



# UFZ-Bericht

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

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 9/1996

---

## Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

---

Vera Heinz

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-  
Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungs-  
vorhaben wurde mit Mitteln der DARA GmbH;  
FKZ 50 EE 9407 gefördert.

Teilergebnisse des Projektes

## Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

Vera Heinz

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

*Archiv*



Projektbereich Urbane Landschaften

---

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln der DARA GmbH; FKZ 50 EE 9407 gefördert. Projektleitung: Prof. Dr. R. Krönert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Untersuchung der Urbanisierung in der Leipziger Stadtregion</b>	<b>2</b>
2.1 Allgemeine Zielsetzung	2
2.2 Methodik	3
2.2.1 Definitionen	3
2.2.2 Das Untersuchungsgebiet	4
2.2.3 Hard- und Software	7
2.2.4 Datenmaterial	7
2.2.5 Vorgehensweise	9
2.3 Interpretation der Ergebnisdaten	12
2.3.1 Klassifikation der Landsat-TM-Szene Mai 1992 (monotemporal)	12
2.3.2 Klassifikation der Landsat-TM-Szene Juli 1994 (monotemporal)	16
2.3.3 Verschneidungsprodukt der Klassifikationen Mai 1992 und Juli 1994 (multitemporal)	19
2.3.4 Vergleich der Klassifikationen mit der Karte der Stadtstrukturtypen der Stadt Leipzig	35
2.3.5 Vergleich der Klassifikationen mit der Karte der Flächennutzung der Stadt Leipzig	41
2.3.6 Vergleich der Klassifikationen mit den Landsat-TM-Szenen	47
2.3.6.1 Landsat-TM-Bild Mai 1992	48
2.3.6.2 Landsat-TM-Bild Juli 1994	53
2.3.6.3 Temporale Betrachtung beider Landsat-TM-Szenen	53
2.4 Problembereiche	56
2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse, Diskussion und Ausblick	57
<b>3. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen</b>	<b>59</b>
<b>4. Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet - die Stadtregion Leipzig -	5
Abb. 2: Arbeitsschritte der Klassifikation	11
Abb. 3: Flächennutzung in der Stadtregion Leipzig 1992 (Klassifikation)	13
Abb. 4: Flächennutzung in der Stadt Leipzig 1992 (Kreisdiagramm)	15
Abb. 5: Flächennutzung im Umland von Leipzig 1992 (Kreisdiagramm)	15
Abb. 6: Flächennutzung in der Stadtregion Leipzig 1994 (Klassifikation)	17
Abb. 7: Flächennutzung in der Stadt Leipzig 1994 (Kreisdiagramm)	18
Abb. 8: Flächennutzung im Umland von Leipzig 1994 (Kreisdiagramm)	18
Abb. 9: Ausprägung der Bebauung an der Stadtgrenze	20
Abb. 10: Veränderung der Klasse 'Großblockbebauung' 1994 - 1992	22
Abb. 11: Veränderung der Klasse 'Großblockbebauung' 1992 - 1994	23
Abb. 12: Veränderung der Klasse 'Flächen hoher Verdichtung' 1994 - 1992	25
Abb. 13: Veränderung der Klasse 'Flächen hoher Verdichtung' 1992 - 1994	26
Abb. 14: Veränderung der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' 1994 - 1992	28
Abb. 15: Veränderung der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' 1992 - 1994	29
Abb. 16: Veränderung der Klasse 'Flächen geringer Verdichtung' 1994 - 1992	31
Abb. 17: Veränderung der Klasse 'Flächen geringer Verdichtung' 1992 - 1994	32
Abb. 18: Bebaute Flächen in der Stadtregion Leipzig	33
Abb. 19: Flächennutzungsveränderung 1992 - 1994 in der Stadt Leipzig	35
Abb. 20: Überlagerung der Klassifikation mit den Stadtstrukturtypen	37
Abb. 21: Verteilung der Flächenanteile der Klassifikation innerhalb ausgewählter Stadtstrukturtypen	39
Abb. 22: Hierarchie des Verdichtungs- und Durchgrünungsgrades verschiedener bebauter Stadtstrukturtypen	40
Abb. 23: Überlagerung der Klassifikation mit der Flächennutzung	43
Abb. 24: Verteilung der Flächenanteile der Klassifikation innerhalb ausgewählter Klassen der Flächennutzung	45

Abb. 25: Verteilung der Flächenanteile der Klassifikation innerhalb der Klasse 'Wohnflächen' der Flächennutzung	46
Abb. 26: Landsat-TM-Szene Mai 1992	49
Abb. 27: Reflexion verschiedener Oberflächen im nahen Infrarot entlang eines Querschnittes	51
Abb. 28: Landsat-TM-Szene Juli 1994	54
Abb. 29: Bebauungsgebiete 1994 in der Leipziger Stadtregion	55

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Gründe für die Industrie- und Gewerbeansiedlung im Umland	1
Tab. 2: Bebauungsplanung in der Stadtregion Leipzig, Stand 30. 06. 1992	6
Tab. 3: Aufnahmeparameter des Landsat-TM V	8
Tab. 4: Referenzdatenmaterial	8
Tab. 5: Klasseneinteilung für die Klassifizierung der Landsat-TM-Szenen	10
Tab. 6: Veränderung der bebauten Fläche von 1992 bis 1994 in der Stadtregion Leipzig	34
Tab. 7: Zuordnungsschema der Klassen der Klassifikation zu den Klassen der Stadtstrukturtypen	36
Tab. 8: Vergleich der Übereinstimmung zwischen Klassifikation und Strukturtypen	38
Tab. 9: Zuordnung der Klassen der Klassifikation zu den Klassen der Flächennutzung	41
Tab. 10: Vergleich der Übereinstimmung zwischen Klassifikation und Flächennutzung in der Stadt Leipzig	42
Tab. 11: Nutzungsarten mit 90 % Klassifizierungsgenauigkeit (Maximum-Likelihood-Klassifikation)	57
Tab. 12: Veränderungen bei Urbanisierungsprozessen und ihre Sichtbarkeit im Landsat-TM-Bild	59
Tab. 13: Im Satellitenbild erkennbare Flächennutzungsveränderungen	60
Tab. 14: Gegenüberstellung von Landsat-TM-Daten und CIR-Luftbildern	61

## 1. Einleitung

Die hier vorgestellte Arbeit ist ein Teilergebnis der Bearbeitung des Drittmittelprojektes 'Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig'. Es wird zu 100 % von der DARA GmbH (= Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten) finanziert (FKZ 50 EE 9407).

Im Zuge der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland fanden und finden zahlreiche Umgestaltungen statt. Neben einer Veränderung der politischen Situation vollzog sich auch ein Wandel innerhalb der Wirtschaft. Um einen neuen 'Wirtschaftsstandort Ost' aufbauen zu können, waren zahlreiche Umstrukturierungen der Infrastruktur notwendig. Da viele Standorte innerhalb der Städte zum Beispiel wegen ungeklärter Besitzverhältnisse, fehlender Infrastruktur, Platzmangels und zahlreicher Altlasten nicht genutzt werden konnten, siedelten sich größere Industrie- und Gewerbebetriebe vorwiegend auf der sogenannten 'grünen Wiese' an. Die Hauptgründe hierfür liegen in den folgenden Bereichen (s. Tab. 1):

Tab. 1: Gründe für die Industrie- und Gewerbeansiedlung im Umland (verändert nach NEUMANN 1994, S. 14 ff.)

<b>Gründe für die Aufgabe des alten Standortes in der Stadt</b>
- Eigentumsverhältnisse (zu hohe Mieten, ungeklärte Eigentumsfragen, etc.)
- keine Erweiterungsflächen
- umweltbezogene Gründe (Altlasten, Nähe zu Wohngebieten, etc.)
- hoher Immobilienwert
- schlechte Infrastruktur in der Stadt
<b>Gründe für die Ansiedlung im Umland der Stadt</b>
- günstige Förderbedingungen bei Neubau
- günstige Verkehrsanbindung
- schnelles, unbürokratisches Verwaltungshandeln
- angemessener Bodenpreis
- fortgeschrittene Erschließung (z. B. Telefon- und Abwasseranschlüsse)
- voraussichtliche Branchenstruktur im Gewerbegebiet (Kooperationsmöglichkeit und Kundschaft)
- günstige Lage zum Markt
- Nähe zur Stadt

Erst gegen Ende dieser Phase erfolgte langsam die Ansiedlung von Wohnbebauung außerhalb der Stadtgebiete. Der in den Alten Bundesländern übliche Prozeß der Urbanisierung begann in den Neuen Bundesländern in umgekehrter Reihenfolge. Momentan wird die Phase der Ansiedlung von Industrie- und Gewerbegebieten zunehmend durch die Ansiedlung von Wohnbebauung abgelöst. Während jetzt von einem zunehmenden Suburbanisierungsprozeß gesprochen werden kann, der in

das unmittelbare Umland erfolgt, findet in den Alten Bundesländern bereits eine weitere Phase der Suburbanisierung in den ländlichen Raum hinein sowie Reurbanisierungsprozesse statt. Bis 1989 blieb der Prozeß der Suburbanisierung in den Neuen Bundesländern aus, da neben restriktiven Maßnahmen im privaten Wohnungsbau vor allen Dingen die Großwohnanlagen gebaut wurden (HERFERT 1994, S. 10).

## **2. Untersuchung der Urbanisierung in der Leipziger Stadtregion**

### **2.1 Allgemeine Zielsetzung**

Die im Kapitel 1 geschilderten Prozesse laufen in den Neuen Bundesländern innerhalb kürzester Zeit ab. Im zeitlichen Rahmen von lediglich zwei Jahren können schon umfangreiche Veränderungen nachvollzogen werden, so daß sich hier eine Erforschung der Nutzbarkeit der Fernerkundung für die Untersuchung von Urbanisierungsprozessen anbietet.

Den Überblick über diese zahlreichen Veränderungen zu behalten, wird zunehmend schwerer. Entsprechend problematisch gestaltet sich die zukünftige Planung. Hierfür und für die heutzutage vermehrt in den Vordergrund tretenden stadtökologischen Fragestellungen ist eine Flächennutzungsanalyse wertvoll. Nur auf dieser Grundlage kann die Raumplanung erfolgen. Die Datenlage jedoch stellt in der Kommune oftmals auch heute noch einen Schwachpunkt dar.

Unter Berücksichtigung dieser Ausgangsbasis stellt sich die Frage, inwieweit satellitenbildgestützte (Zeit-)Vergleiche als praktikables Instrumentarium zur Erfassung von stadtstrukturellen Veränderungen eine ergänzende Arbeitsgrundlage für die (z. B. Stadt-)Planung sein können.

Anhand des Untersuchungsgegenstandes Urbanisierung sollen in dieser Arbeit speziell die Fernerkundungsdaten des Sensorsystems Landsat-TM mono- und multitemporal betrachtet werden. Dabei wird die Analyse der Erkennbarkeit von Elementen im Satellitenbild im Vordergrund stehen, die direkt oder indirekt auf einen Urbanisierungsprozeß hinweisen.

Da die Urbanisierung zumeist mit einer Änderung der Flächennutzung einhergeht, muß der Schwerpunkt auf der Untersuchung der Erkennbarkeit dieser und ihrer territorialen Veränderung liegen. Die Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Landsat-TM-Daten sollen mit Hilfe der visuellen Interpretation und der digitalen Bildverarbeitung getestet werden. Neben der vergleichenden Betrachtung der entzerrten Rohbilder und der Klassifizierung soll auch analysiert werden, wo

die Vor- und Nachteile der Landsat-TM-Szenen gegenüber der herkömmlichen Nutzung von Luftbildern liegen. Für einen Vergleich bieten sich Karten der Flächennutzung und der Strukturtypen an (s. Tab. 4), die auf dieser Grundlage basieren.

Am Ende dieser Arbeit wird die Skizzierung eines Bildes angestrebt, in welchen Teilbereichen Landsat-TM-Daten für die Erkundung von Urbanisierungsprozessen eingesetzt werden können.

## **2.2 Methodik**

### **2.2.1 Definitionen**

LESER (1985, S. 327) definiert die Urbanisierung als

"Verstädterung im Sinne einer Ausbreitung städtischer Verhaltensweisen und Lebensformen der Bevölkerung und der sich daraus ergebenden räumlichen Strukturen und Prozesse."

Sie bezeichnet neben einem Zustand auch einen Wachstums- und Ausbreitungsprozeß. Wir, die Menschen, und unser Lebensumfeld werden durch die Urbanisierung in vielerlei Hinsicht betroffen. So haben Urbanisierungsprozesse direkte und indirekte Auswirkungen auf das Wasser, den Boden und die Luft sowie auf die Flora, die Fauna und den Menschen. Neben diesem allgemeinen Begriff der Urbanisierung kann die Suburbanisierung definiert werden als

"[...] intraregionaler Dekonzentrationsprozeß von Bevölkerung in verdichteten Räumen, der durch interregionale Wanderungsprozesse verstärkt werden kann. [...] Es entsteht eine] Bedeutungszunahme der Umlandregion gegenüber der jeweiligen Großstadt in bezug auf die Wohnfunktion [...] Der suburbane Raum erfährt] sowohl positive intra- als auch interregionale Wanderungssalden [...]" (HERFERT 1994, S. 10)."

Mit der Urbanisierung geht demnach zumeist eine Veränderung der Flächennutzung einher, die "[...] als Prozeß und Art der Inanspruchnahme (des Gebrauchs) von Flächen ("Grund und Boden") durch die Gesellschaft" bezeichnet wird (KRÖNERT 1981, S. 52). Sie ist 'das Resultat räumlich wirksamer menschlicher Aktivitäten'. Mit jeder Änderung der Flächennutzung wird in den Naturhaushalt eingegriffen und zumeist die Erscheinungsform der Erdoberfläche verändert (KRAUSE 1988, S. 69).

Die Stadtregion (Leipzig) ist nach dem Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH (1992, S. 4) definiert als ein

"[...] Raum mit großstädtischem Kern, Siedlungen und anderen Objekten des Umlandes (u. a. Naherholungsgebiete), die durch ein breites Spektrum funktionsräumlicher Beziehungen verbunden sind."

Sie umfaßt die Stadt Leipzig, den Landkreis Leipzig und einige Gemeinden der benachbarten Landkreise (z. B. Naunhof, Brandis, etc.).

Mit dem Begriff 'Stadt-Umland' ist der Bereich unmittelbar um die Stadt Leipzig herum bis ins Umland hinein gemeint, wobei auch der Übergangsbereich vom Stadtrand mit einbezogen wird. Es ist zu betonen, daß das Stadt-Umland in dieser Arbeit nicht unmittelbar an der administrativen Grenze ansetzt, sondern einen fließenden Übergang bildet. Dieser Darstellung entsprechend wird er definiert als

"unscharf begrenzter Raum um eine größere Stadt, der durch relativ enge sozio-ökonomische Verflechtungen mit dieser Stadt verbunden ist. Als Stadt-Umland wird insbesondere der Raum von Pendlerverflechtungen mit der Stadt und der zentralörtliche Einzugsbereich auf der unteren und mittleren Stufe bezeichnet. Er ist relativ stark urbanisiert und stellt ein Übergangsgebiet von den Stadtrandgemeinden bis in den die Stadt umgebenden ländlichen Raum dar (LESER 1985, S. 239)."

