

3.1.2 Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen

Vera Heinz

Einleitung

Da heutzutage die städtische Raubeobachtung 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 Erkennen 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 widerspiegelt (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.

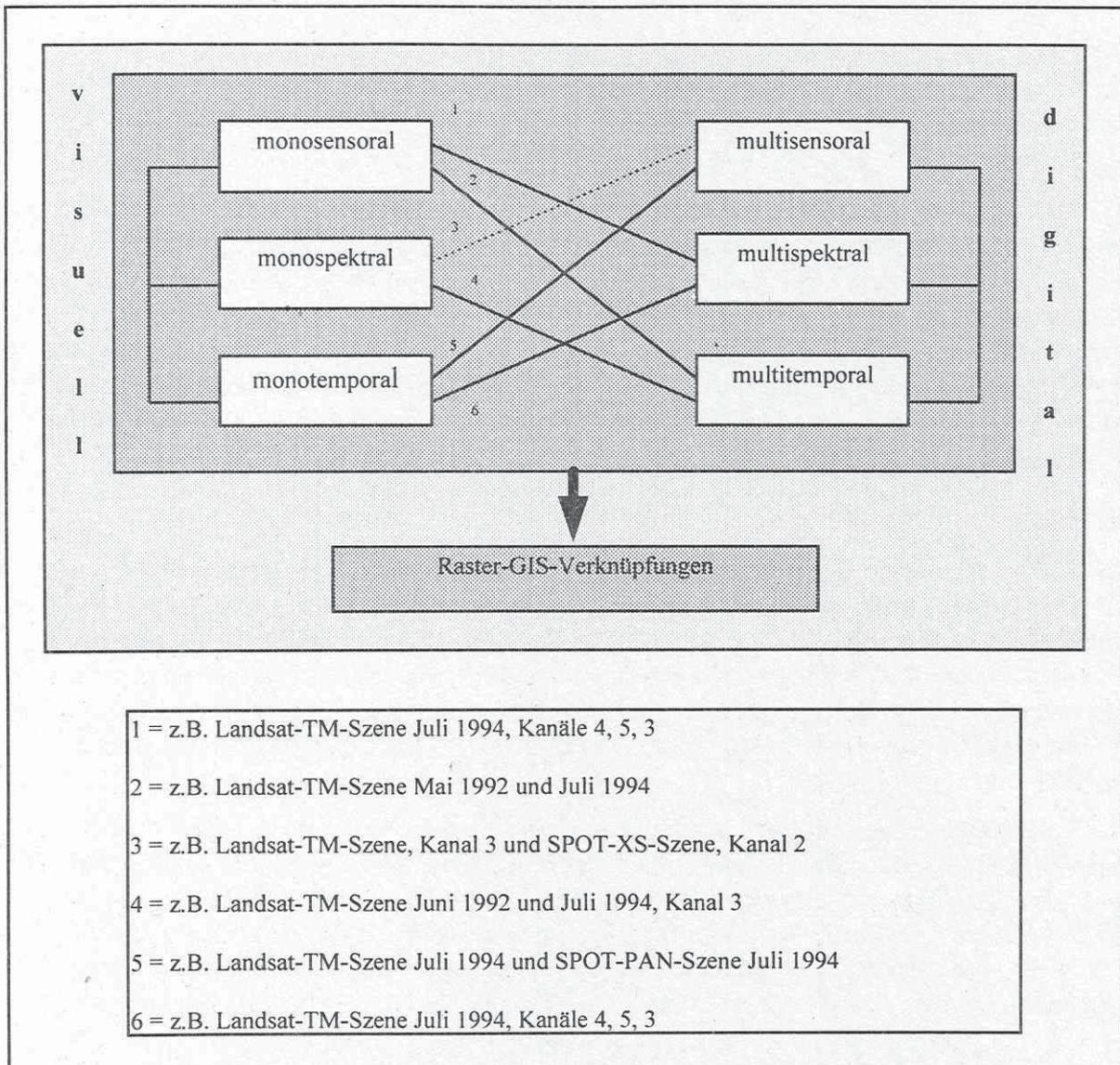


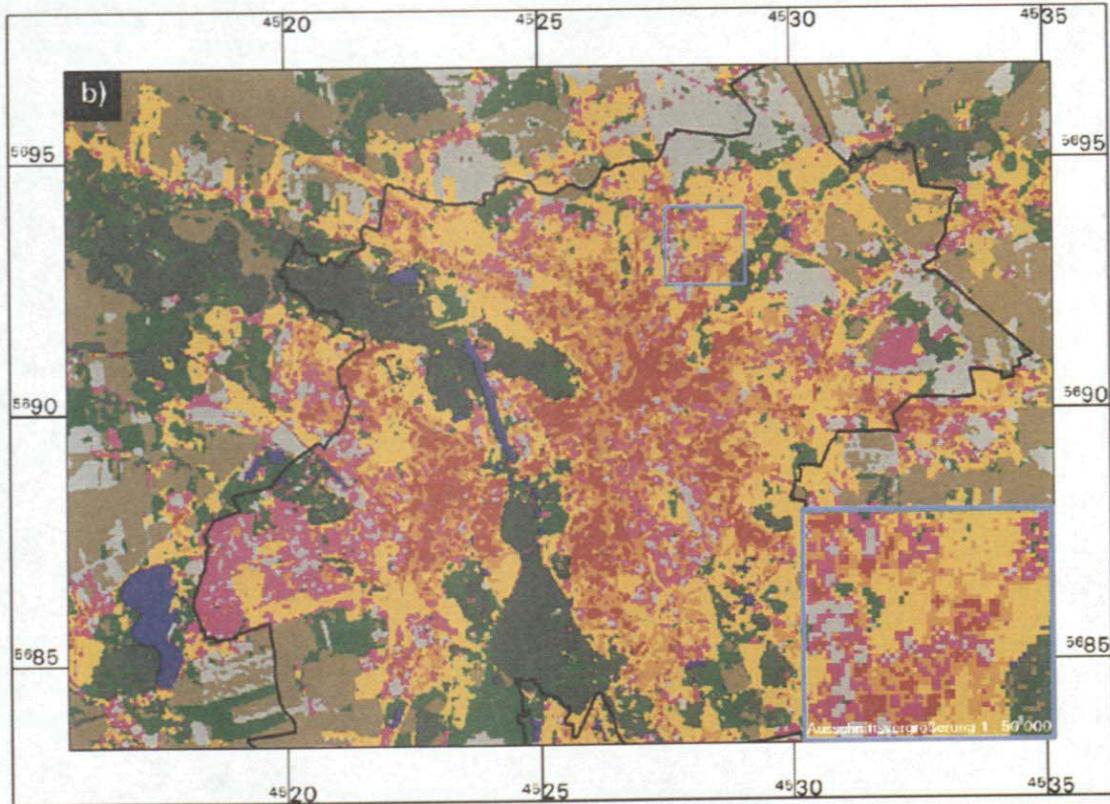
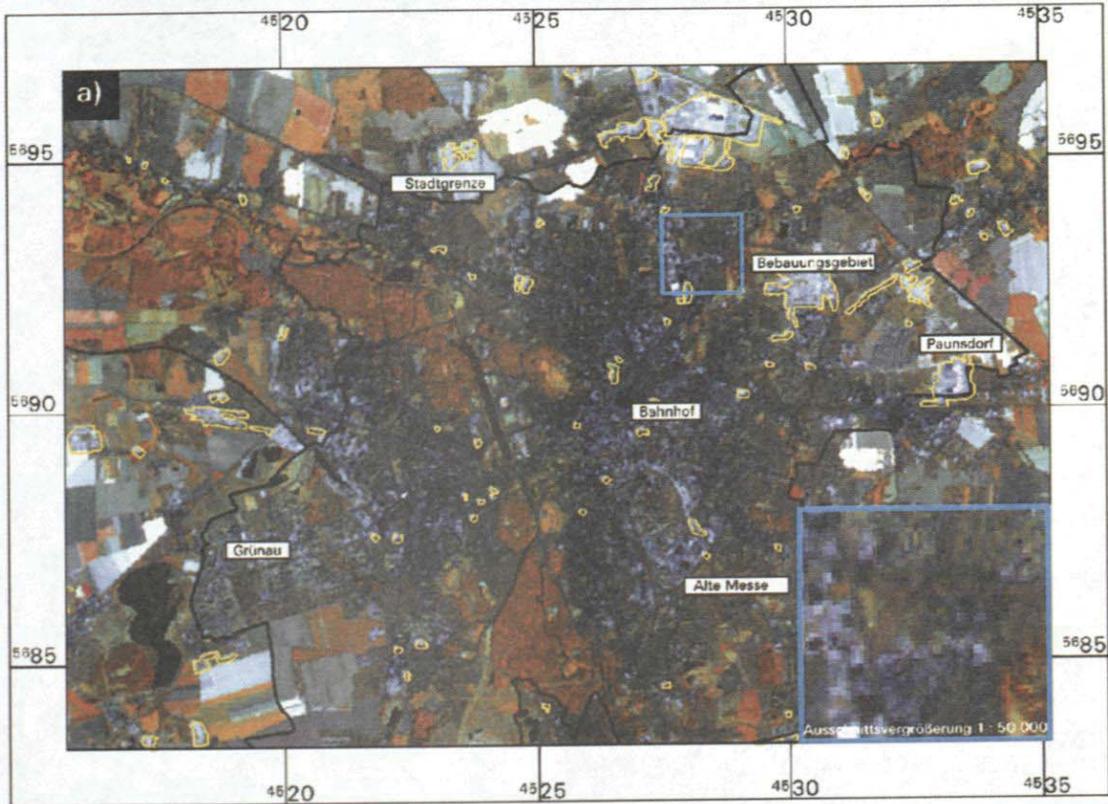
Abb. 1: Arbeitsweisen in der Fernerkundung

