

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 (Stadttrandbereich) 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)

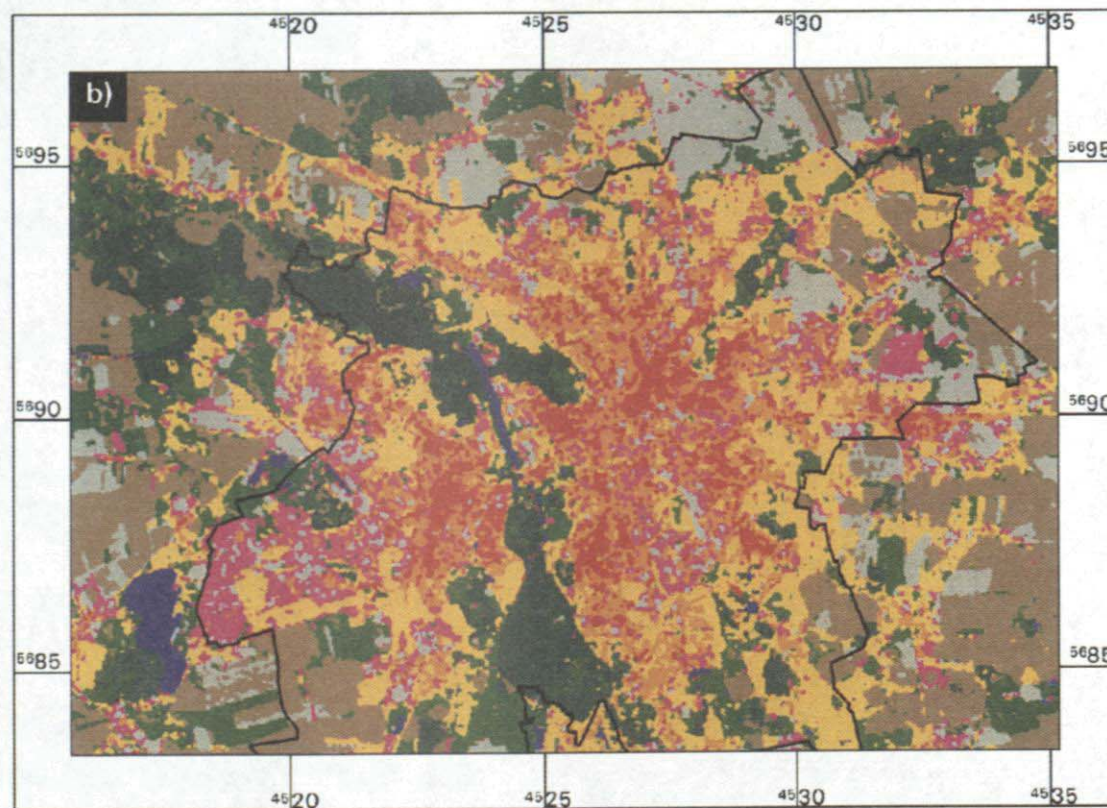
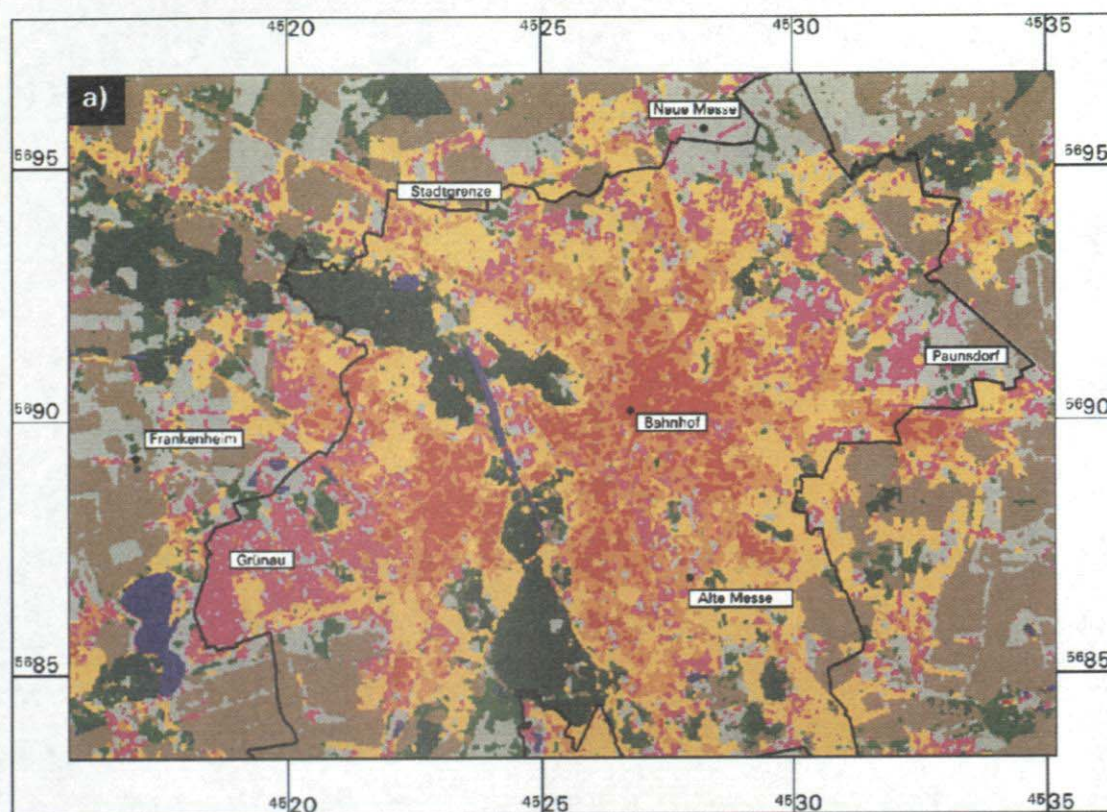
Das klassifizierte Landsat-TM-Bild von Mai 1992 (vgl. Abb. 1 a)) ermöglicht infolge der Thematisierung des Bildes in unterschiedliche Oberflächenbedeckungen eine Trennung der nicht bebauten von den bebauten Bereichen. Innerhalb der Bebauung sind Bereiche unterschiedlicher Verdichtung differenziert, die 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 erraten. 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)