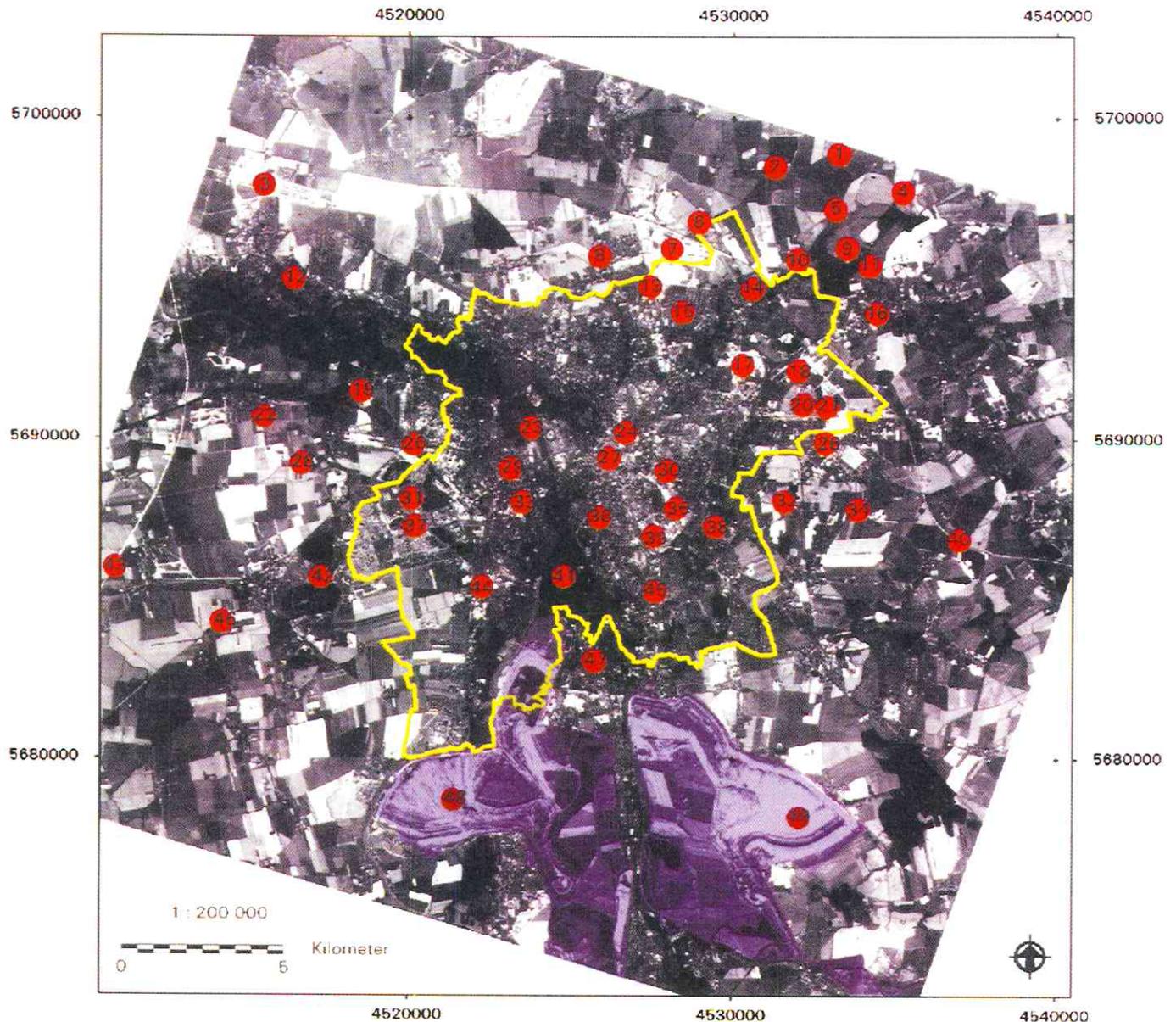
### **2.2.2 Das Untersuchungsgebiet**

Das Untersuchungsgebiet (s. Abb. 1) - die Stadtregion Leipzig - liegt in der Leipziger Tieflandsbucht und umfaßt ca. 36 Hektar Fläche. Seine Nord-Süd- und West-Ost-Ausdehnungen betragen je ca. 20 km. Im Norden wird es durch die Autobahn A 14 (Halle-Dresden) und im Westen durch die Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt begrenzt. Die östliche Grenze verläuft entlang einer gedachten Linie durch Engelsdorf und Baalsdorf. Die Tagebaugebiete Zwenkau und Espenhain grenzen das Gebiet nach Süden hin ab. Untersucht wird also ein Ausschnitt aus der Stadtregion (vgl. Kap. 2.2.1).

Das Untersuchungsgebiet ist ein Bestandteil der Agglomeration Leipzig-Halle im Ballungsgebiet Halle-Leipzig-Dessau und ist neben Berlin als wichtigster Wirtschaftsraum in den Neuen Bundesländern anzusehen. Die Bevölkerung der sächsischen Stadt Leipzig umfaßte im Juni 1994 488 066 Einwohner auf 153 km<sup>2</sup> Fläche und im Landkreis 228 017 Einwohner auf 991 km<sup>2</sup> Fläche (Stadt Leipzig 1995, S. 4). Zwei Drittel der Einwohner der Stadtregion besiedeln die Kernstadt und das engere Umland (ca. ein Fünftel der Fläche). In Leipzig selber herrscht eine sehr hohe Bevölkerungsdichte vor, die nach München und Berlin auf dem dritten Rang plaziert ist. Dem gegenüber steht die Flächengröße Leipzigs nur auf dem 34. Rang der 37 Großstädte der Bundesrepublik Deutschland. Somit erklärt sich auch der deutliche Abfall der Bevölkerungsdichte vom Stadtkern zum -rand. Da bis zur politischen Wende zu Zeiten der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik größere Suburbanisierungen fehlten, hat sich die Stadt hauptsächlich innerhalb ihrer administrativen Grenzen entwickelt und dabei stark verdichtet (Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992, S. 10 u. 20).

# Das Untersuchungsgebiet - die Stadtregion Leipzig -

(dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene, Juli 1994)



- 1 - Gottscheina
- 2 - Hohenheida
- 3 - Flughafen Schkeuditz
- 4 - Pönitz
- 5 - Merkwitz
- 6 - Seehausen
- 7 - Neue Messe
- 8 - Wiederitzsch
- 9 - Seegeritz
- 10 - Plaußig
- 11 - Cradefeld
- 12 - B 6
- 13 - B 2
- 14 - Thekla
- 15 - Mockau
- 16 - Taucha
- 17 - Gewerbegebiet Nordost

- 18 - Heiterblick
- 19 - Böhlitz-Ehrenberg
- 20 - Paunsdorf
- 21 - Paunsdorf Zentrum
- 22 - B 181
- 23 - Elsterbecken
- 24 - Hauptbahnhof
- 25 - Elster-Saale-Kanal
- 26 - Engelsdorf
- 27 - Leipzig - Zentrum
- 28 - Frankenheim
- 29 - Lindenau
- 30 - Reudnitz
- 31 - Schönau
- 32 - Mölkau
- 33 - Plagwitz
- 34 - Baalsdorf

- 35 - Prager Straße
- 36 - Connewitz
- 37 - Grünau
- 38 - Stötteritz
- 39 - Alte Messe
- 40 - A 41
- 41 - Auenwald
- 42 - Kulkwitzer See
- 43 - Großzschocher
- 44 - Lössnig
- 45 - A 9
- 46 - B 87
- 47 - Markkleeberg
- 48 - Tagebau Zwenkau
- 49 - Tagebau Espenhain

— Stadtgrenze Leipzig

▨ Maske der Tagebauegebiete

Seit der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland nun unterliegt dieser Raum einer großen Dynamik. Die Infrastruktur, Verkehrswege und Gewerbegebiete werden auf- und ausgebaut bzw. neu errichtet (MAREK 1994, S. 128).

Der Umfang der Umstrukturierungen in der Stadtregion Leipzig zeigt sich anhand der Größe geplanter Flächennutzungsveränderungen, wie die Tabelle 2 mit Zahlen von 1992 aus der Bebauungsplanung der Gemeinden verdeutlicht:

*Tab. 2: Bebauungsplanung in der Stadtregion Leipzig, Stand 30. 06. 1992 (verändert nach Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992, S. 73):*

Art der vorgesehenen Nutzung	geplante Fläche [ha]	
	Stadt Leipzig	Landkreis Leipzig
Wohngebiet	612	720
Gewerbegebiet	414	1308
Mischgebiet	169	224
Sondergebiet	424	187
Kerngebiet	58	-
Umnutzung militärischer Flächen	252	-
<b>Gesamt</b>	<b>1929</b>	<b>2439</b>

Alleine 1993 waren insgesamt 450 ha Gewerbefläche in der Stadt Leipzig in der Planung. Das entspricht einer geplanten Zunahme um 50 % der bestehenden Fläche, wobei der Hauptschwerpunkt im Stadtbezirk Nordost und weitere Schwerpunkte in den Stadtbezirken Ost, Südwest und West lagen. Die bestehenden Bestandsflächen behalten somit nach NEUMANN (1994, S. 55) ihr 'Potential für die gewerbliche Standortentwicklung der Stadt'.

Die die gesamte Region umfassenden, raumrelevanten Entwicklungen finden in der ersten Urbanisierungsphase vordergründig im Leipziger Umland statt. Während in der Innenstadt nur ein Fünftel der Fläche pro 1000 Einwohner als Gewerbefläche ausgewiesen worden ist wie im Umland, beträgt das Verhältnis von der Wohn- zur Gewerbebauandausweisung 1 : 2,5 (Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 1993, S. 75).

In der Stadtregion Leipzig haben sich sogenannte Entwicklungsräume für Baugebiete herauskristallisiert, die hauptsächlich an den im folgenden kurz charakterisierten sogenannten Entwicklungsachsen liegen (Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH 1992, S. 75 - 77):

- a) **Entwicklungsachse Nord** (um den Flughafen Leipzig/Halle und das Autobahnkreuz Schkeuditz entlang der A 14 bis Engelsdorf und zwischen A 14 und B 6 (Leipzig-Halle)):
- größter Entwicklungsraum
  - Konzentration überregional wirksamer Standorte
  - hoher Anteil an Sondergebietsfunktionen
  - umfangreiche geplante Gewerbegebietsstandorte
  - umfangreiche Wohnungsbaustandorte
  - gute Verkehrsinfrastruktur
- b) **Entwicklungsachse Ost** ( vom östlichen Stadtrand entlang der Eisenbahnstrecke und B 6 nach Dresden)
- neue Gewerbegebiete
  - geplante neue Wohnungsbaustandorte
- c) **Entwicklungsraum West** (am westlichen Stadtrand und entlang der Achsen B 181 nach Merseburg und B 87 nach Weißenfels)
- relativ ausgeglichenes Verhältnis zwischen Gewerbe-, Sonder- und Wohngebieten
- d) **Entwicklungsraum Südost** (am Stadtrand und entlang der Eisenbahnlinie nach Chemnitz)
- vorerst relativ schwächere Ausbildung mit wenigen, konkreten Planungen

### 2.2.3 Hard- und Software

Die Verarbeitung der Daten erfolgte auf einer SUN-Workstation (Solaris; SPARC 10) mit dem digitalen Bildverarbeitungsprogramm ERDAS IMAGINE (Verarbeitung von Rasterdaten). Durch seine Schnittstelle zum ARC/INFO konnten im ARC/INFO erstellte Vektordatensätze direkt mit den Rasterdaten verschnitten bzw. überlagert werden.

### 2.2.4 Datenmaterial

Die Datenbasis für diese Arbeit wurde überwiegend aus bereits vorhandenen Daten zusammengestellt. Dabei erhielten die Gesichtspunkte Datenqualität, Aufnahmedatum, Abdeckung des Untersuchungsraumes und Verknüpfungsmöglichkeiten einen besonderen Stellenwert.

Zur Bearbeitung der Fragestellung wurden zwei Rohszenen des amerikanischen Sensorsystems Landsat-TM aus den Jahren 1992 (Mai) und 1994 (Juli) ausgewählt. Es ist ein passives Fernerkundungssystem, das seit 1984 auf seiner circumpolaren Umlaufbahn sonnensynchron die Erde umrundet. Seine Aufnahmeparameter sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Die Landsat-TM-Aufnahme von 1992 bot die Möglichkeit des Vergleiches mit verschiedenen, auf der Auswertung von Luftbildern beruhenden Referenzdaten (s. Tab. 4), aus denen das Arbeitsgebiet extrahiert wurde. Für die multitemporale Betrachtung wurde die Aufnahme von 1994 ausgewählt.

Tab. 3: Aufnahmeparameter des Landsat-TM V (eigener Entwurf)

	Landsat-TM V
<b>Flughöhe</b>	705 km
<b>zeitliche Auflösung</b>	16 Tage
<b>geometrische Auflösung</b>	30 x 30 m (Kanal 1 - 5, 7); 120 x 120 m (Kanal 6)
<b>radiometrische Auflösung</b>	8 bit
<b>spektrale Auflösung</b>	Kanal 1 - sichtbarer Bereich (blau) Kanal 2 - sichtbarer Bereich (grün) Kanal 3 - sichtbarer Bereich (rot) Kanal 4 - nahes Infrarot Kanal 5 - mittleres Infrarot Kanal 6 - thermales Infrarot Kanal 7 - mittleres Infrarot

Tab. 4: Referenzdatenmaterial (eigener Entwurf)

Datenmaterial	Anwendungsbereich
Topographische Karten 1 : 25 000	Grundlage für die Georeferenzierung
SPOT-PAN-Szene (1994)	Grundlage für Bild-zu-Bild-Entzerrungen
Karte der Strukturtypen der Stadt Leipzig <sup>1</sup>	Vergleich mit der Klassifizierung
Karte der Flächennutzung 1992 Leipzig und Umland <sup>2</sup>	Vergleich mit der Klassifizierung; Trainingsgebietssuche
Karte des Landkreises Leipzig 1992 <sup>3</sup>	Vergleich mit der Klassifizierung
Karte des Landkreises Leipzig 1994 <sup>4</sup>	Vergleich mit der Klassifizierung
Karte der Stadtbiotopkartierung Leipzig <sup>5</sup>	Trainingsgebietssuche
Karte der Versiegelung der funktionalen Strukturtypen der Stadt Leipzig <sup>6</sup>	Vergleich mit der Klassifizierung
CIR-Luftbilder 1994	Verifizierung der Klassifizierung
Echtfarb-Luftbilder 1992	Verifizierung der Klassifizierung
Flächennutzungsplan der Stadt Leipzig <sup>7</sup>	Trainingsgebietssuche
diverse Statistiken	verschiedene Nutzungsbereiche

Der zeitliche Abstand zwischen beiden Aufnahmen ist als ausreichend anzusehen, da die Urbanisierungsprozesse in den Neuen Bundesländern mit ihren zahlreichen Umstrukturierungen innerhalb kurzer Zeiträume ablaufen.

<sup>1</sup> BÖHM, P.; BREUSTE, J.; KINDLER, A.; u. a. (1994): Karte 'Strukturtypen der Stadt Leipzig' 1 : 50 000. - Leipzig

<sup>2</sup> USBECK, B.; KINDLER, A.; HARTMANN, H.; u. a. (1992): Karte 'Flächennutzung 1992 Leipzig und Umland' 1 : 25 000. - Leipzig

<sup>3</sup> USBECK, B. u. HOFFMANN, J. (1995): Karte 'Landkreis Leipzig - Nutzungsänderung - nach Luftbildern vom 26. 06. 1992' 1 : 150 000. - Leipzig

<sup>4</sup> USBECK, B. u. HOFFMANN, J. (1995): Karte 'Landkreis Leipzig - Nutzungsänderung - nach Luftbildern vom 25. 06. 1994' 1 : 150 000. - Leipzig

<sup>5</sup> Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz, Abteilung Naturschutz (Hrsg.; 1994): Karte 'Stadtbiotopkartierung Leipzig. Biotoptypen' 1 : 10 000. - Leipzig

<sup>6</sup> USBECK, B.; KINDLER, A.; HARTMANN, H.; u. a. (1992): Karte 'Versiegelung der funktionalen Strukturtypen der Stadt Leipzig' 1 : 50 000. - Leipzig

<sup>7</sup> Stadt Leipzig, Dezernat für Stadtentwicklung und Raumplanung (Hrsg.; 1994): Flächennutzungsplan Stadt Leipzig. Entwurf November 1993. - Leipzig

Als Referenz für die verschiedenen Be- und Verarbeitungsschritte stand diverses Datenmaterial zur Verfügung, das in der Tabelle 4 dargestellt ist.

### 2.2.5 Vorgehensweise

Die Rohszenen von Landsat-TM wurden zunächst in ihrem Ausschnitt auf die ungefähre Ausdehnung des Arbeitsgebietes verkleinert. Dabei wurde der Ausschnitt großzügig gewählt, da es infolge der Georeferenzierung zu einer Drehung der Szenen kommt. Die nachfolgende Paßpunktsuche für die geometrische Entzerrung erfolgte nach der Bild-zu-Bild-Methode in einer SPOT-PAN-Szene, die vorher auf Topographische Karten (Maßstab 1 : 25 000) auf das Gauß-Krüger-Koordinatensystem, Spheroid Bessel entzerrt worden war. Durch die Rektifizierung aller weiteren Szenen auf die SPOT-Szene wurde versucht, den Lagefehler zwischen den einzelnen Szenen so gering wie möglich zu halten. Der Root-Mean-Square-Fehler konnte auf 0,3 Pixel gesenkt werden. Dies entspricht einer Lageungenauigkeit von weniger als zehn Metern im entzerrten Landsat-TM-Bild. Um diesen Wert zu erreichen, wurden pro Szenenausschnitt im Durchschnitt 150 Paßpunkte bestimmt. Wichtig war diese Anzahl für die Minimierung der Lageabweichungen zwischen den einzelnen Paßpunkten und zwischen unterschiedlichen Datenmaterialien.

Auf eine atmosphärische Korrektur und weitere Bildverbesserungen wurde größtenteils verzichtet, da einerseits die Bilder relativ klar erschienen, und andererseits ein entsprechendes Korrekturprogramm nicht zur Verfügung stand.

