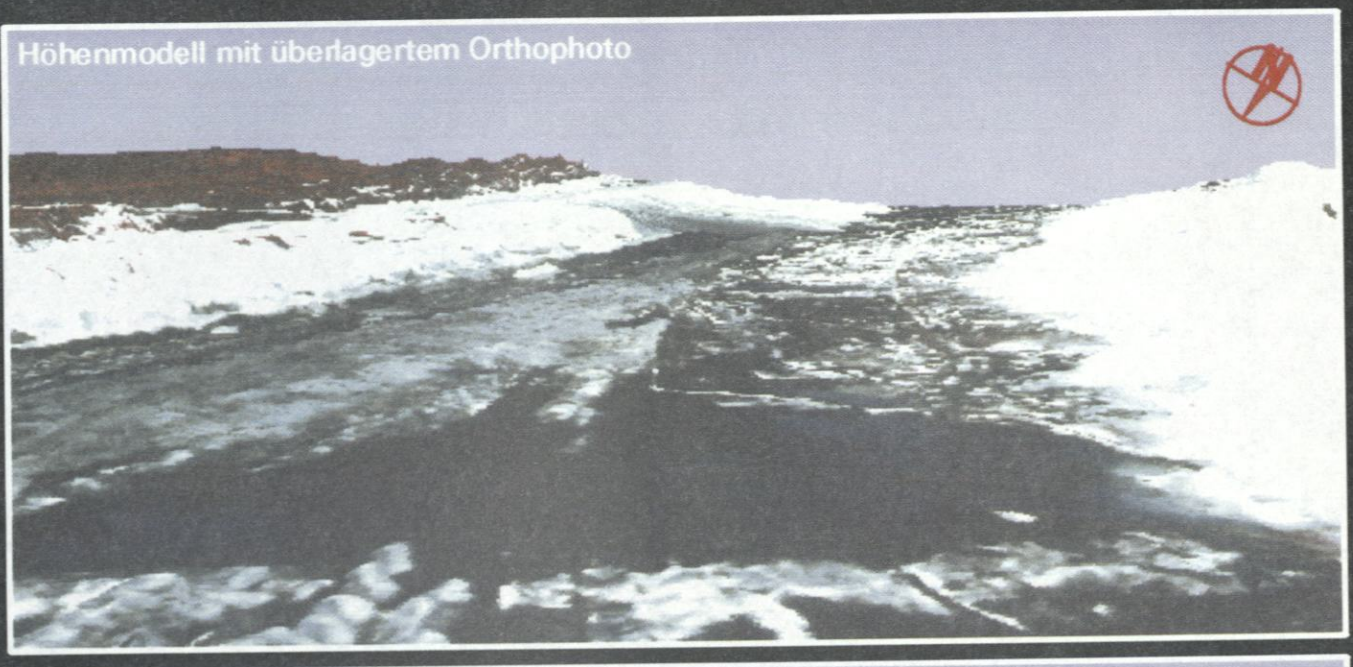
Kartierung

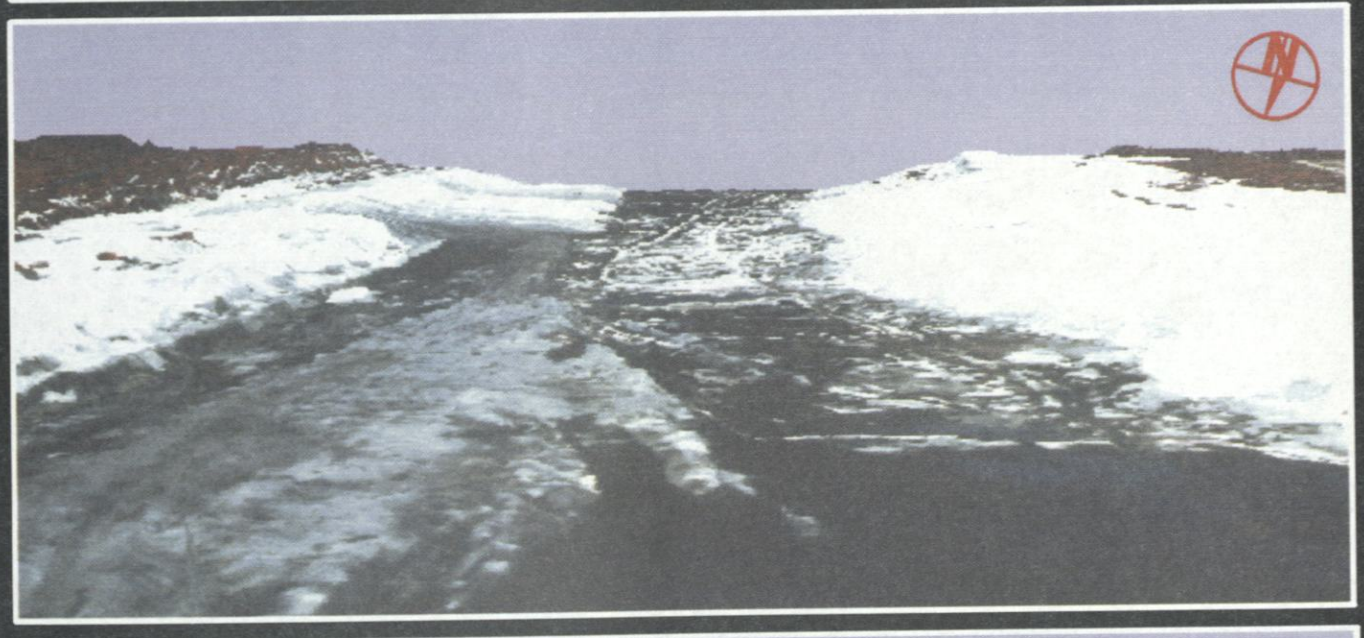
Flächennutzung und Vegetation
Annett Bellmann, 1995

Abb. 3

Tagebau Borna-Ost / Bockwitz

Höhenmodell mit überlagertem Orthophoto





Maßstab 1:6000

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Inhalt und Kartographie: Dipl.-Biol. A. Lausch