- 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

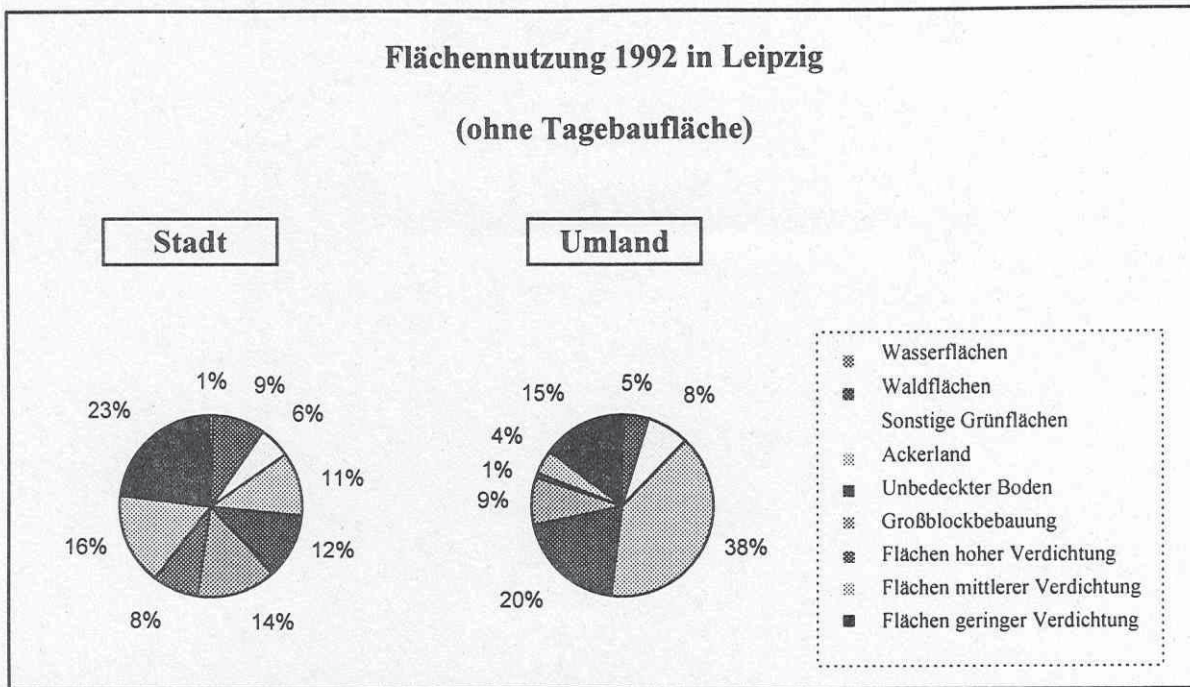


Abb. 2: Flächennutzung in Leipzig 1992 (eigene Berechnung)

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 gehäufteten 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.

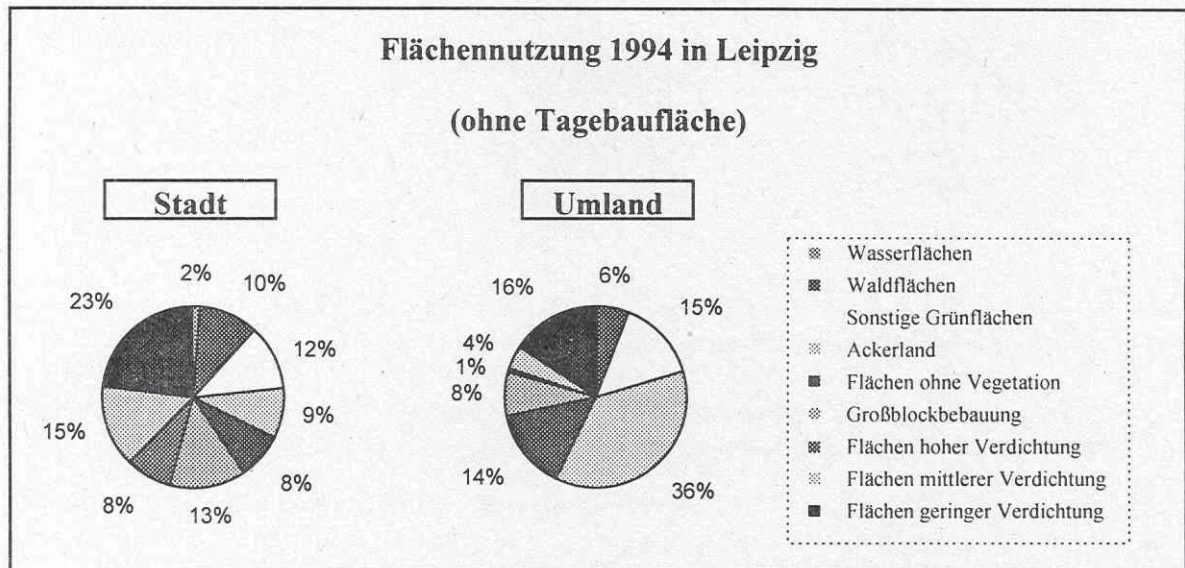


Abb. 3: Flächennutzung in Leipzig 1994 (eigene Berechnung)

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 (Verdichtungs Zunahme). 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 Tagebaugelände 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.