Nach der Rektifizierung begann mit Hilfe unterschiedlicher Referenzmaterialien (s. Tab. 4) und Ortskenntnissen die Suche nach Trainingsgebieten für die Klassifikation. Die ersten Klassifikationsergebnisse mit versuchter Unterteilung in verschiedene Bebauungsstrukturen und Industrie-/Gewerbegebiete war nicht zufriedenstellend. Mit der für die Klassifizierung von landwirtschaftlich genutzten Gebieten gut geeigneten überwachten Methode der Maximum-Likelihood-Klassifikation konnten innerhalb der bebauten Flächen keine hinreichend genauen Ergebnisse erzielt werden, da aufgrund ihrer Kleinstrukturierung eine spektrale Trennung verschiedener Trainingsgebiete nicht möglich ist. Gut hingegen war mit dieser Methode eine allgemeine Trennung von bebauter und nicht bebauter Fläche möglich. In einem nächsten Schritt wurden sodann die bebauten Gebiete maskiert und nur diese in die weiteren Bearbeitungsschritte einbezogen. Die besten Ergebnisse konnten nun mit Hilfe des ISODATA-Clusterings erzielt werden. Sie erbrachte bessere Resultate als zum Beispiel der auf Texturinformation basierende EBIS-Klassifikator. Durch einen Vergleich der

Spektralkurven und einer entsprechenden Reduzierung und Zusammenfassung der Trainingsgebiete wurde anschließend manuell versucht, das Ergebnis zu optimieren. Danach erfolgte das Ersetzen der Trainingsgebiete für die Bebauung aus der Maximum-Likelihood-Klassifikation durch die optimierten Trainingsgebiete des ISODATA-Clusterings. Nach der Klassifikation wurden insgesamt neun Klassen der Flächennutzung bestimmt (s. Tab. 5).

Tab. 5: Klasseneinteilung für die Klassifizierung der Landsat-TM-Szenen (eigener Entwurf)

<b>Klassen</b>
Wasserflächen
Waldflächen
Sonstige Grünflächen
Ackerland
Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt
Großblockbebauung
Flächen hoher Verdichtung
Flächen mittlerer Verdichtung
Flächen geringer Verdichtung

Es wurde vordergründig darauf geachtet, daß Klassen ausgegliedert wurden, die für die Beantwortung der Fragestellung geeignet sind und ein Maximum an Information enthalten. Bei der Zuordnung zu den Klassen der Wasser- und Waldflächen gab es keine Probleme. Alle Ackerflächen wurden in einer Klasse zusammengefaßt, da die Feldfrucht für die Fragestellung uninteressant ist. Alle weiteren vegetationsbestandenen Flächen, die weder den Waldflächen noch dem Ackerland zuzuordnen waren, wurden in einer eigenen Klasse 'Sonstige Grünflächen' zusammengefaßt. Hierzu zählen vordergründig Wiesen und Weiden. Die Klasse 'Flächen ohne Vegetation' mußte mit dem Zusatz 'zum Aufnahmezeitpunkt' versehen werden, da es sich hierbei sowohl um die Tagebauflächen als auch um brachliegende, frisch eingesäte, abgeerntete oder umgepflügte Felder handelt. Daneben wurden vier Klassen bebauter Fläche ausgewiesen. Neben der Klasse 'Großblockbebauung' ließ sich eine Einteilung in drei Klassen unterschiedlicher Verdichtung vornehmen. Diese verbale Unterteilung beruht auf rein visuellen Grundlagen, nicht auf statistischen Daten.

Nach der Klassifikation kamen Verfahren zur zusätzlichen Verbesserung der Klassifikation zur Anwendung. Darauf folgte der Test der Güte der Klassifikation. Hierzu wurden pro Klasse in Abhängigkeit von ihrem Flächenanteil an der Gesamtfläche unterschiedlich viele Kontrollpunkte nach dem Zufallsprinzip verteilt und mittels Luftbildern, Ortskenntnis und Geländebegehung überprüft. Die mittlere Genauigkeit beider Szenen lag bei über 85 % für die ausgewiesenen Klassen (vgl. Tab. 5). Für solch eine detaillierte Unterteilung entspricht dies einer relativen hohen Genauigkeit.

Zum Vergleich sei auf MAUS (1994, S. 195) verwiesen, der in Siedlungsflächen mit 90 % Klassifizierungsgenauigkeit lediglich zwischen hoher und geringer Dichte unterscheiden konnte.

Die monotemporalen Klassifikationen wurden in einem nächsten Schritt interpretiert und mit den Rohszenen verglichen. Es folgte ein Vergleich mit den Referenzdaten der Strukturtypen und denen der Flächennutzung (s. Tab. 4). Hierzu wurden neben einer visuellen Interpretation die Raster- mit den Vektordaten mittels digitaler Verarbeitungsschritte verschnitten. Durch die digitale Überlagerung beider klassifizierten Bilder konnte die multitemporale Betrachtung erfolgen, die einen unmittelbaren Vergleich der einzelnen Flächennutzungsklassen zuließ.

Die Abbildung 2 faßt diejenigen Arbeitsschritte kurz zusammen, die die für die Fragestellung - speziell beim Test verschiedener Klassifikationsverfahren - besten Ergebnisse erbracht haben.

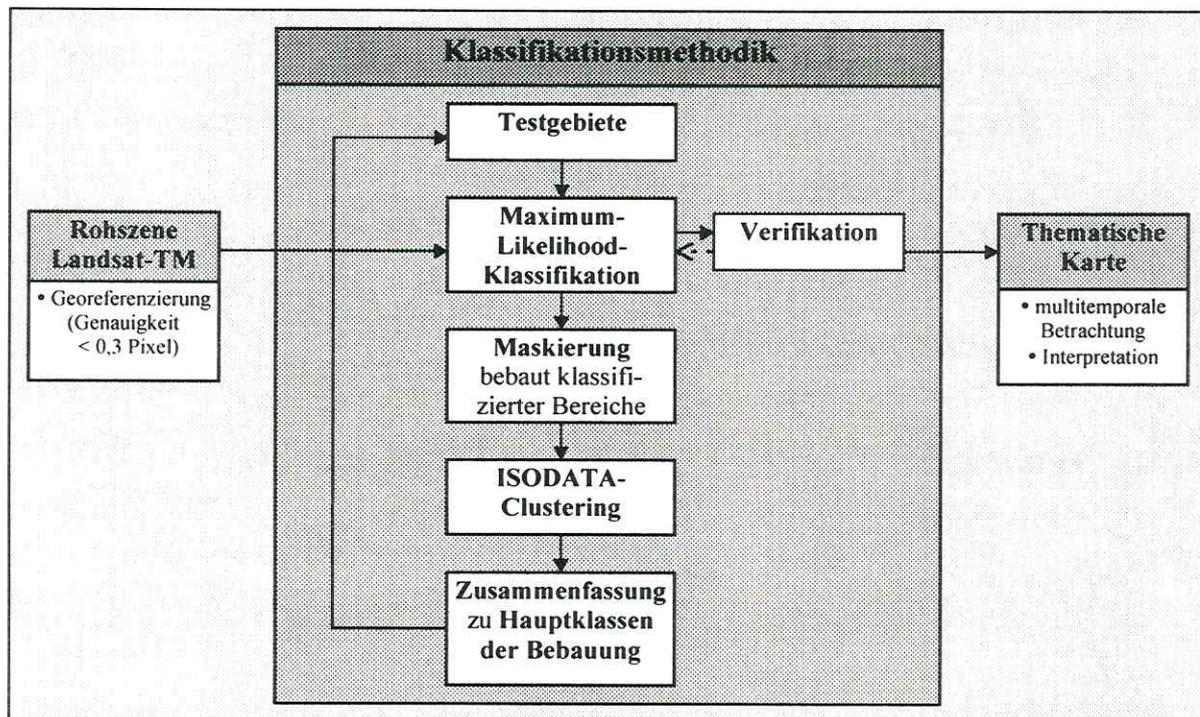


Abb. 2: Arbeitsschritte der Klassifikation (eigener Entwurf)

Für die Berechnung der Flächengrößen der einzelnen Klassen sowie für die flächenhaften Vergleiche der Klassen untereinander war eine Maskierung der Bergbauflächen auf Ground-Truth-Basis nötig, da in den Tagebauflächen aufgrund spektral ähnlich erscheinender Oberflächen Klassen bebauter Flächen ausgewiesen wurden. Eine entsprechende Maske erhöht die Genauigkeit des Klassifikationsergebnisses.

## **2.3 Interpretation der Ergebnisdaten**

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf den im Kapitel 2.2.5 beschriebenen, optimierten Arbeitsschritten (s. Abb. 2).

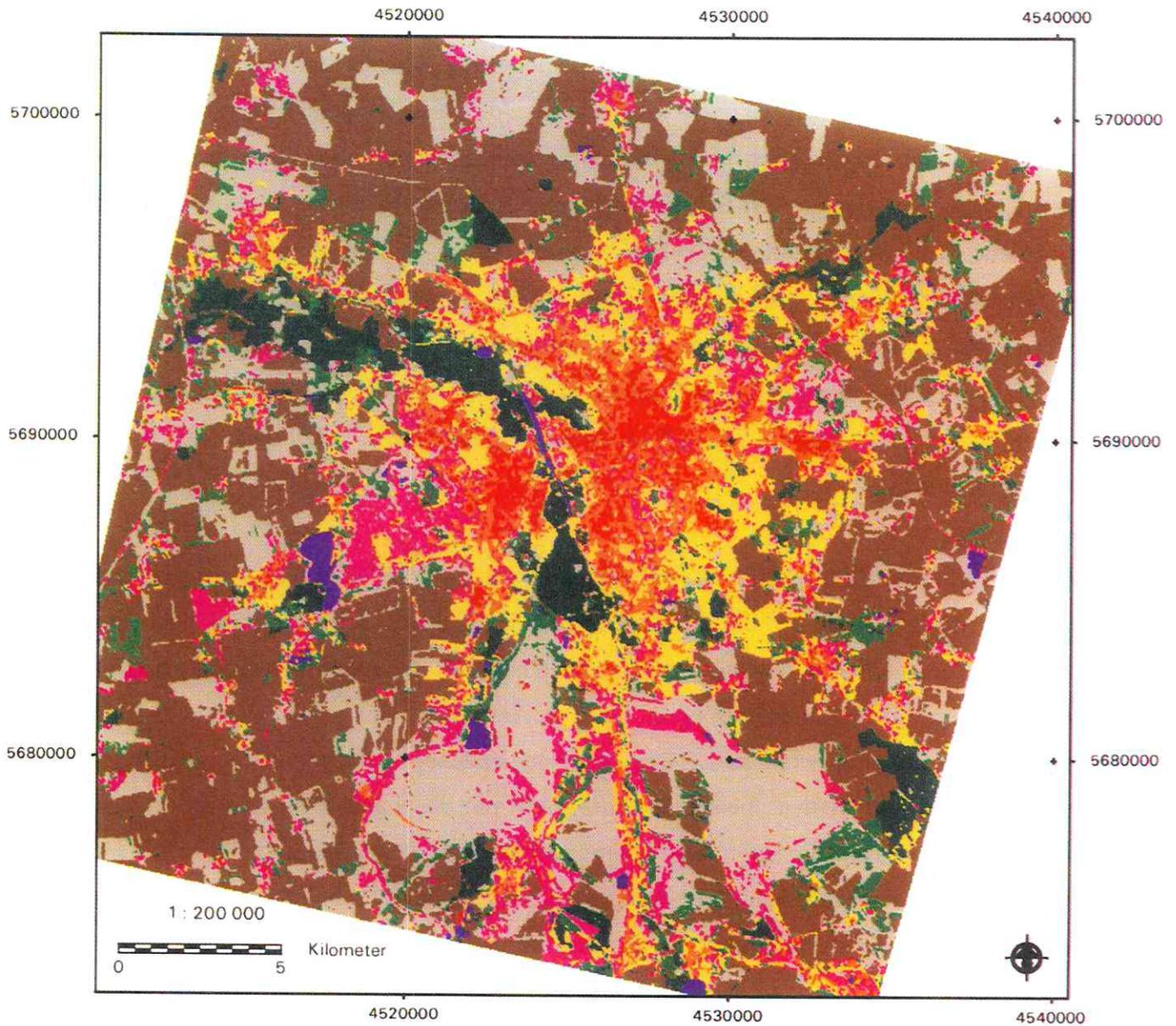
### **2.3.1 Klassifikation der Landsat-TM-Szene Mai 1992 (monotemporal)**

Das klassifizierte Landsat-TM-Bild von Mai 1992 (s. Abb. 3) läßt eine sternförmige Ausbreitung der Stadt entlang radialer Achsen durch die Thematisierung des Bildes in bebaute und nicht bebaute Bereiche deutlich werden. Innerhalb der Bebauung sind Bereiche der unterschiedlichen Verdichtung differenziert, die einen Gradienten der Versiegelungsdichte vom Stadttinneren zu den Randbereichen hin definieren lassen. Die Flächen hoher Verdichtung liegen im Innenstadtbereich sowie in Plagwitz (westlich des Elsterstaubeckens) und Connewitz (Süden der Stadt). Sie werden von der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' umgeben, die wiederum von Flächen geringer Verdichtung umgeben werden. Diese drei 'Stadtklassen' sind sogenannte 'land-cover-Klassen'. Sie bestehen im Rohbild infolge der Kleinstrukturierung innerhalb der Stadt überwiegend aus Mischpixeln (Häuser + Gärten + Straßen + Schatten etc.) und lassen sich deswegen entsprechend klassifizieren.

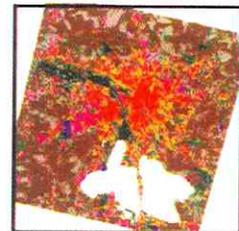
Im Gegensatz zu diesen relativ homogenen Klassen bildet sich die Klasse 'Großblockbebauung' sehr lückenhaft ab. Zumeist befinden sich innerhalb dieser Gebiete Bereiche mit Flächen ohne Vegetation. Ein Beispiel hierfür ist Grünau (im Westen der Stadt). Daneben wurden aber auch einige Gebiete als solche klassifiziert, obwohl sie nicht eindeutig dieser Klasse zuzuordnen sind (z. B. das Gebiet entlang der Prager Straße/Bereich der Alten Messe). Dies läßt sich auf Oberflächen gleicher spektraler Charakteristik zurückführen, womit sich auch die Fehlzuweisungen im Tagebau erklären lassen. Die Klassifikationsgenauigkeit der Klassen verschiedener Verdichtungen konnte in dieser Klasse nicht erreicht werden, da infolge der groben Strukturierung dieser Gebiete im Rohbild viele homogene Pixel neben wenigen Mischpixeln vorkommen. Das Spektralverhalten von hellem Beton mit Schatten und Straßen kommt neben dem größerer Grünflächen vor.

Auffallend sind die im Kapitel 2.2.2 beschriebenen Entwicklungsachsen Leipzigs, die sich entlang der Ausfallstraßen orientieren. Beispielhaft seien hier die Merseburger Landstraße (B 6) und die Dübener Landstraße (B 2) angeführt. Während an der ersten ein breiter Besiedlungsstreifen sichtbar wird, fällt dieser entlang der Dübener Landstraße schmäler aus. Hier wird die Stadtgrenze deutlich, bis zu der sich die bebauten Gebiete ausdehnen. Entsprechendes zeigen einzelne Orte im Umland. Beim Ort Seehausen zum Beispiel ist eine Entwicklung in Abhängigkeit von der Stadtgrenze ersichtlich. Eine Überlagerung der administrativen Stadtgrenze verdeutlicht, wie sich der Ort an

# Flächennutzung in der Stadt Leipzig 1992 - Klassifikation -



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



Maske der Tagebauflächen  
(Maßstab 1 : 1 000 000)

diese anschmiegt. Eine Entwicklung konnte nur in Richtung Nordnordwest erfolgen, obwohl im Südsüdosten Freiflächen vorzufinden sind.

Die Erkennbarkeit von kleinen Dörfern ist insgesamt sehr gut. So werden zum Beispiel im Nordosten der Stadt alle Dörfer in der Klassifikation erkannt - zum Beispiel Hohenheida, Plaußig, Seegeritz, Cradefeld, Pönitz, Merkwitz und Gottscheina. Auch die Straßendörfer mit ihrer typisch parallelen Anordnung der Häuser beiderseits einer geradlinig verlaufenden Straße zeichnen sich in der Klassifizierung deutlich ab. Ein Beispiel ist Frankenheim im Norden des Kulkwitzer Sees. Die bebaute Fläche (typische Bauernhöfe mit Häusern an der Straße, Stallungen und Hinterhöfen, die in Kleingärten und sich daran anschließenden Felder übergehen) ist groß genug, um vom 30 mal 30 Meter Raster erfaßt zu werden. Die Straße selber läßt sich nicht erkennen, ist aber anhand der Feldgrenzen im Westen und Osten in ihrem Verlauf zu erahnen. (Für die Erkennbarkeit der Straßenverläufe wäre eine Beibehaltung der Unterscheidung verschiedener Feldfrüchte bei der Klassifizierung von Vorteil.)

Während sich kleinere Straßen im klassifizierten Bild aufgrund der geringen geometrischen Auflösung von 30 mal 30 Metern und der damit induzierten Häufigkeit von Mischpixeln nicht erkennen lassen, stellt bei den größeren Straßen - wie den Ausfallstraßen - die an ihr befindliche, linear angeordnete Bebauung ein Identifikationsobjekt dar. Die Autobahnen hingegen bilden sich aufgrund ihrer Breite relativ gut ab, obwohl sie teilweise durch angrenzende Bereiche - wie Ackerland - in der Klassifikation überdeckt werden. Sie erscheinen zumeist mit der Signatur für Großblockbebauung. Dies ist wiederum ein Hinweis auf einen Fehlerbereich bei einer Klassifikation, der in der spektralen Ähnlichkeit von Objekten liegt. Nur aufgrund des linienhaften Abbildungsverhaltens und der Ortsvorkenntnis kann auf eine Autobahn geschlossen werden.