Datenbearbeitung / Programm

ERDAS-Imagine / Orthomax
Erstellung von Höhenmodell / Orthophoto
Scan-Auflösung der CIR-Luftbilder 1200 dpi
DGM - Maschenweite (x,y,z) 5 m
Ortho - Weite des Interpolationsgitters 1 m

Datenquelle

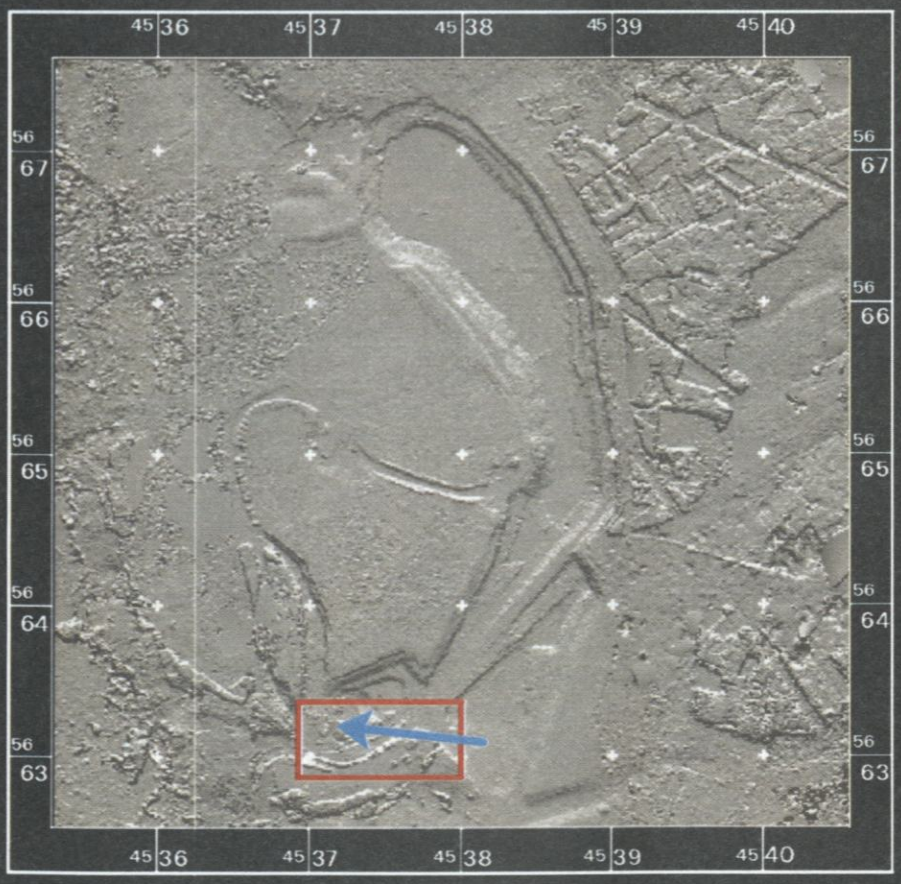
Hansa Luftbild GmbH Münster
UFZ-eigene Befliegung
Color-Infrarot-Aufnahmen, Juni 1994
Maßstab 1:25000