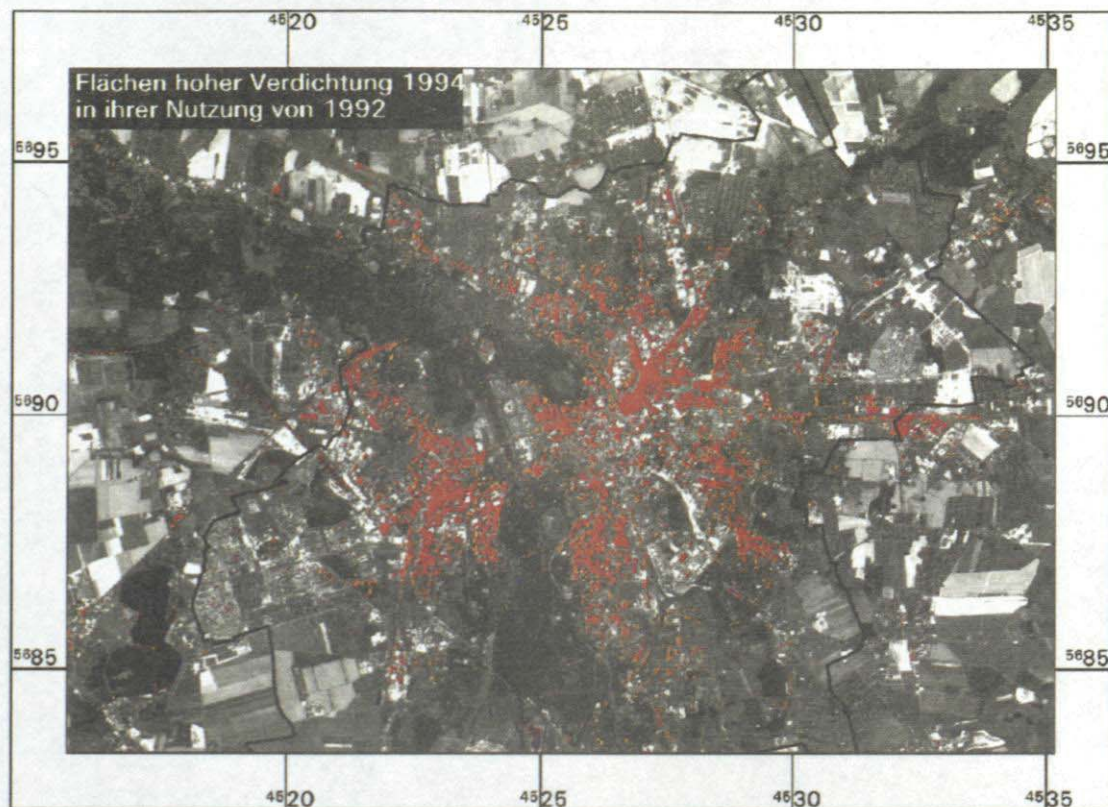
Tab. 1: Veränderung der bebauten Fläche von 1992 bis 1994 in der Stadtregion Leipzig

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

1 : 150 000

0 5 Kilometer



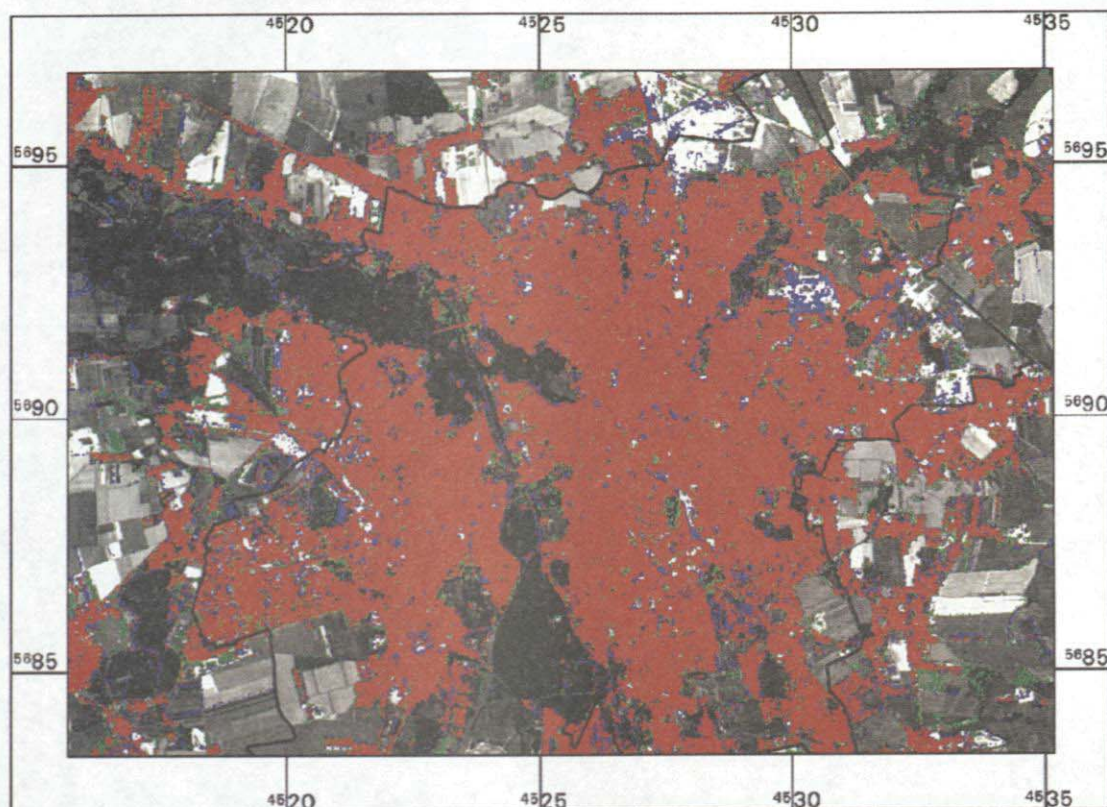
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie
Bildverarbeitung u. Kartographie: Dipl.-Geogr. V. Heinz