Durch die Überlagerung der Klassifikation mit der administrativen Stadtgrenze wird visuell die im Kapitel 2.2.2 dargestellte Konzentration der bebauten Fläche innerhalb dieses Bereiches sichtbar (s. Abb. 3). Die flächenhafte Verteilung der Klassen der Flächennutzung in Hektar belegt dieses gegensätzliche Verhältnis zwischen der Stadt und dem Umland mit Zahlen (s. Abb. 4 u. 5). Während die Stadt laut der Klassifikation zu ca. zwei Drittel der Fläche bebaut ist, verzeichnet das Umland lediglich ein Drittel bebaut Fläche. Diese Verhältnisse sind aufgrund der im Kapitel 2.4 diskutierten Fehler der Klassifikation relativ zu betrachten.

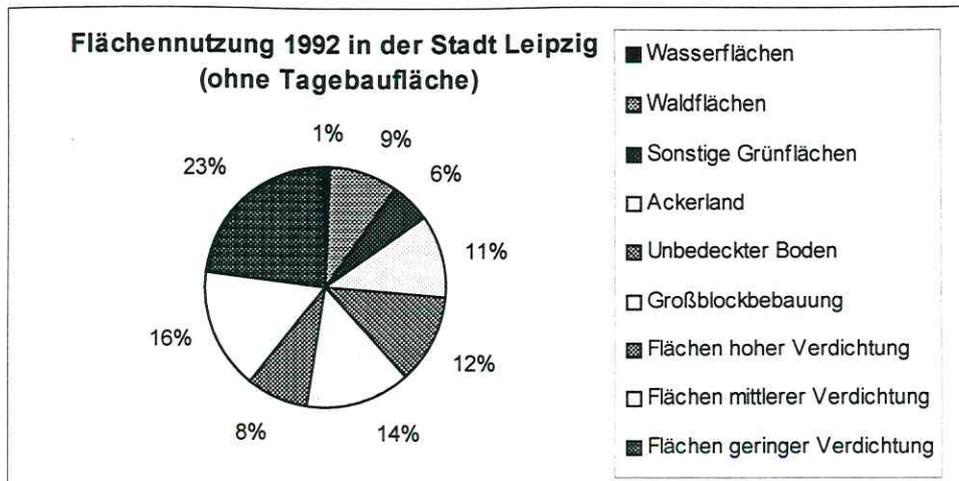


Abb. 4: Flächennutzung in der Stadt Leipzig 1992 (eigene Berechnung)

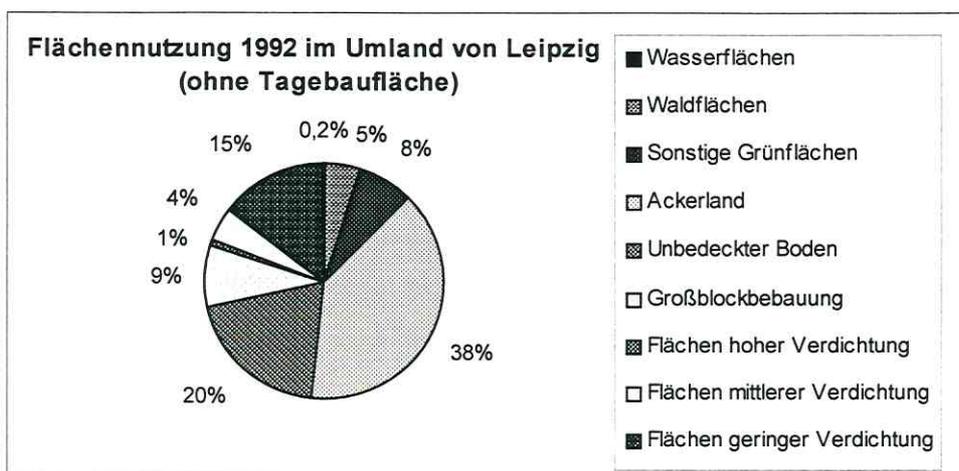


Abb. 5: Flächennutzung im Umland von Leipzig 1992 (eigene Berechnung)

Während sich die Wald- und Wasserflächen relativ gut abbilden (z. B. der Auenwald als deutlicher Streifen im Südwesten der Stadt und der Kulkwitzer See ebenfalls im Südwesten der Stadt), sind die Klassen 'Sonstige Grünflächen', 'Ackerland' und 'Flächen ohne Vegetation' mit Unsicherheiten infolge des Aufnahmedatums Mai und der damit verbundenen Phänologie behaftet.

Insbesondere die klassifizierten Flächenbereiche ohne Vegetation weisen bei Überprüfung einen Überlappungsbereich mit anderen Klassen auf. Infolge des gehäufteten Auftretens der Vermischung dieser Klasse mit der der Großblockbebauung kann vorsichtig 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. Diese Aussage ist ebenfalls nur relativ zu betrachten und läßt keinen eindeutigen Schluß zu. Die

Verifizierung mittels Referenzmaterialien stellt ein Muß dar. Während die Klassifikation 12 % der Stadtfläche Leipzigs als Fläche ohne Vegetation ausweist (s. Abb. 4), haben Untersuchungen anhand von Luftbildern lediglich 5 % mit Nutzung als Brach- und Umwidmungsflächen ergeben. Dadurch, daß auch einige Feldflächen aufgrund der Phänologie in diese Klasse hineinfallen, wird diese Klasse bevorteilt. Luftbildauswertungen haben in den Ortsteilen Heiterblick, Paunsdorf und Schönefeld-Ost (s. Abb. 1) eine Dominanz der Brach- und Umwidmungsflächen ergeben. Dies läßt sich in der Klassifikation nur im Ortsteil Schönefeld nachvollziehen. Markante Flächenanteile an der Nutzungsklasse 'Flächen ohne Vegetation' haben zudem Thekla, Mockau-Nord, Großzschocher und Schönau, die auch mit Hilfe von Luftbildern erkannt worden sind (NEUMANN 1994, S. 58).

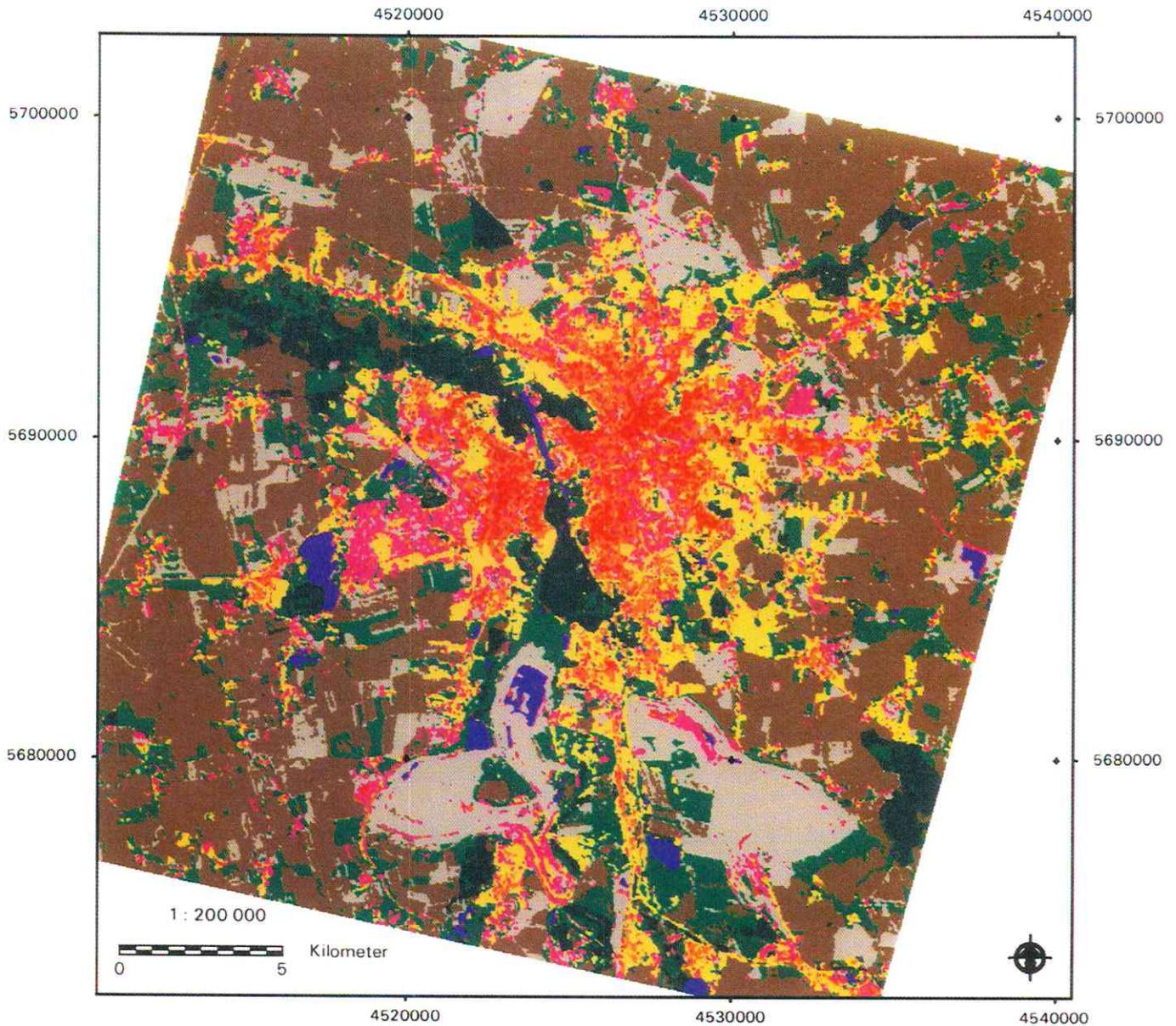
Zusammenfassend ergibt sich, daß die Klassifikation eines Landsat-TM-Bildes die Lage der Stadt, ihre räumliche Ausprägung und unterschiedliche Verdichtung erkennen läßt. Sie stellt eine Vorabinformation zur ersten Orientierung dar, die in der Wirklichkeit überprüft werden muß. Die Klassifikation erlaubt eine gute visuelle und flächenhafte Darstellung der Verteilung der 'Stadtklassen' (= Großblockbebauung; Flächen geringer, mittlerer und hoher Verdichtung). Kleinere Elemente einer Stadt - wie das Straßennetz oder unterschiedliche Bauarten (Blockrandbebauung, mehrgeschossiger Wohnungsbau, etc.) - sind nicht erkennbar. Ebenso lassen sich keine Industrie- und Gewerbegebiete oder Verkehrsflächen eindeutig identifizieren.

### **2.3.2 Klassifikation der Landsat-TM-Szene Juli 1994 (monotemporal)**

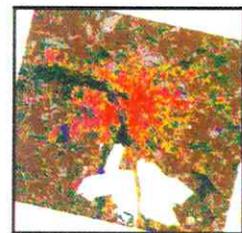
Die Klassifikation des Landsat-TM-Bildes vom Juli 1994 (s. Abb. 6) erscheint homogener als die der Landsat-TM-Szene von Mai 1992. Wieder wurden die neun Klassen ausgegliedert (vgl. Tab. 5), die ein nahezu gleiches Verhältnis von bebauter zu unbebauter Fläche in der Stadt und im Umland aufweisen wie die Klassifikation von 1992 (s. Abb. 7 u. 8 im Vergleich zu Abb. 4 u. 5).

Die Flächen hoher Verdichtung zeigen sich 1994 weniger geballt, dafür weiter gestreut als in der Szene von 1992. Es lassen sich vier - statt drei - homogenere Bereiche in dieser Klasse ausgliedern. Zusätzlich läßt sich ein Gebiet westlich des Elsterstaubeckens erkennen. Diese Klasse der Flächen hoher Verdichtung wird - wie in der Klassifikation 1992 - umgeben von den Flächen mittlerer Verdichtung, die sich sternförmig ausprägen und von den Flächen geringer Verdichtung umgeben sind. Letztere erstrecken sich radial in die Außengebiete und lassen die klare Abgrenzung zwischen bebauten und unbebauten Gebieten zu. Die Identifikationsmöglichkeit der 'Stadtklassen' kann bei

# Flächennutzung in der Stadt Leipzig 1994 - Klassifikation -



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



Maske der Tagebaugebiete  
(Maßstab 1 : 1 000 000)

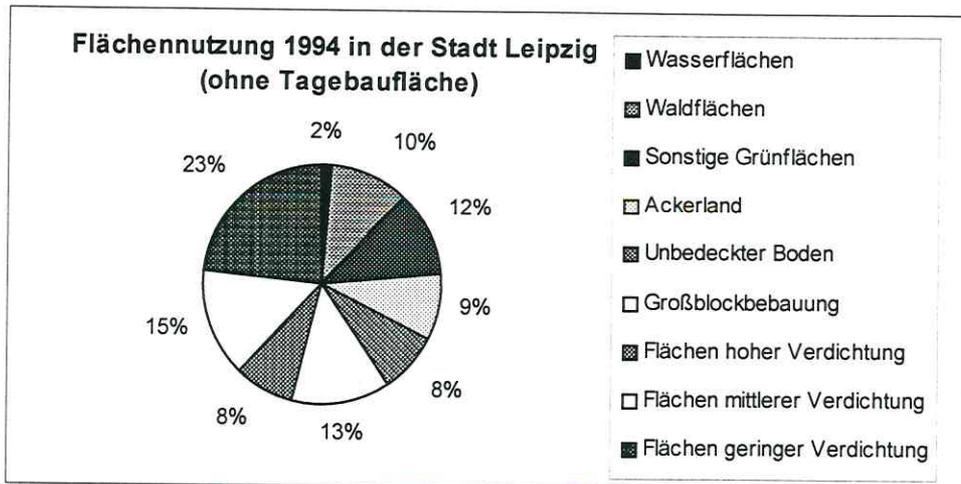


Abb. 7: Flächennutzung in der Stadt Leipzig 1994 (eigene Berechnung)

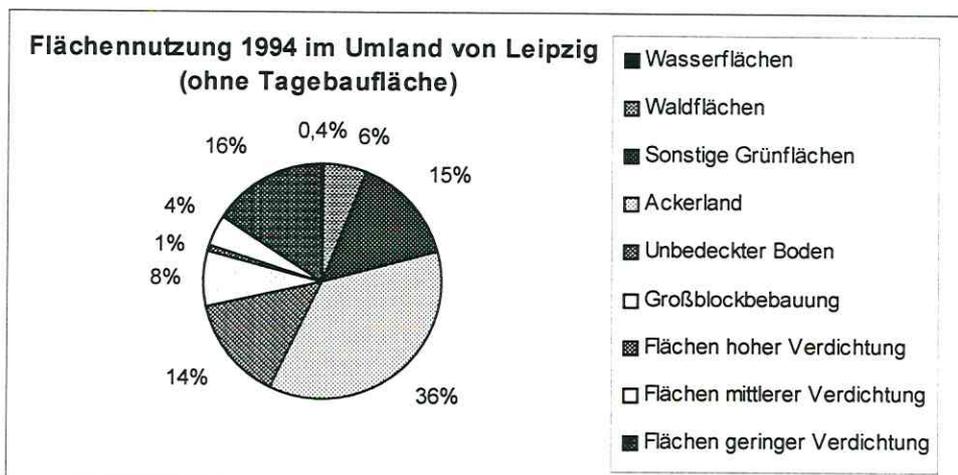


Abb. 8: Flächennutzung im Umland von Leipzig 1994 (eigene Berechnung)

Sommeraufnahmen unterschiedlicher Phänologie (hier Mai und Juli) demnach als annähernd gleich gut angesehen werden.

Kleinere Strukturelemente sind auch in dieser Klassifikation nur schwer erkennbar. Während sich zum Beispiel der Saale-Elster-Kanal deutlicher abbildet als 1992, verschwindet die Elster im Auenwald im Norden der Stadt gänzlich. Dies zeigt den Einfluß der Vegetation, während beim Elster-Saale-Kanal die Lageabweichung der Pixel zwischen beiden Aufnahmen eine Rolle spielen könnte. Diese unterschiedliche Erkennbarkeit läßt sich ebenfalls an den Ausfallstraßen und Autobahnen nachvollziehen. Anhand der Bebauung jedoch, die sich an diese übergeordneten Straßen 'anschmiegt', lassen sich zumeist die Achsen in ihrem Verlauf verfolgen und in ungenauen Bereichen durch gedachte Geraden vervollständigen. Das Straßennetz innerhalb der Stadt ist demzufolge auch 1994 wegen der geringen Auflösung des Landsat-TM nicht erkennbar. Nur durch die

sternförmige Ausbreitung der Klassen der mittleren und geringen Verdichtung läßt sich eine Struktur erahnen und eine gewisse innerstädtische Zuordnung tätigen.