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



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).

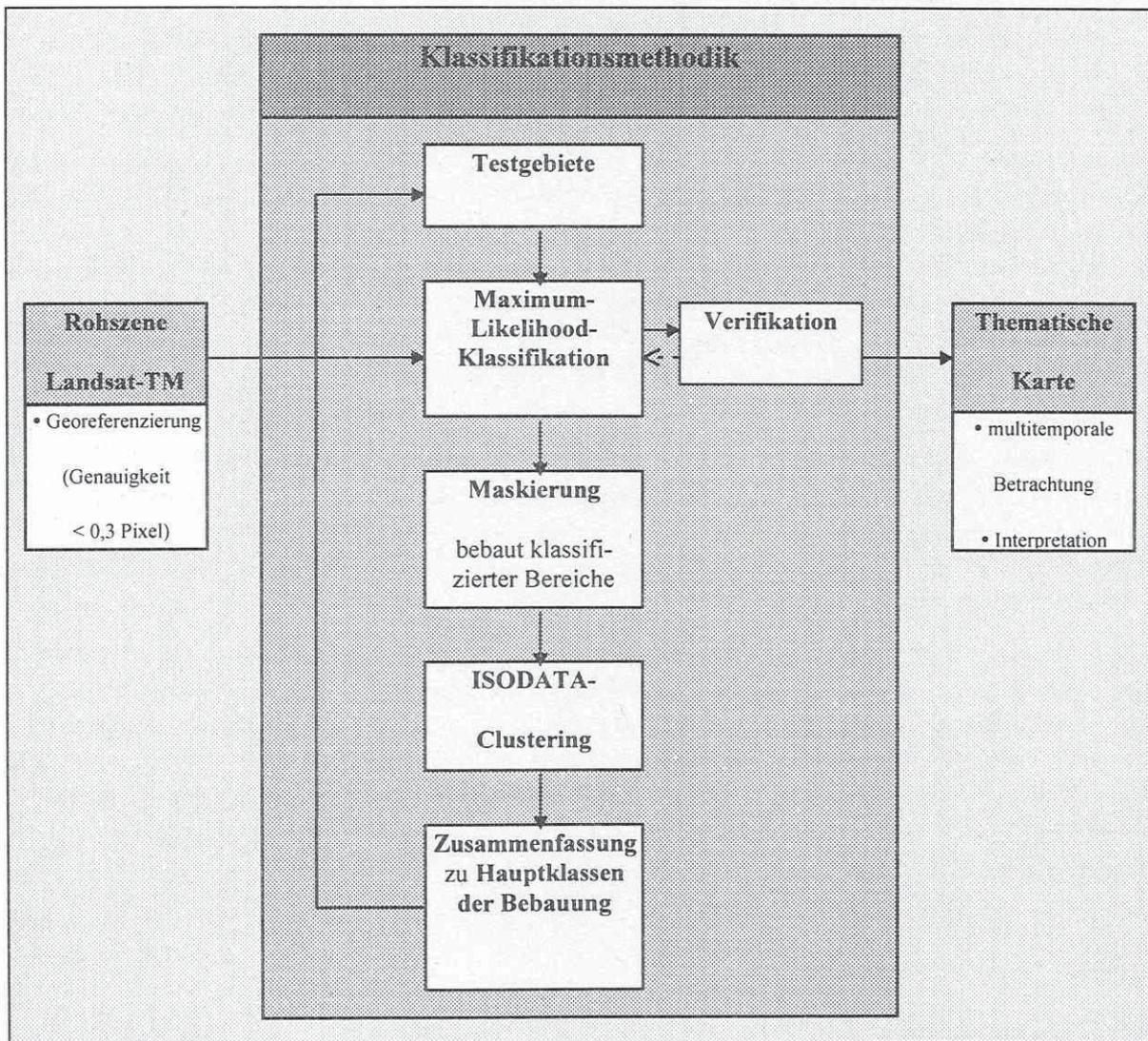


Abb. 3: Ablaufschema einer hierarchischen Klassifikation (eigener Entwurf)

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 'Stadtclassen' 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