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

1 : 150 000
0 5 Kilometer



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

DAPA gefördert durch: Deutsche Agentur
für Raumfahrtangelegenheiten GmbH



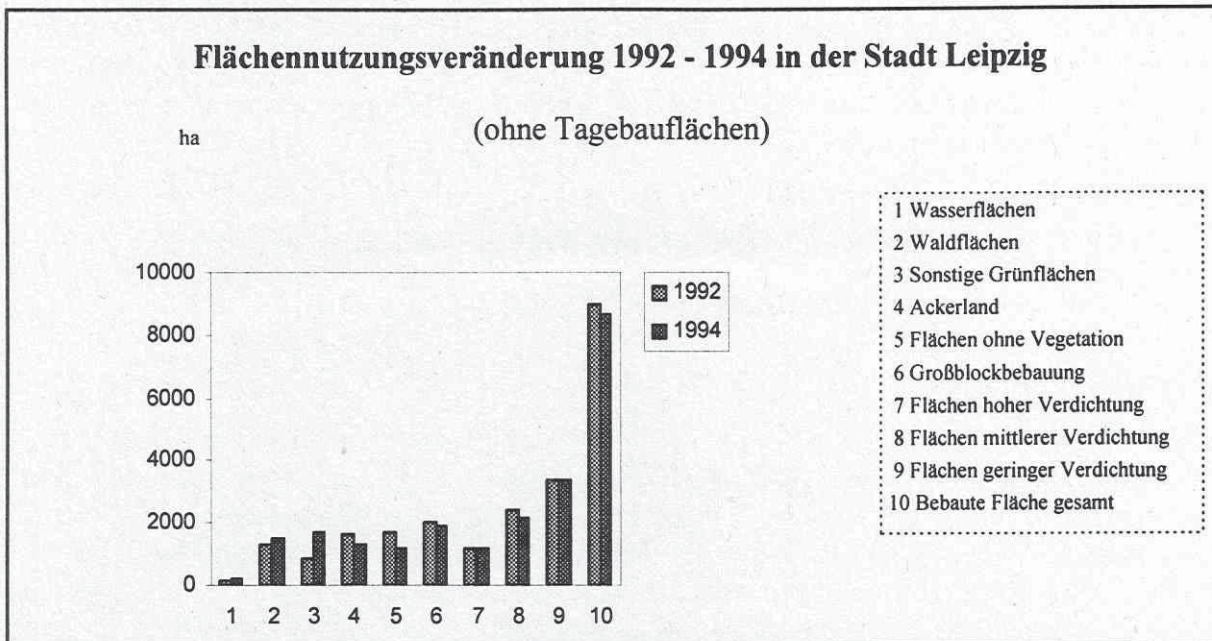


Abb. 6: Flächennutzungsveränderung 1992 - 1994 in der Stadt Leipzig (eigene Berechnung)

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 sind 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 Großstadregionen Sachsens. Erste Trends nach dem politischen Wandel (mit Kartenbeilage). - Europa Regional 2, H. 3, S. 10 - 19.

**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