Problematisch stellen sich auch hier die Klassen 'Großblockbebauung' und 'Flächen ohne Vegetation' dar. Letztere greifen wieder in die Flächen mit Großblockbebauung hinein, wobei der im Kapitel 2.3.1 aufgestellte Zusammenhang zwischen beiden mit ableitbarem Schluß auf Bebauungsgebiete in dieser Abbildung unsicher wird. Es sollte daher jede Fläche der Klasse 'Flächen ohne Vegetation' auf ein mögliches Bebauungsgebiet hin überprüft werden. Ob eine Fläche ohne Vegetation hingegen zur Klasse 'Ackerland' gehört, läßt sich nur multitemporal nachweisen. Der Vergleich der Klassen von 1992 mit 1994 zeigt aufgrund der unterschiedlichen Phänologie zu den Aufnahmezeitpunkten 1992 Flächen ohne Vegetation, die 1994 eindeutig als Ackerland klassifiziert worden sind. Das Optimum wären pro Untersuchungsjahr drei Aufnahmen unterschiedlicher Phänologie. Wenn eine Fläche zu einem der drei Aufnahmezeitpunkte eines Jahres eindeutig als Ackerland klassifiziert werden kann, ist die mit großer Wahrscheinlichkeit keine Fläche ohne Vegetation, die zum Beispiel auch ein Bebauungsgebiet sein könnte.

Bei Überlagerung der administrativen Stadtgrenze kann das Ergebnis der Luftbildinterpretation nachvollzogen werden, daß die Stadt sich durch eine 'hohe Dichte und Geschlossenheit der bebauten Fläche' auszeichnet. In den Stadtrandbereichen kommen scharfe Übergänge zwischen Landwirtschaftlicher Nutzfläche und bebauter Stadtfläche neben Flächen vor, in denen die städtische Bebauungsstruktur mit den Umlandgemeinden verschmilzt (s. Abb. 9). Wenn hier in die Historie zurückgegangen wird, findet sich die Erklärung. Es ist das

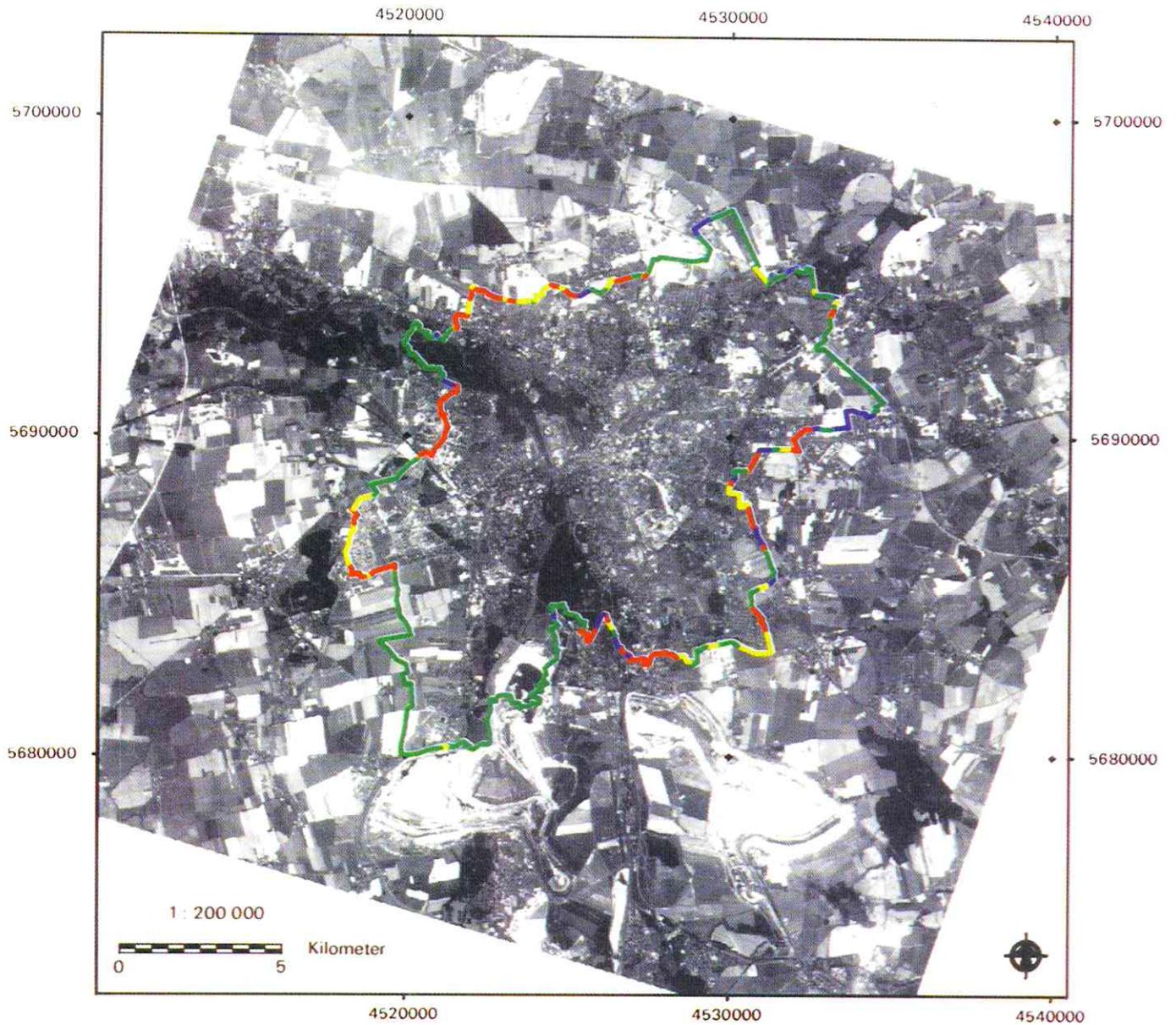
"[...] Ergebnis eines intensiven Industrie- und Bevölkerungswachstums in diesen Gemeinden in den ersten 40 Jahren dieses Jahrhunderts [...]. Dieser Suburbanisierungsprozeß [...] fand nach dem 2. Weltkrieg keine Fortsetzung (NEUMANN 1994, S. 58)."

Auf diesem Wege läßt sich also auch anhand der Klassifikation mittels Referenzdaten indirekt ableiten, in welchen Randbereichen der Stadt alte und in welchen neuere Bebauungsstrukturen zu finden sein können.

### **2.3.3 Verschneidungsprodukt der Klassifikationen Mai 1992 und Juli 1994 (multitemporal)**

Mit Hilfe der Digitalen Bildverarbeitung konnten die beiden Klassifikationen pixelweise nach dem im Kapitel 2.2.5 beschriebenen Verfahren auf Flächennutzungsveränderungen hin verglichen werden, die in diesem Zusammenhang als Veränderungen in den jeweils zugeordneten Klassen zu verstehen sind. Die Zuweisung der Bildelemente zu den einzelnen Klassen kann bei unterschied-

# Ausprägung der Bebauung an der Stadtgrenze



- bebaute Fläche (Stadt) grenzt an bebaute Fläche (Umland)
- bebaute Fläche (Stadt) grenzt an unbebaute Fläche (Umland)
- unbebaute Fläche (Stadt) grenzt an bebaute Fläche (Umland)
- unbebaute Fläche (Stadt) grenzt an unbebaute Fläche (Umland)

Hintergrundbild: SPOT-PAN-Szene 1994

lichen 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.

Das Ergebnis ist eine Kartenserie (s. Abb. 10 bis 17), in der aufgrund des Themas dieser Arbeit nur die Veränderungen der vier Bebauungsklassen dargestellt sind. Neben der Darstellung der Veränderung 1992 zu 1994 (s. Abb. 11, 13, 15, 17) ist auch die Darstellung in umgekehrter Richtung 1994 zu 1992 (s. Abb. 10, 12, 14, 16) interessant. Während die eine Darstellungsform die Veränderung zeigt, was aus den Flächen 1992 geworden ist, zeigt die umgekehrte Darstellung, was 1992 beim Istzustand 1994 war. Die Abbildungen präsentieren die jeweilige Klasse in ihrer entsprechenden Farbe. Alle Flächen in Gelb beispielsweise (s. Abb. 13) zeigen die Gebiete, die 1992 und 1994 Flächen hoher Verdichtung waren. Alle ihr farblich abgesetzten Flächen veranschaulichen Veränderungen. Die jeweils zugeordnete Farbe entspricht der zum entsprechenden Zeitpunkt vorherrschenden Nutzung. Für die Abbildung 13 bedeutet dies, daß Flächen, die 1992 den Flächen hoher Verdichtung und 1994 den Flächen mittlerer Verdichtung zugeordnet werden konnten, in Rotorange abgebildet werden.

Die Karten der Großblockbebauung (s. Abb. 10 u. 11) erscheinen sehr inhomogen und sind entsprechend schwer interpretierbar. Die Abbildung 10 läßt anhand einer Pixelscharung die beiden größeren Gebiete mit Großblockbebauung Grünau im Südwesten der Stadt und Paunsdorf im Osten der Stadt erkennen. Darüber hinaus liegen die Pixel einzeln über das gesamte Bild verstreut. Es zeigt sich somit die schon in den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 dargestellte Problematik der Abgrenzung dieser Klasse. Nur in größeren Gebieten relativ homogener Struktur läßt sich eine eindeutige Zuordnung zu dieser Klasse tätigen. Während die zahlreichen Pixel mit zugeordneter Thematik 'Flächen ohne Vegetation' in Paunsdorf ein Hinweis auf eine Veränderung, also eine Zunahme der Bebauung sein könnte, zeigen die zahlreich verstreuten Pixel der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung', daß es sich hier um Fehlklassifikationen bzw. um Klassifikationen mit hohem Unsicherheitsfaktor handeln muß. Es ist unlogisch, daß sich viele kleine Bereiche von Gebieten mittlerer Verdichtung in Gebiete mit Großblockbebauung geändert haben.

Interessant in der Karte von 1992 (s. Abb. 11) sind die Bereiche der Neuen Messe im Norden der Stadt - ein großes Neubaugebiet - und des Paunsdorf-Zentrums im Osten der Stadt - ein 1994 in der Entstehung befindliches großes Einkaufszentrum. Die Flächenanteile, die in diesen Bereichen die Klasse 'Flächen ohne Vegetation' für 1994 zeigen, würden normalerweise auf eine Abnahme der

# Veränderung der Klasse 'Großblockbebauung' 1994 - 1992

(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- 1994 Großblockbebauung; 1992 Wasserflächen
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Waldflächen
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Sonstige Grünfläche
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Ackerland
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Großblockbebauung
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Flächen ohne Vegetation
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Flächen hoher Verdichtung
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Flächen mittlerer Verdichtung
- 1994 Großblockbebauung; 1992 Flächen geringer Verdichtung

# Veränderung der Klasse 'Großblockbebauung' 1992 - 1994

(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- |   |  |
|---|--|
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Wasserflächen                 |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Waldflächen                   |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Sonstige Grünfläche           |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Ackerland                     |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Großblockbebauung             |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Flächen ohne Vegetation       |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Flächen hoher Verdichtung     |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | 1992 Großblockbebauung; 1994 Flächen geringer Verdichtung  |

Bildverarbeitung u. Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Konrad

 Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle GmbH

Bebauung hinweisen. Hier wird das bereits diskutierte Problem der Erkennbarkeit von Bebauungsgebieten deutlich.

Auffällig ist das Fehlen der zahlreich verstreuten Pixel mit klassifizierter Thematik 'Flächen mittlerer Verdichtung' innerhalb der Stadt (s. Abb. 11), die in der Abbildung 10 sichtbar waren. Werden diese Karten verglichen, könnte gefolgert werden, daß sich die Stadt insgesamt von 1992 auf 1994 verdichtet hat. Weitere Veränderungen zeigen sich im Bereich der Prager Straße (Alte Messe). Das dortige Nebeneinander unterschiedlicher Flächennutzung stellt einen Hinweis auf die rege Bautätigkeit bzw. Strukturveränderung in diesem Gebiet dar. Genauere Aussagen können nicht gemacht werden. Ein weiteres Gebiet - im Süden der Neuen Messe - fällt heraus. Auf der Abbildung 11 wird es etwa zur Hälfte als Großformbebauung und zur anderen Hälfte als Flächen geringer Verdichtung 1994 dargestellt. Demnach müßte eine Entkernung von der Großblockbebauung hin zur Ein- und Zweifamilienhausbebauung stattgefunden haben. Ein Vergleich mit der Realität zeigt, daß es in Wirklichkeit ein reines Wohngebiet mit Ein- und Zweifamilienhausbebauung ist. Auf der Gesamtklassifikation kommt diese Situation besser zum Vorschein (s. Abb. 3 u. 6).

Die Abbildungen 12 und 13 stellen die Verdichtungsgebiete (Flächen hoher Verdichtung) heraus. Neben verstreut liegenden Bereichen zeichnen sich auch solche mit einer gewissen Ballung ab. Auffällig ist der Bahnhof mit dem großen Gleiskörper, der beidemale die größte zusammenhängende Fläche darstellt, obwohl diese Zuordnung nicht richtig ist. Werden die Verkehrsflächen aus der Betrachtung herausgenommen, so verbleiben die 'Zentren', die in den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 beschrieben worden sind. Die Karte für 1994 (s. Abb. 12) 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. Sie befinden sich zumeist in den Randbereichen der Flächen hoher Verdichtung - ein Hinweis auf eine eventuelle Zunahme der Verdichtung. Andere Veränderungen können aufgrund ihrer geringen Anzahl vernachlässigt und auf Fehlklassifikationen zurückgeführt werden. Die Abbildung 13 veranschaulicht das entgegengesetzte Bild der Entdichtung. Flächenmäßig nehmen diese Bereiche einen größeren Anteil als die der Verdichtung ein. Die Untersuchung zweier besonders auffälliger Stichprobenflächen haben diese Tendenz bestätigt. Hierzu zählt ein überwiegend industriell geprägtes Gebiet nordwestlich der Eisenbahnanlage, in dem zwischen 1992 und 1994 zahlreiche Abrisse stattgefunden haben. Entsprechendes gilt für das sich rechteckig abbildende Gebiet in Großschocher im Südwesten der Stadt. Weitere Lokalisationen im Einzelpixelbereich fallen aufgrund der fehlerbehafteten Georeferenzierung und oftmals flächenmäßig sehr kleinen Veränderungen innerhalb der Stadt schwer. Die auffallende Scharung der Bereiche mit Veränderungen an den Randbereichen der Flächen einer

# Veränderung der Klasse 'Flächen hoher Verdichtung' 1994 - 1992

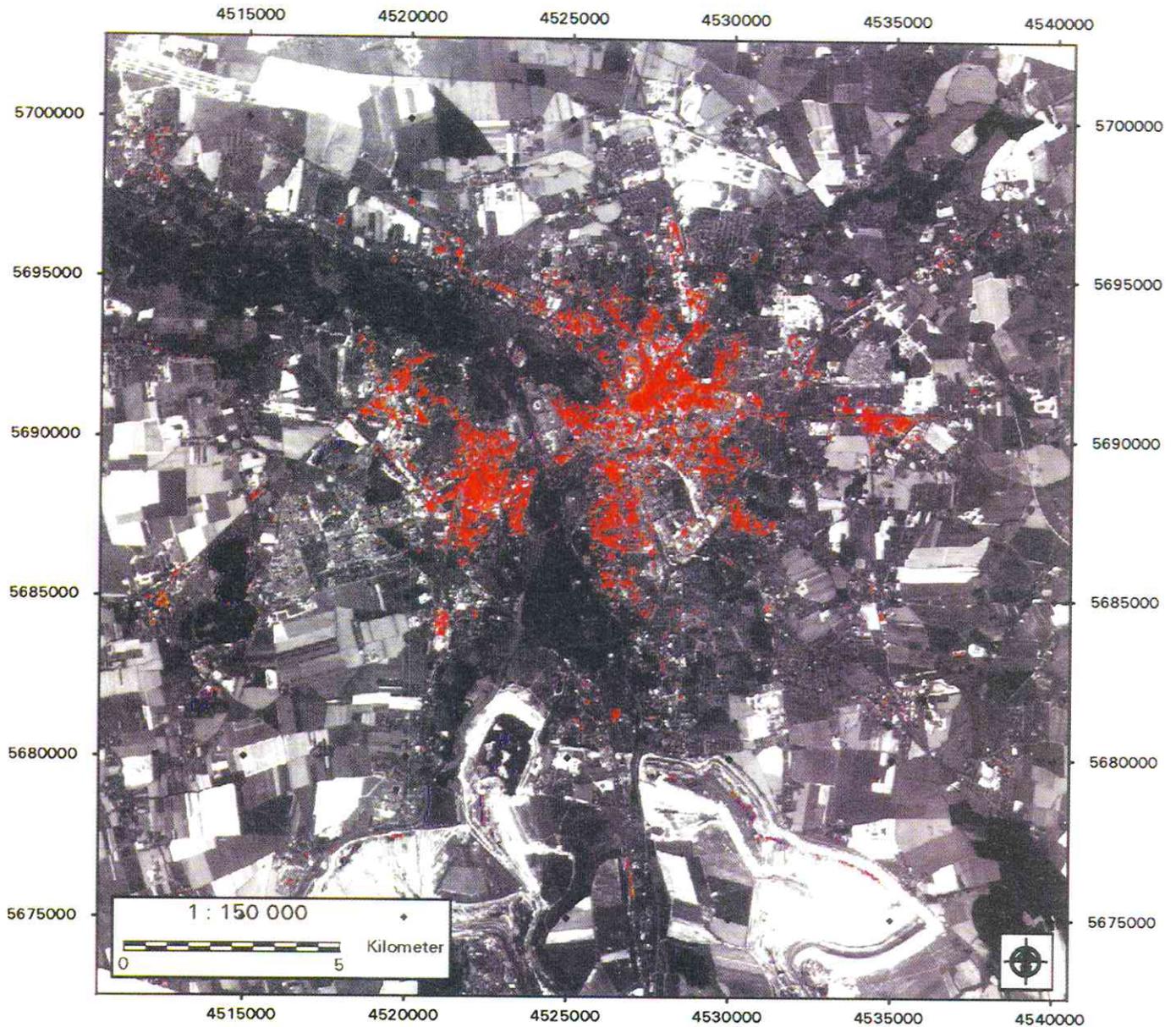
(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Wasserflächen
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Waldflächen
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Sonstige Grünfläche
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Ackerland
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Großblockbebauung
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Flächen ohne Vegetation
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Flächen hoher Verdichtung
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Flächen mittlerer Verdichtung
- 1994 Flächen hoher Verdichtung; 1992 Flächen geringer Verdichtung

# Veränderung der Klasse 'Flächen hoher Verdichtung' 1992 - 1994

(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994; dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Wasserflächen
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Waldflächen
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Sonstige Grünflächen
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Ackerland
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Großblockbebauung
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Flächen ohne Vegetation
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Flächen hoher Verdichtung
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Flächen mittlerer Verdichtung
- 1992 Flächen hoher Verdichtung; 1994 Flächen geringer Verdichtung

Klasse können auch auf die unterschiedliche Phänologie zurückzuführen sein. Auf diese zwei Unsicherheitsbereiche lassen sich auch die Veränderungen im Bereich der beiden Wasserläufe Elsterstaubecken und Saale-Elster-Kanal zurückführen. Nachweislich haben hier keine gravierenden Veränderungen stattgefunden.