Abb. 2

Tagebau Borna-Ost / Bockwitz

Höhenmodell mit überlagertem Orthophoto

Höhenmodell



Legende

Gebietsausschnitt

Blickrichtung

Datenquelle

Hansa Luftbild GmbH Münster
UFZ-eigene Befliegung
Color-Infrarot-Aufnahmen, Juni 1994
Maßstab 1:25000

Datenbearbeitung / Programm

ERDAS-Imagine / Orthomax
Erstellung von Höhenmodell / Orthophoto
Scan-Auflösung der CIR-Luftbilder 1200 dpi
DGM - Maschenweite (x,y,z) 5 m
Ortho - Weite des Interpolationsgitters 1 m

Maßstab

1000 0 1000 Meter

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Inhalt und Kartographie: Dipl.-Biol. Angela Lausch

Abb. 1

6 Abkürzungen und Fachbegriffe

aktive Aufnahmesysteme	Aufnahmegeräte mit eigenen, künstlichen Strahlungsquellen, die den am Objekt reflektierten Strahlungsanteil registrieren
aparent temperature	siehe Strahlungstemperatur
Bessel-Ellipsoid	geodätisches Bezugssystem, das die Erde als Rotationsellipsiod mit einer großen Halbachse von 6377397 m, einer kleinen Halbachse von 6356079 m und einer Abplattung von 1:299,15 beschreibt; seit 1841 Grundlage der Landesvermessung in Deutschland
Bildverbesserung	Anwendung von z.B. Filteroperationen zur optischen Verbesserung eines Bildes
black body	siehe Schwarzer Körper
brightness temperature	siehe Strahlungstemperatur
CIR-Luftbilder	Color-Infrarot-Luftbilder (Farbinfrarot-Luftbilder)
DLR	Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.
DHM	digitales Höhenmodell
digitale Bildverarbeitung	computergestützte Bearbeitung von Satelliten- und Luftbilddaten; Entzerrungen, Bildverbesserung, Filteroperationen, Klassifikationen, GIS-Analysen, etc.
digitale Klassifikation	automatische Überführung der Grauwertinformation in eine thematische Information durch Klassenbildung
dpi	dots per inch = Anzahl der Punkte je 2.5 cm Auflösung einer Fläche durch Aufteilung in einzelne Bildpunkte [Maßeinheit]
Druschreife	Endphase bei der Getreidereife
Emissionsgrad	Der Emissionsgrad beschreibt die Strahlungsemission eines Körpers in Abhängigkeit von seinen Material- und Oberflächeneigenschaften. Er wird auch als Emissivität bezeichnet.
ERS	European Remote Sensing Satellite - europäischer Fernerkundungssatellit, Start von ERS-1 im August 1991