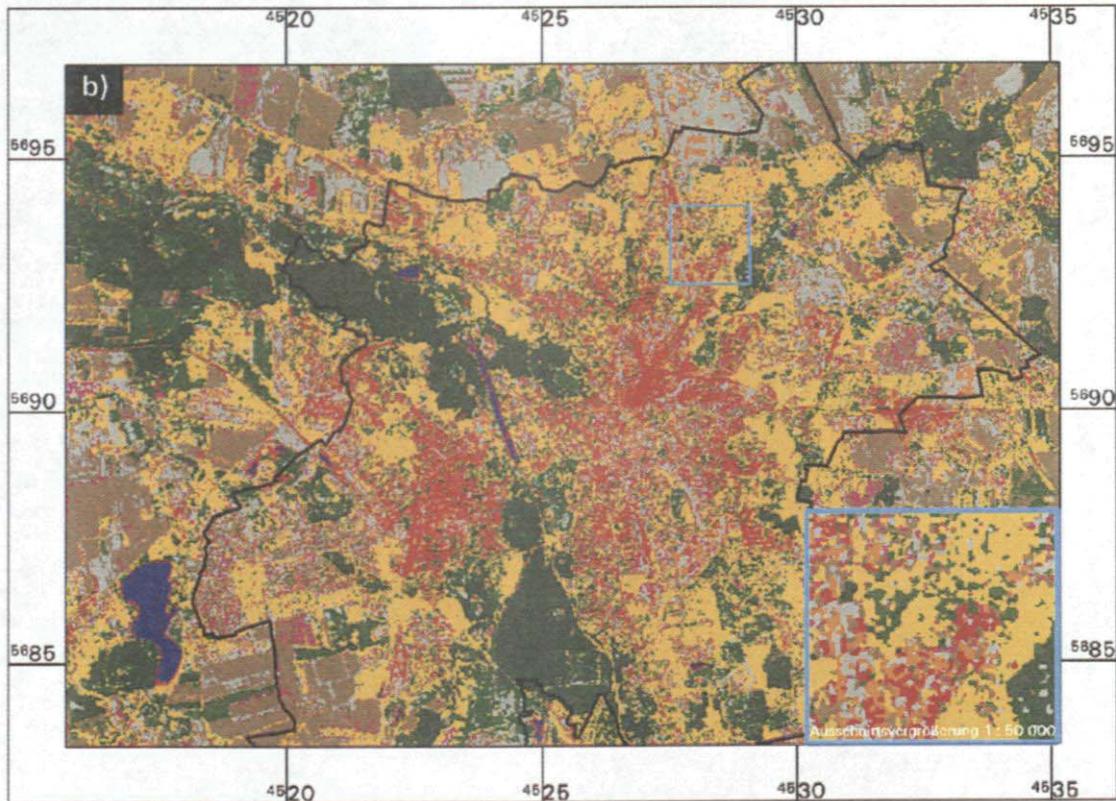
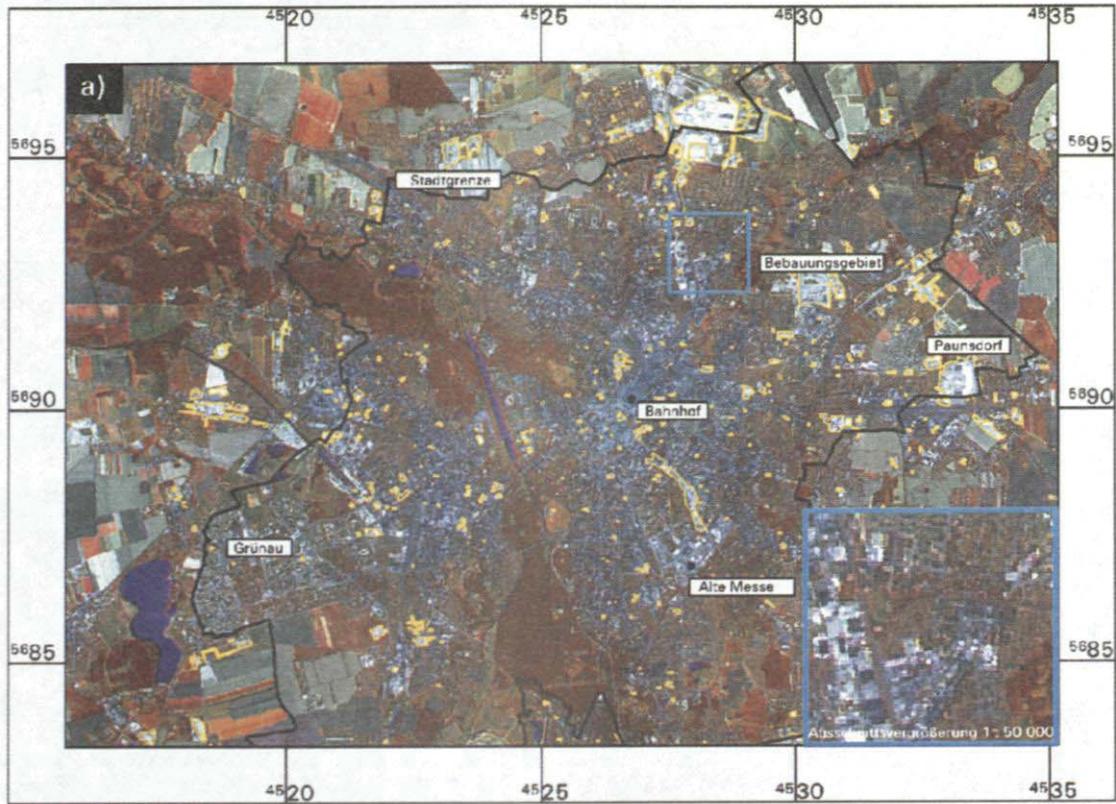
Von den softwareseitig angebotenen Verschneidungsmöglichkeiten von Bilddaten hoher geometrischer bei geringer spektraler mit Bilddaten geringer geometrischer bei hoher spektraler Auflösung (vgl. Kap. 3.1) hat sich die RGB-IHS-RGB-Transformation als Methode mit den besten Ergebnissen erwiesen.