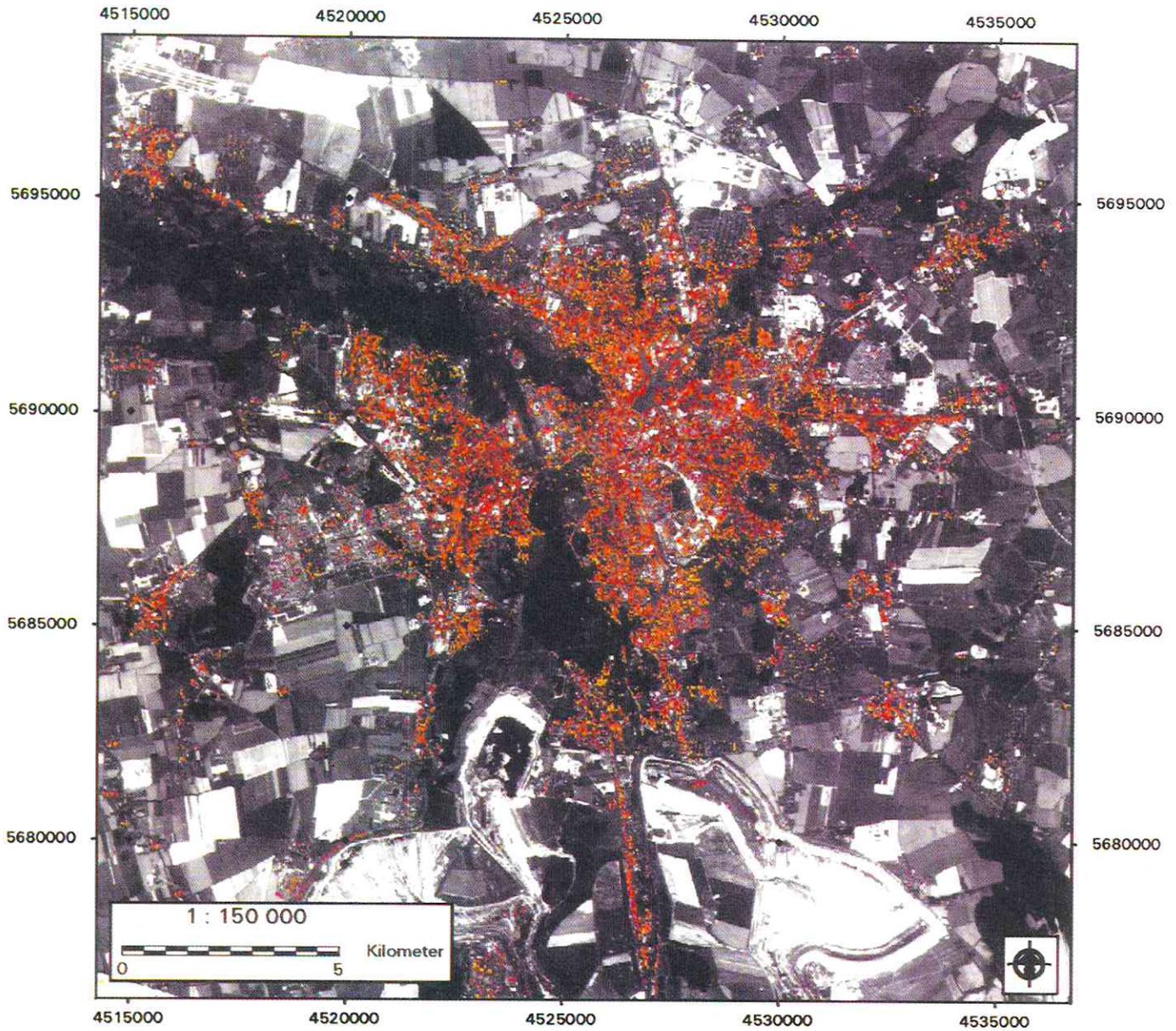
Die Karten der Flächen mittlerer Verdichtung zeigen einen großen Streuungsbereich dieser Klasse mit relativ gleichmäßiger Dichte und Durchmischung mit Bereichen anderer Nutzung (s. Abb. 14 u. 15). Da die relative Homogenität der Flächen fehlt, wird eine Interpretation erschwert. Die Karte für 1994 (s. Abb. 14) läßt hauptsächlich Veränderungen von den Flächen hoher Verdichtung und -weniger stark ausgeprägt - von den Flächen geringer Verdichtung hin zu den Flächen mittlerer Verdichtung zwischen 1992 und 1994 erkennen. Auffallend ist wiederum - wie schon bei Betrachtung der Karten der hohen Verdichtung (s. Abb. 12 u. 13) - die Konzentration der Veränderungsflächen in den Randbereichen der Flächen. Die Tendenz zur Entkernung in Großschocher und um den Hauptbahnhof herum zeichnet sich wieder deutlich ab. Als weitere mögliche sogenannte 'entkernte' Gebiete werden Plagwitz, der Kernbereich der Stadt, Reudnitz, Stötteritz und Lindenau dargestellt - alles Gebiete, in denen tatsächlich große Umstrukturierungen stattgefunden haben. Die Bereiche mit einer Veränderung von Flächen geringer hin zur mittleren Verdichtung lassen sich schwerer zuordnen, da sie weit verstreut und ohne deutliche Struktur in dieser Darstellung sind. Bereiche von Markkleeberg könnten Hinweise für eine solche Verdichtung bieten. Die Größenordnung von 'gering verdichtet' zu 'mittel verdichtet' würde dem Charakter der Stadt entsprechen.

Dies läßt sich ebenfalls der Abbildung 15 entnehmen, die wenige Veränderungen innerhalb dieser Klasse zeigt. Die Karte enthält insgesamt eine inhomogenere Verteilung von veränderten und unveränderten Bereichen. Auf die Veränderungen hin zur hohen Verdichtung und zur Großblockbebauung (s. Abb. 10 u. 11) wurde bereits im Zusammenhang mit den Karten der Flächen hoher Verdichtung hingewiesen (s. Abb. 12 u. 13). Die Flächen geringer Verdichtung haben ein sehr geringes Aufkommen. Demzufolge hat in der Stadt keine Veränderung von mittel zu gering verdichteten Flächen hin stattgefunden.

Die Veränderung der Flächen geringer Verdichtung veranschaulichen die Abbildungen 16 und 17. Bei beiden Karten verdeutlicht sich die schon erwähnte Lage dieser Gebiete hauptsächlich in den Stadtrandbereichen. Da die Flächen homogener sind, läßt sich folgern, daß entweder Pixel dieser Klasse mit einer hohen Genauigkeit zugeordnet werden, oder daß diese Flächen tatsächlich einheitlicher gestaltet sind und von wenigen Bereichen anderer Klassen durchmischt werden. Beide Karten haben ein ähnliches Aussehen und unterscheiden sich nur in Details. Bei der Abbildung 16 fallen

# Veränderung der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' 1994 - 1992

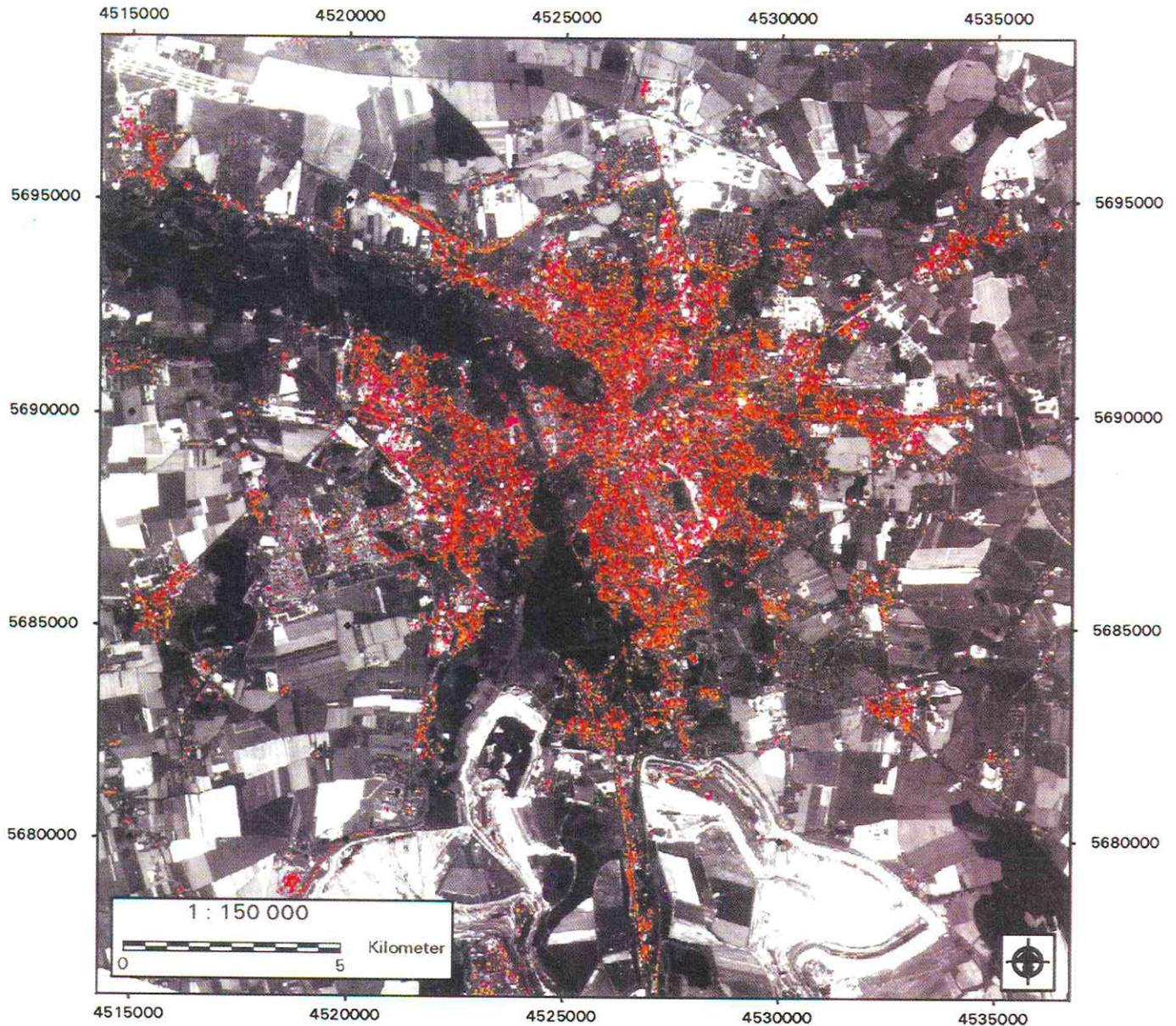
(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- |   |  |
|---|--|
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Wasserflächen                 |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Waldflächen                   |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Sonstige Grünflächen          |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Ackerland                     |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Großblockbebauung             |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Flächen ohne Vegetation       |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Flächen hoher Verdichtung     |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | 1994 Flächen mittlerer Verdichtung: 1992 Flächen geringer Verdichtung  |

# Veränderung der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' 1992 - 1994

(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Wasserflächen
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Waldflächen
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Sonstige Grünflächen
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Ackerland
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Großblockbebauung
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Flächen ohne Vegetation
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Flächen hoher Verdichtung
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Flächen mittlerer Verdichtung
- 1992 Flächen mittlerer Verdichtung; 1994 Flächen geringer Verdichtung

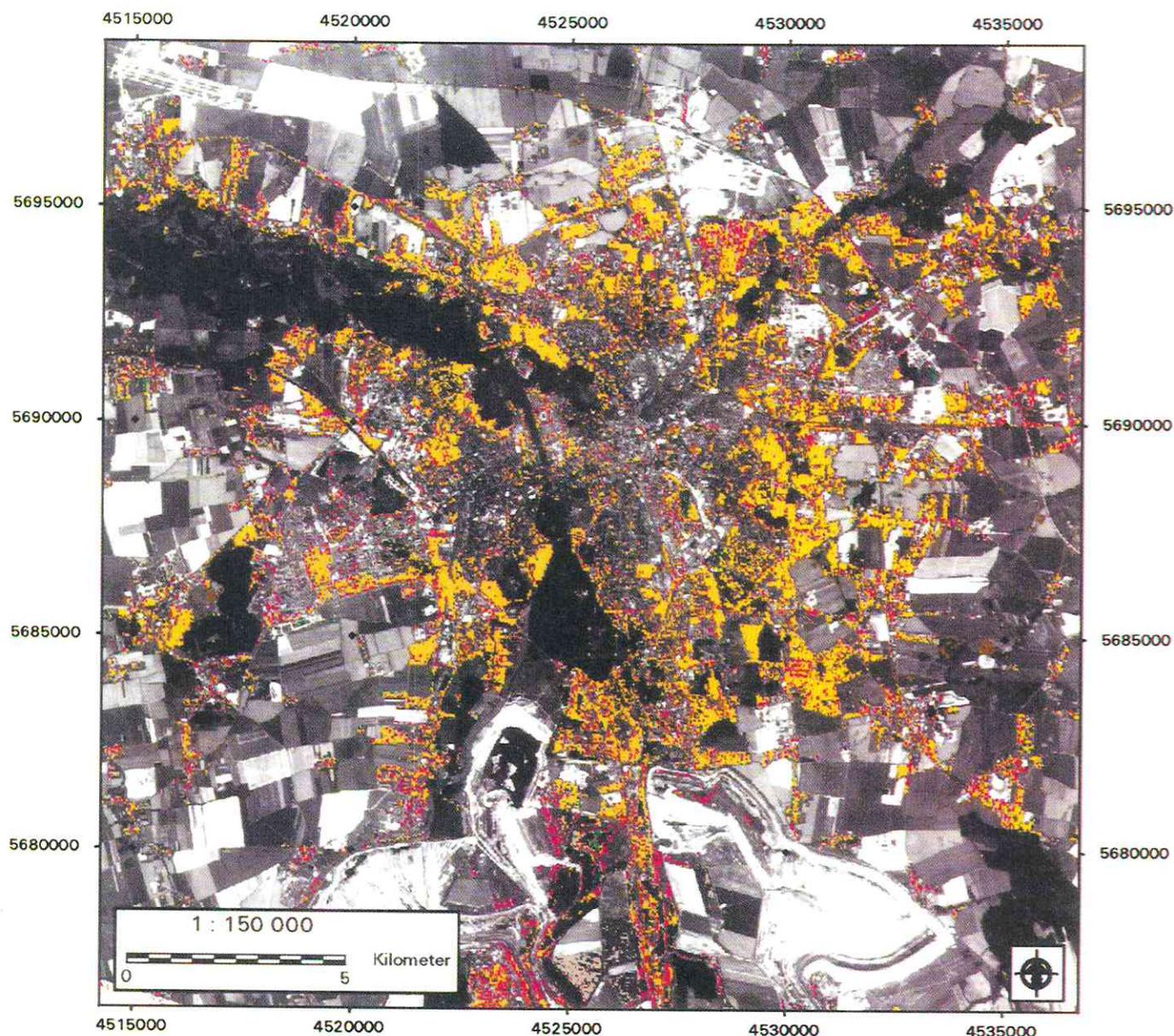
vor allem die Bereiche der 1992 als Großblockbebauung klassifizierten Pixel im Süden der Neuen Messe und in weiteren, kleineren Gebieten auf (vgl. S. 16 ff.). In der Abbildung 17 erscheinen relativ wenige Veränderungsbereiche, die aber 1994 den verschiedensten Klassen zugeordnet werden. Die Klasse '1992 Flächen geringer Verdichtung, 1994 Flächen mittlerer Verdichtung' ist kaum innerhalb der Stadt zu finden. Beim Vergleich einiger dieser Flächen mit der Realität fällt auf, daß die Pixel, die Veränderungen anzeigen, zumeist nicht in Bereichen mit Kleingartensiedlungen (die in die Klasse 'Flächen geringer Verdichtung' fallen) vorkommen. In den übrigen Bereichen könnte dies ein Hinweis auf eine mögliche Verdichtungszunahme sein. Da die pixelweise Überprüfung sehr ungenau bzw. schwierig ist, läßt sich aus dieser Karte aber lediglich ableiten, wo eine mögliche Scharung von Veränderungen vorkommen könnte. Als zwei Beispielgebiete hierfür kommen Markkleeberg und Lössnig in Frage. Auffällig sind zudem größere Gebiete, die 1992 als gering verdichtet und 1994 als Ackerland klassifiziert worden sind (z. B. Gebiet in Paunsdorf im Nordosten der Stadt). Ein Vergleich der entsprechenden Luftbilder beider Jahre ergibt aber das Vorliegen einer Fehlklassifikation 1994, da keine Veränderung stattgefunden hat.