euryöke Arten	Arten mit relativ breitem Intensitätsspektrum gegenüber Umweltfaktoren (hoher Toleranzbereich)
Gebietswasserhaushalt	Wasserbilanz eines Gebietes mit den Grundgrößen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung (Evapotranspiration)
geometrische Entzerrung	Überführung eines Satelliten- oder Luftbildes in ein geometrisches Koordinatennetz - zweckmäßigerweise in eine Kartenprojektion - siehe Georeferenzierung
Georeferenzierung	Transformation von Daten in ein bestimmtes Bezugssystem / Koordinatensystem
grey body	Körper, der wie ein "Schwarzer Körper" jedoch auf geringerem Niveau emittiert
GIS	geographisches Informationssystem
Hemerobie	Grad des menschlichen Einflusses auf einen Standort im Vergleich zu seinem natürlichen Zustand, ursprünglich entwickelt zur Abstufung des menschlichen Einflusses auf Biozönosen und Ökosysteme (Natürlichkeitsgrad)
hierarchische Klassifikation	stufenweise ablaufende Klassifikation, die verschiedene Formen der Klassifikation, Maskierungen, Datengrundlagen etc. miteinander verknüpft
HRVIR	Haute Résolution Visible et Infra-Rouge
hyperspektrale Sensoren	sehr feine spektrale Auflösung durch eine Vielzahl von Kanälen nahe beieinanderliegender Spektralbereiche (z.B. Rosis - Sensor der DLR)
IHS	Farbhelligkeit (Intensity), Farbfrequenz (Hue), Farbsättigung (Saturation)
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
KFA	Kosmischer Fotoapparat
Klassifikation	Zuordnung der Pixel eines Satellitenbildes zu mehreren Klassen; Überführung des Satellitenbildes in eine thematische Karte
land-cover / surface-cover	Oberflächenbedeckung
land-use	Flächennutzung (funktionsbestimmt)

Landsat-TM-Szene	Bildprodukt des amerikanischen Satellitensystems Landsat-TM (sechs spektral unterschiedliche Kanäle von Blau bis mittleres Infrarot und ein Kanal im thermalen Infrarot)
Landschaftsraum	Aufgrund der Landnutzung und der Landbedeckung in Kombination mit dem Komplex der natürlichen Geokomponenten ausgewiesener geographischer Raum. Landschaftsräume sind die natürliche und gebaute Umwelt des Menschen und durch seine Wirtschafts- und Lebenstätigkeit wesentlich geprägt
layer	Ebene (z.B. Datenschicht, Informationsebene). Geometriedaten werden je nach thematischer Bedeutung in einem geographischen Informationssystem in verschiedenen Ebenen abgespeichert
LISS	Linear Imaging Self-Scanning Camera (zum Satelliten IRS gehörig)
Maske	digitales Ausblenden bestimmter Teile eines Bildes durch Belegung mit dem Grauwert 0. Dadurch Hervorhebung und alleinigen Betrachtungsmöglichkeit der verbleibenden Bereiche möglich.
Maximum-Likelihood-Klassifikation	Klassifikation nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit. Der Klassifikator berechnet aufgrund statistischer Kenngrößen der vorgegebenen Klassen die Wahrscheinlichkeiten, mit denen die einzelnen Bildelemente diesen Klassen angehören.
MESSR	Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer
MIR	Middle Infrared Radiometer
MIR - Station	Russische Raumstation (russ. Mir = Frieden; Welt)
Mischpixel	Pixel, dessen Grauwert sich aus der Information von verschiedenen Oberflächenstrukturen zusammensetzt
Mischsignatur	Grauwert, der aus mehreren Reflexionswerten ermittelt wird und keine eindeutige Zuordnung zu einer Klasse erlaubt
MKF	Multispektraler Kosmischer Fotoapparat
monosensoral	einen Sensor betrachtend
monospektral	einen Spektralkanal betrachtend - Graustufendarstellung