Anwendungsbeispiel Landsat-TM - SPOT-PAN

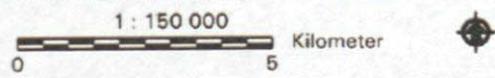
Beispielhaft sei das Verfahren für Landsat-TM (höhere spektrale Auflösung) und SPOT-PAN (höhere geometrische Auflösung) vorgestellt, dessen Arbeitsbereich zwischen den Maßstäben 1 : 50 000 und 1 : 25 000 liegt. Die Grundvoraussetzung für die RGB-IHS-RGB-Transformation stellt wiederum die geometrische 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



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



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 Detaillierbarkeit 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)).

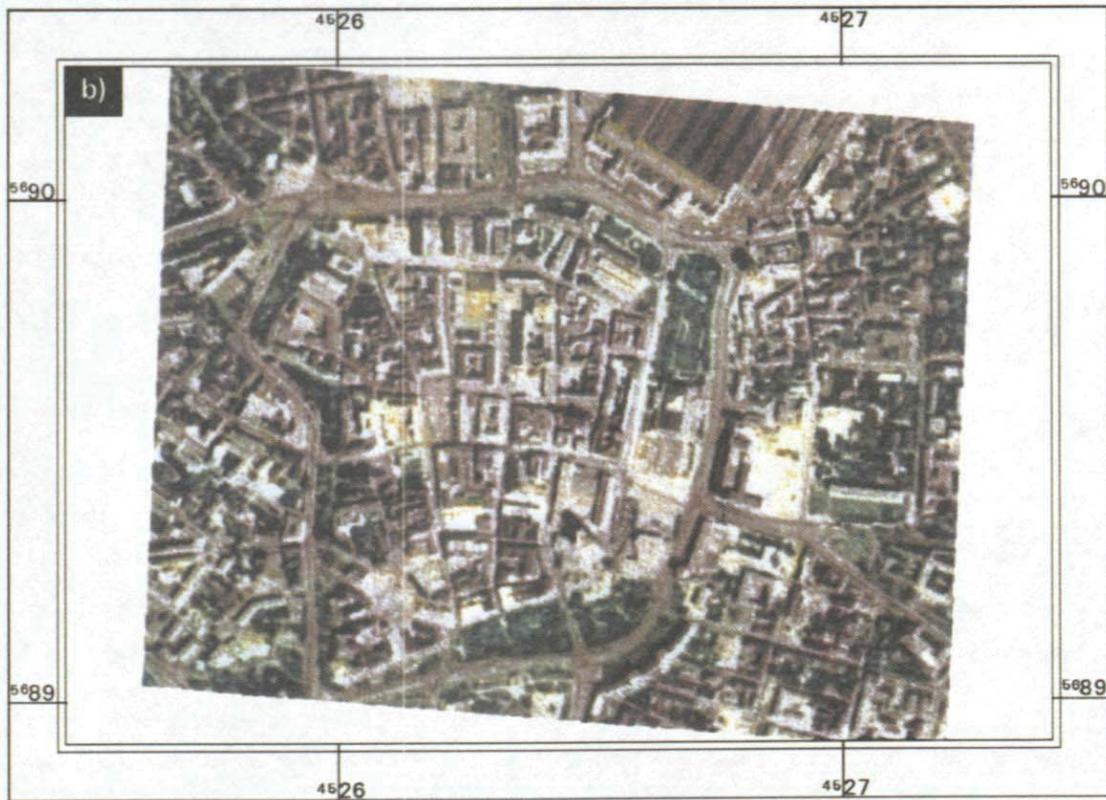
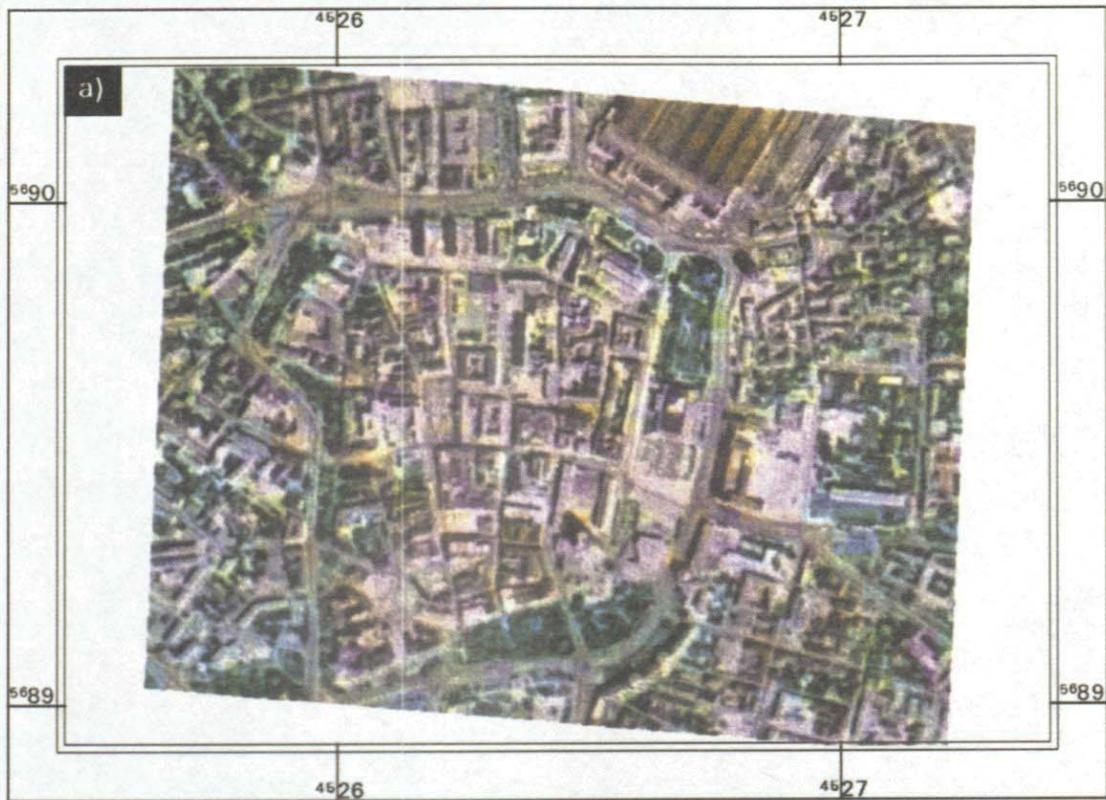
Das eigentliche Ziel einer Klassifikation - die Thematisierung des Bildes für eine vereinfachte Interpretation - wird nicht erreicht. Insgesamt veranschaulicht die abgebildete, gefilterte Klassifikation ein inhomogenes Bild, das die Stadt-Umland-Trennung und das Erkennen der Achsenstruktur erschwert. 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



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 Bauungs- / Gebäudearten sind differenzierbar. Momentane Bauungsprojekte 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.

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

Herausgeber

Ellen Banzhaf¹ und Hans Dieter Kasperidus²

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

¹ Sektion Angewandte Landschaftsökologie

² Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Leipzig, Januar 1998