Die oben genannte Kartenserie ist in der Abbildung 18 in abgeänderter und zusammengefaßter Form dargestellt, um - in Bezug zur Fragestellung der Urbanisierung - die Lage der Veränderungsflächen vom bebauten zum unbebauten Zustand und umgekehrt zu verdeutlichen. Durch die gewählte Darstellungsform der Klassifikation auf einer SPOT-PAN-Szene mit überlagerter administrativer Stadtgrenze lassen sich die einzelnen Bereiche besser zuordnen. Während beide Klassen '1992 un-bebaut und 1994 bebaut' (grün) und '1992 bebaut und 1994 unbebaut' (blau) in geringer Anzahl auf kleinen Flächen innerhalb der Stadt vorkommen, haben sie in den Randbereichen eine größere Ausprägung. Zu begründen ist dies vordergründig mit dem größeren Platzangebot außerhalb des Verdichtungsgebietes der Stadt und dem Platzmangel innerhalb der Stadtgrenze. Sofort deutlich wird das bereits angesprochene Problem der Bebauungsgebiete (s. Kap. 2.3.1 u. 2.3.2). Die Neue Messe im Norden und Paunsdorf im Nordosten der Stadt zeigen beide Bereiche mit Bebauungsabnahme, obwohl die Flächen ohne Vegetation teilweise neu bebaut sind.

Gut zu erkennen auf dieser Karte ist, daß die Stadtfläche nahezu bis an die Stadtgrenze reicht. Einige bebaute Gebiete schließen sich direkt im Umland an, wo auch anteilig mehr Veränderungsflächen zu finden sind. Hierzu zählen Großprojekte der Ansiedlung von Industrie- und Gewerbegebieten (Beispiel: Neue Messe). Auffallend ist die Konzentration dieser Flächen im Norden und Westen der Stadt - entsprechend der im Kapitel 2.2.2 ausgewiesenen Entwicklungsachsen. Während im Westen visuell eine Ausweitung der Stadt in Richtung Halle ersichtlich wird, läßt sich die

# Veränderung der Klasse 'Flächen geringer Verdichtung' 1994 - 1992

(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



- |   |   |
|---|---|
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Wasserflächen                 |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Waldflächen                   |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Sonstige Grünflächen          |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Ackerland                     |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Großblockbebauung             |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Flächen ohne Vegetation       |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Flächen hoher Verdichtung     |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | 1994 Flächen geringer Verdichtung; 1992 Flächen geringer Verdichtung  |

# Veränderung der Klasse 'Flächen geringer Verdichtung' 1992 - 1994

(multitemporaler Vergleich der Landsat-TM-Klassifikationen 1992 und 1994; dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994; Ausschnittsvergrößerung)



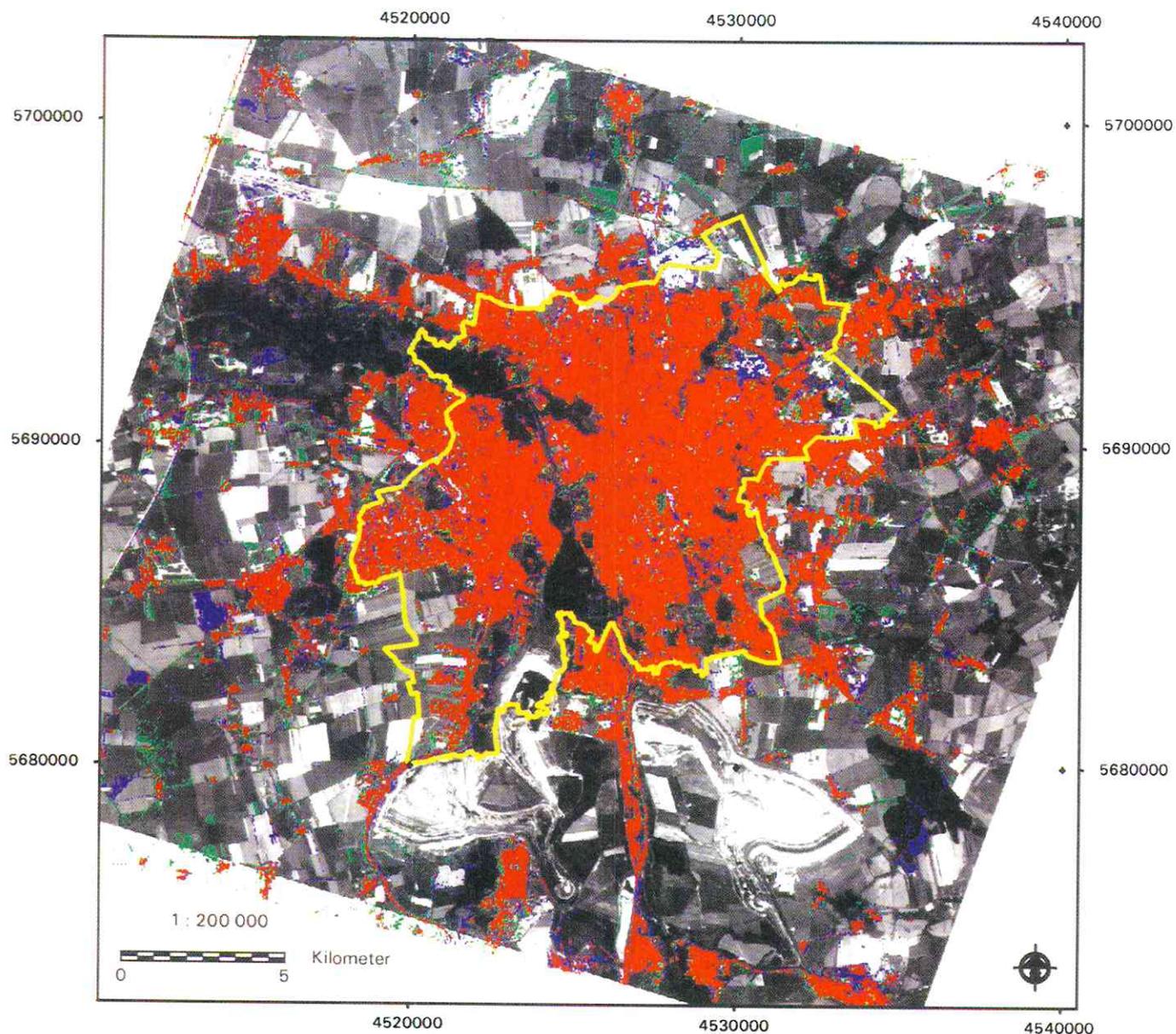
- |   |   |
|---|---|
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Wasserflächen                 |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Waldflächen                   |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Sonstige Grünflächen          |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Ackerland                     |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Großblockbebauung             |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Flächen ohne Vegetation       |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Flächen hoher Verdichtung     |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Flächen mittlerer Verdichtung |
|  | 1992 Flächen geringer Verdichtung; 1994 Flächen geringer Verdichtung  |

Bildverarbeitung u. Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Konrad

 Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle GmbH

# Bebaute Flächen in der Stadtregion Leipzig

(Verschneidungsprodukt der Klassifikationen 1992 und 1994;  
dargestellt auf einer SPOT-PAN-Szene 1994)



Konzentration im Norden mit der guten verkehrstechnischen Anbindung 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. Visuell läßt sich eine höhere Abnahme der Bebauung als Zunahme innerhalb der Stadtgrenze ableiten. Im Umland scheint die entgegengesetzte Tendenz vorhanden zu sein. Die Tabelle 6 bestätigt diese Vermutung.

Tab. 6: Veränderung der bebauten Fläche von 1992 bis 1994 in der Stadtregion Leipzig

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

Die in der Abbildung 19 veranschaulichte Flächennutzungsveränderung zwischen 1992 und 1994 für die Stadt Leipzig in Hektar für alle Klassen verdeutlicht diese Tendenz ebenfalls. Die bebaute Fläche hat insgesamt abgenommen, was offensichtlich hauptsächlich den Veränderungen in der Klasse 'Großblockbebauung' und 'Flächen mittlerer Verdichtung' zuzuordnen ist. (Diese Tendenzen sind wegen der bereits angesprochenen Probleme der schwierigen spektralen Trennbarkeit von Objekten und Fehlzuweisungen bei der Klassifikation nicht als absolut anzusehen.) Die Abnahme der Klasse 'Flächen mittlerer Verdichtung' kann als ein Hinweis auf die zahlreichen Abrisse innerhalb der Stadt zu verstehen sein. Die flächenmäßig größten Veränderungen verzeichnen die Klassen mit Vegetation - vor allem die Klassen 'Sonstige Grünflächen' und 'Flächen ohne Vegetation'. Da diese Änderungen in jeweils entgegengesetzter Richtung sehr viel größer sind als die Veränderungen der bebauten Fläche, läßt sich wieder der Einfluß der Phänologie ableiten. Je nach Aufnahmezeitpunkt und somit in Abhängigkeit von dem Zustand der Vegetation werden die selben Bereiche unterschiedlich klassifiziert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Grundtendenz bzw. der Trend der Flächennutzungsänderungen - Verdichtungen und Ausweitungen durch Neuansiedlungen oder Entdichtungen durch den Wegfall von bebauter Fläche - im klassifizierten Satellitenbild bei multitemporalem Vergleich erkennbar ist. Eine Übertragung auf Einzelpixel ist nicht möglich. Klassifikationsfehler heben sich bei einem Zeitvergleich offensichtlich auf.

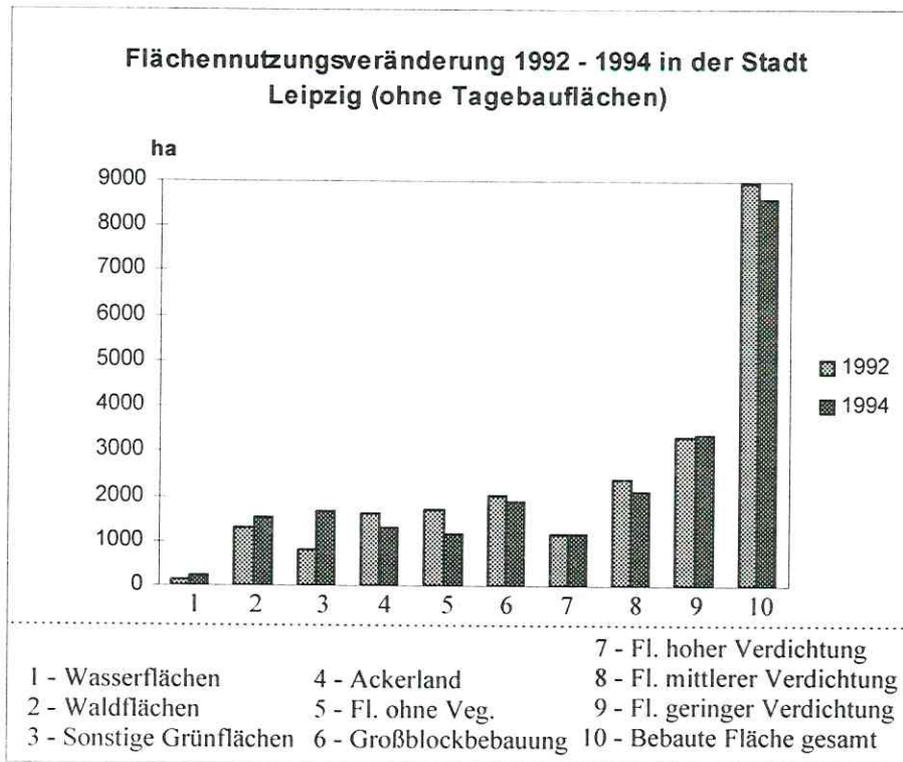


Abb. 19: Flächennutzungsveränderung 1992 - 1994 in der Stadt Leipzig (eigene Berechnung)

### 2.3.4 Vergleich der Klassifikationen mit der Karte der Stadtstrukturtypen der Stadt Leipzig

Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen den Klassifikationen und der visuellen Interpretation von Luftbildern herstellen zu können, wurde die Kombination der Klassifikation von 1992 mit der zeitgleichen Karte der Strukturtypen der Stadt Leipzig (s. Tab. 4) und der Flächennutzung der Stadt Leipzig (s. Tab. 4 u. Kap. 2.3.5) als sinnvoll erachtet. Beide beruhen auf der Auswertung von Luftbildern von 1992, wobei die Karte der Flächennutzung differenzierter nach der Nutzung aufgliedert ist, und die Karte der Strukturtypen die Stadt in verschiedene Strukturtypen aufteilt. Dieses Vorgehen war rein methodisch zur Abschätzung der Vor- und Nachteile beider Verfahren sowie der Verbesserungsmöglichkeiten durch Referenzdaten.

Wie die Tabelle 7 zeigt, läßt sich die Klassifikation aufgrund der unterschiedlichen Klasseneinteilung relativ schwer mit den Stadtstrukturtypen vergleichen. Um eine Kombination zwischen beiden zu erstellen, wurde versucht, die Klassen aufeinander abzustimmen und entsprechend zusammenzufassen. Die Klassen 'Großblockbebauung', 'Ackerland', 'Wasser-', 'Wald-' und 'Sonstige Grünflächen' konnten eindeutig zugeordnet werden. Die Zuordnung der restlichen Klassen beruht auf einer Untersuchung, welche Klassen der Klassifikation mit welchen Klassen der Strukturtypen

übereinstimmen und auch verbal eine Zuordnung erfahren können. Diese Klassenabgleichung ist schwierig. Die Klassifikation weist 'land-cover-Klassen' aus, denen die zusätzlich funktions- und nutzungsbestimmten Klassen der Stadtstrukturtypen ('land-cover' und 'land-use') gegenübergestellt werden.