monotemporal	Landschaftsaufnahme zu einem einzigen Zeitpunkt
MOS	Marine Observation Satellite (Japan)
multisensoral	mehrere Sensoren betrachtend - zwei oder mehrere Sensoren werden überlagert, bzw. mittels einer Rechenoperation verknüpft
multispektral	mehrere Spektren umfassend, normalerweise in spektrale Kanäle gegliedert. Durch die technische Beschränkung auf drei Bildspeicher des Rechners ist die visuelle Darstellung eine Farbmischung dreier Spektralkanäle
multitemporal	Aufnahmen unterschiedlicher Zeitpunkte: mehrere Bilder eines Geländeausschnittes im Zeitvergleich
Naturraum	Nach Relief-, Boden-, Binnengewässer- und Klimaeigenschaften ausgewiesener geographischer Raum, dem eine spezifische, potentielle, natürliche Vegetation entspricht. Die zugehörigen Naturraumpotentiale stehen der menschlichen Gesellschaft als Naturdargebot zur Verfügung und sind eine unentbehrliche und zu schützende Lebensgrundlage des Menschen.
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index. Der NDVI beschreibt den Anstieg der Reflexion von roten zum nahen infraroten Wellenlängenbereich. Er dient als Maß der photosynthetischen Aktivität von Vegetation.
NIR	Near Infrared Radiometer
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOAA-AVHRR	polarumlaufender Wettersatellit mit radiometrisch hoch auflösendem Multispektralscanner (Advanced Very High Resolution Radiometer) - für Europa wichtigster NOAA - Sensor
Oberflächentemperatur	Temperatur, die sich aus der gemessenen Strahlungs-intensität bei bekanntem Emissionsgrad bestimmen läßt.
passive Aufnahmesysteme	Aufnahmegeräte, die die natürlich vorhandene Strahlung eines Objektes registrieren
Pixel	kleinste gerasterte Einheit, aus der sich ein Satellitenbild zusammensetzt; kleinste Einheit der räumlichen Trennbarkeit von Objekten (pixel: Wortschöpfung zusammengesetzt aus picture element)
RADAR	Radio Detection and Ranging

Raster-GIS-Verknüpfung	Kombination von Raster- und Vektordaten
Rasterdaten	Im Gegensatz zu Vektordaten bezieht sich die Rasterdarstellung ausschließlich auf Flächen. Das geometrische Grundelement ist das Pixel (Picture Element, Bildelement), welches zeilen- und spaltenweise in einer Matrix gleichförmiger quadratischer oder rechteckiger Elemente angeordnet ist und einheitliche Flächenfüllung aufweist. Rasterdaten kennen keine Unterscheidung nach Punkt, Linie oder Fläche, d.h. es existieren keine logischen Verbindungen zwischen den einzelnen Bildelementen. Rasterdaten enthalten lediglich Werte über Eigenschaften der Pixel (Grau- oder Farbwerte, Höhen, Emissionswerte u.a.).
Referenzmaterialien / -daten	Datenmaterial in Form von Karten, Statistiken, Bildern, etc. zur Verifizierung von z.B. Klassifikationen
RGB	Rot, Grün, Blau; drei Grundfarben der additiven Farbmischung
SAR	Synthetic Apperture Radiometer - SAR-Daten gehören zum europäischen Satelliten ERS- 1 / 2
Schwarzer Körper	ein hypothetischer Körper, der die gesamte Strahlung, die auf ihn auftrifft, absorbiert.
Selektiver Strahler	Körper, die die absorbierte Strahlungsenergie nur un-vollständig über das gesamte Spektrum wieder emittieren.
SPOT	Système Pour l'Observation de la Terre
Strahldichte	Strahlungsfluß, der auf ein Flächen- und Raumwinkelelement bezogen ist (radiance).
Strahlungsäquivalenttemperatur	siehe *Strahlungstemperatur.*
Strahlungstemperatur	Temperatur, die ohne Berücksichtigung des *Emissionsgrades* aus Strahlungsmessungen ermittelt wird.
TM	Thematic Mapper
Vektordaten	Unter Vektordaten wird die auf Punkten beruhende Beschreibung von raumbezogenen Objekten verstanden. Ihre Grundelemente sind der Punkt, die Linie und die Fläche. Ferner werden noch Nachbarschaftsbeziehungen angegeben wie z.B. Anfangs- und Endpunkt einer Linie sowie daran angrenzende Flächen.

Wärmeinsel	Gebiet mit vergleichsweise zur weiteren Umgebung höheren Temperaturen, besonders Stadtgebiete
ZOOM-Funktion	Ausschnittsvergrößerungen und -verkleinerungen direkt am Bildschirm

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Permoserstraße 15
D-04318 Leipzig

Ellen Banzhaf
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Telefon 0341/235-2166
Telefax 0341/235-2511

Hans Dieter Kasperidus
Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle
Telefon 0341/235-2282
Telefax 0341/235-2796