Tab. 7: Zuordnungsschema der Klassen der Klassifikation zu den Klassen der Stadtstrukturtypen

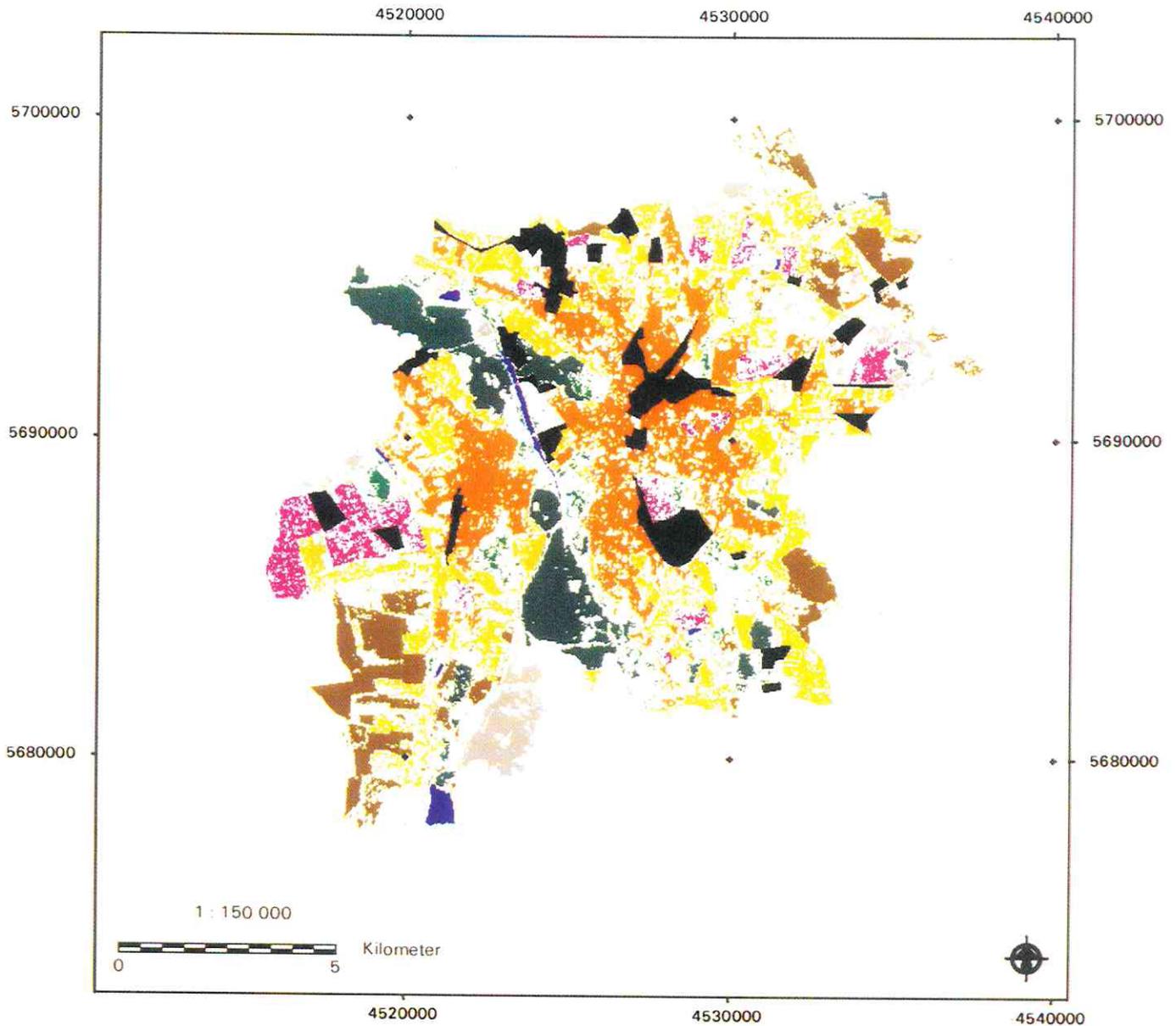
Klassifikation	Stadtstrukturtypen
Wasserflächen	Wasserflächen
Waldflächen	Waldflächen
Sonstige Grünflächen	Grünflächen
Ackerland	Landwirtschaftliche Nutzfläche
Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt	Aufschüttungs-, Abgrabungs- u. Entsorgungsflächen; Brach- u. Umwidmungsflächen
Großblockbebauung	Großwohnsiedlung
Flächen hoher Verdichtung	Kerngebiet; Block- u. Mischbebauung; Zeilenbebauung; Industrie- u. Gewerbegebiet
Flächen mittlerer Verdichtung	Kerngebiet; Block- u. Mischbebauung; Zeilenbebauung; Industrie- u. Gewerbegebiet
Flächen geringer Verdichtung	Ein- u. Zweifamilienhausbebauung; Villen; Ehemalige Dorfkerne; Kleingartenanlagen
ohne Zuordnung	Sonderflächen; Eisenbahnanlagen

Während bei den Flächen mittlerer und hoher Verdichtung keine eindeutige Trennung vorgenommen werden konnte, wurden alle weiteren Stadtstrukturtypen mit Bebauung, die weder den Flächen mittlerer noch denen hoher Verdichtung zugeordnet werden konnte, den 'Flächen geringer Verdichtung' zugewiesen. Hierzu wurden auch die Klassen 'Ehemalige Dorfkerne' und 'Villen' gezählt, da sich beide durch einen zumeist hohen Vegetationsanteil bei geringer Verdichtung auszeichnen.

Die Tabelle 8 zeigt die Güte der Zuordnung. Ihr liegt eine Überlagerung beider thematischer Karten zugrunde, dessen Ergebnis in der Abbildung 20 für das Leipziger Stadtgebiet dargestellt ist. Während das Ackerland und die Wald- und Wasserflächen eine relativ gute Übereinstimmung zeigen, sind die übrigen Klassen lückenhaft, lassen aber doch ihre Lage und Ausdehnung erkennen.

# Überlagerung der Klassifikation mit den Stadtstrukturtypen

(Ausschnittsvergrößerung)



	FN: Wasserflächen ST: Wasserflächen		FN: Großblockbebauung ST: Großwohnsiedlungen u. übriger mehrgeschossiger Wohnungsbau
	FN: Waldflächen ST: Waldflächen		FN: Fl. hoher u. mittlerer Verdichtung ST: Kerngebiete; Block- u. Mischbbg.; Zeilenbbg.; Ind.- u. Gewerbegebiete
	FN: Sonstige Grünflächen ST: Grünflächen		FN: Flächen geringer Verdichtung ST: Ein- u. Zweifamilienhausbbg.; Villen; Ehemalige Dorfkerne; Kleingartenanlagen
	FN: Ackerland ST: Landwirtschaftlich genutzte Flächen		FN: ohne thematische Zuordnung ST: Sonderflächen; Eisenbahnanlagen
	FN: Flächen ohne Vegetation ST: Aufschüttungs-, Abgrabungs- u. Ent- sorgungsfl.; Brach- u. Umwidmungsfl.		FN: ohne lagespezifische Zuordnung ST: ohne lagespezifische Zuordnung

FN = Flächennutzungsklassen des Klassifizierten Landsat-TM-Bildes Mai 1992  
ST = Strukturtypen (BOHM, P.; BREUSTE, J.; KINDLER, A. u. a. (1995): Karte der  
Strukturtypen der Stadt Leipzig im Maßstab 1 : 50 000. - Leipzig

Bildverarbeitung u. Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Konrad

 Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle GmbH

Tab. 8: Vergleich der Übereinstimmung zwischen Klassifikation und Strukturtypen

	Klassifikation [Fläche in Hektar]	Übereinstimmung mit Stadtstrukturtypen [Fläche in Hektar]	Übereinstimmung mit Stadtstrukturtypen [Fläche in Prozent an der Fläche der Klassifikation]
Wasserflächen	138,28	104,40	75,50
Waldflächen	1300,88	1041,30	80,05
Sonstige Grünflächen	884,15	182,07	20,59
Ackerland	1614,61	1140,75	70,65
Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt	1968,27	492,84	25,04
Großblockbebauung	2044,80	485,19	23,73
Flächen hoher und mittlerer Verdichtung	3580,46	2396,16	66,92
Flächen geringer Verdichtung	3357,13	861,57	25,66
<b>Gesamtfläche</b>	<b>14888,58</b>	<b>6704,28</b>	<b>45,03</b>

Das unbefriedigende Ergebnis einer 45 %igen Übereinstimmung zwischen der Klassifikation und den Stadtstrukturtypen ist neben der phänologisch zu begründenden geringen Übereinstimmung der Grünflächen und der Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt in erster Linie auf die Zuordnungsprobleme bei den bebauten Flächen zurückzuführen. Einige Flächen der Stadtstrukturtypen werden keiner Klasse der Klassifikation lagerichtig zugeordnet. Diesen Fall betreffen immerhin 1458 Hektar (= 10 % der Gesamtfläche). Trotzdem stimmen 39 % der bebauten Fläche entsprechend der Klassenabgleichung überein. Vorwiegend in den Randbereichen der Klassen kann die Klassifikation aufgrund der Mischpixel und Aufnahmeparameter fehlerbehaftet sein. So werden zum Beispiel kleine Flächen von unter einem bis zu maximal 548 Hektar fehlerhaft zugeordnet. Während sich die meisten Fehlzuordnungen in Größenordnungen von einem Hektar bewegen, zu denen zum Beispiel die als Großblockbebauung klassifizierte Flächen mittlerer Verdichtung gehören, betreffen die 548 Hektar das als Flächen ohne Vegetation klassifizierte Ackerland - der Einfluß der Phänologie wird deutlich, der sich entsprechend auch innerhalb der Siedlungsbereiche widerspiegelt.

Nach diesem methodischen Ansatz ist versucht worden, für jeden bebauten Strukturtyp die prozentualen Anteile der verschiedenen 'land-cover-Klassen' der Klassifikation auszuweisen (s. Abb. 21). Da in den 'Stadtklassen' nach dem Grad der Verdichtung unterschieden wird, gewährleistet diese Vorgehensweise eine Anbindung an die ökologische Bewertung der bebauten Stadtstrukturtypen. Zudem zeigt sich, in welchen Bereichen Unsicherheiten oder Überschneidungen bei der Klassifikation aufgetreten sind.

Der Strukturtyp 'Kleingartenanlagen', der den Strukturtypen der offenen Flächen zugeordnet wird, zeigt eine Dominanz der Flächen geringer Verdichtung. Der Vergleich mit den anderen dargestellten Strukturtypen ergibt den stärksten Durchgrünungsgrad für diesen Strukturtyp. Einen ebenfalls dominierenden, aber etwas geringeren Durchgrünungsanteil weisen die Strukturtypen 'Villen' und

'Ein- und Zweifamilienhausbebauung' auf - ein möglicher Hinweis auf seine typische Gebäudegröße.

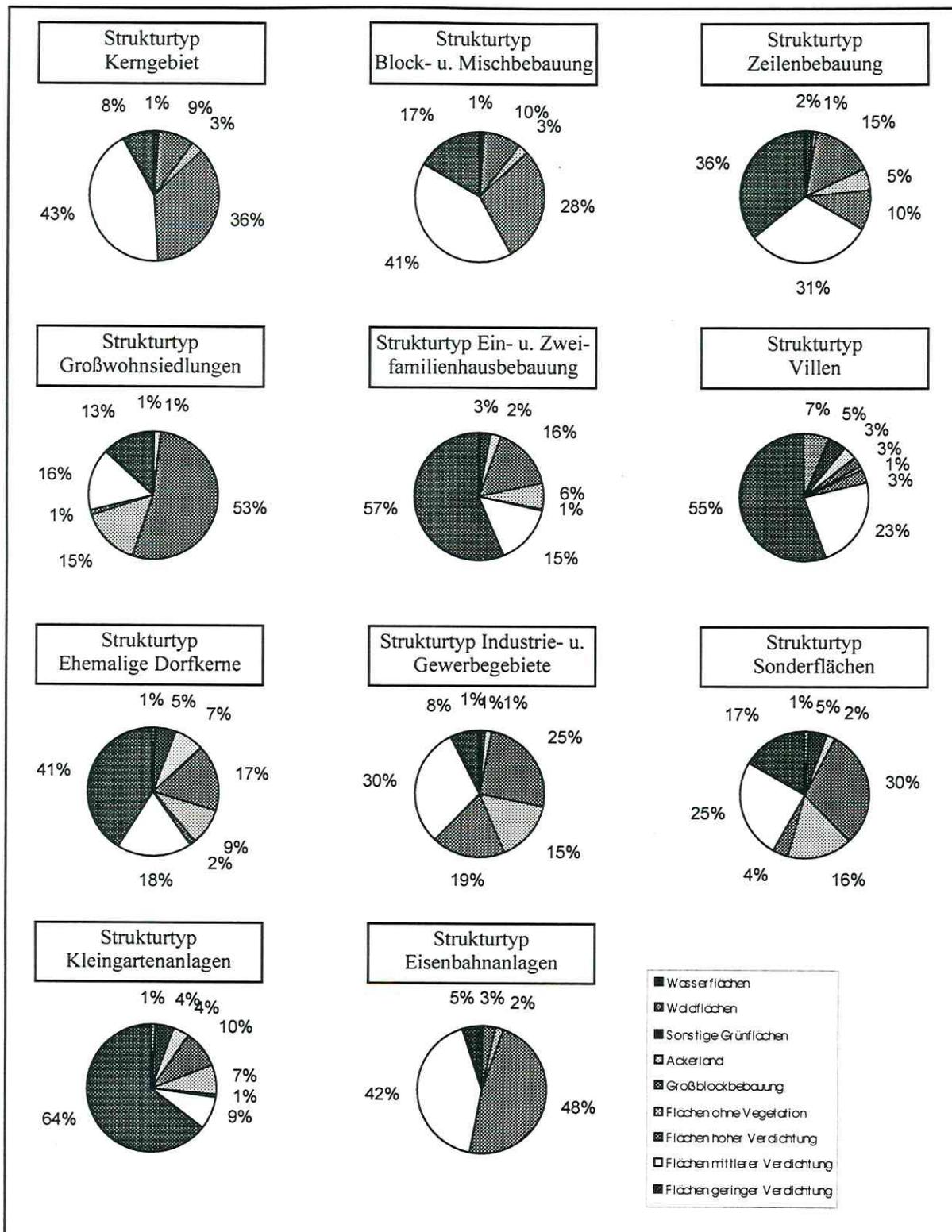


Abb. 21: Verteilung der Flächenanteile der Klassifikation innerhalb ausgewählter Stadtstrukturtypen (eigene Berechnung)

Durch Vergleiche der Flächenanteile des Klassifikationsergebnisses für die bebauten Strukturtypen läßt sich die folgende Hierarchie aufstellen, bei der die Verdichtung zu- und die Durchgrünung abnimmt (s. Abb.: 22). Dieses Erkenntnis ist aus der Klassifikation alleine nicht ableitbar.

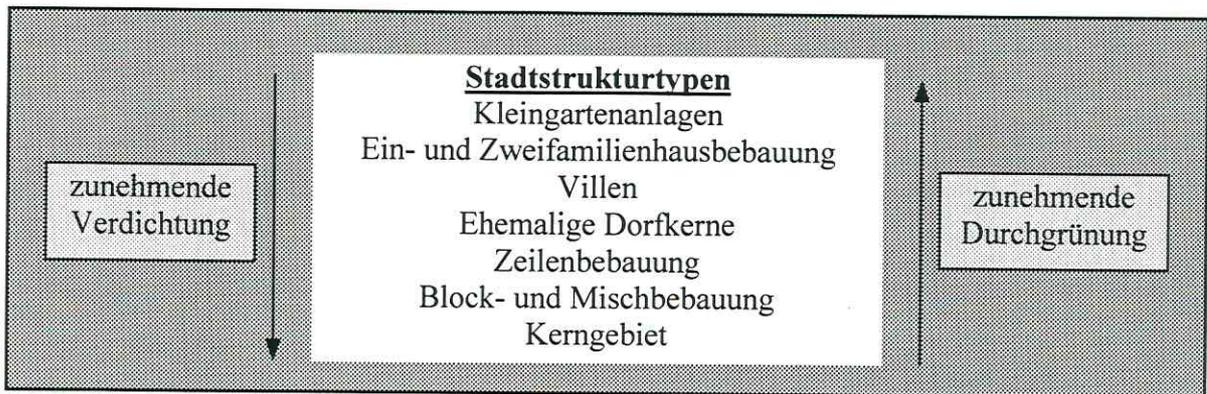


Abb. 22: Hierarchie des Verdichtungs- und Durchgrünungsgrades verschiedener bebauter Stadtstrukturtypen (eigener Entwurf)

Diese Strukturtypen setzen sich alle aus zumeist ein bis drei dominanten und weiteren, schwächer vertretenen Klassen zusammen. Die Großwohnsiedlungen treten in der Hierarchie nicht auf, da sie ein eigener Strukturtyp sind, der in der Klassifikation aufgrund seiner geringen Mischsignaturen ebenfalls extra ausgewiesen worden ist. Das entsprechende Kreisdiagramm zeigt aber, daß sie auch als Flächen geringer und mittlerer Verdichtung und als Flächen ohne Vegetation klassifiziert worden sind (vgl. Kap. 2.3.3: Problembereiche dieser Klasse).

Daß sich bei der Klassifikation keine 'land-use-Klassen' extrahieren lassen, verdeutlichen beispielhaft die Diagramme der Stadtstrukturtypen 'Industrie- und Gewerbegebiete' und 'Sonderflächen'. Sie setzen sich beide aus unterschiedlichen Anteilen hauptsächlich der Klassen 'Flächen unterschiedlicher Verdichtung', 'Flächen ohne Vegetation' und 'Großblockbebauung' zusammen. Die ebenfalls im Satellitenbild nicht klassifizierbaren Eisenbahnanlagen werden von den Klassen 'Flächen hoher und mittlerer Verdichtung' überdeckt.

Es steht außer Frage, daß die Aufnahme der Stadtstrukturtypen - gerade in bebauten Bereichen - bessere und detailliertere Ergebnisse erzielt. Mit der Klassifizierung eines Satellitenbildes können aber doch relativ große Bereiche richtig und vor allen Dingen schneller sowie im Gesamtüberblick erfaßt werden. Um einen Aufschluß über die relative Lage verschiedener Bereiche innerhalb einer Stadt zu erhalten, eignet sich die Klassifikation demnach. Sie kann ebenfalls die Stadtstrukturtypen - hinsichtlich zum Beispiel des Verdichtungsgrades - ergänzen, womit die Verbindung zur Ökologie hergestellt wird. Andererseits ergänzen die Stadtstrukturtypen die Klassifikation dahingehend, daß

sie als Referenzdatenmaterial Aufschluß über Überlappungsbereiche innerhalb der Klassifikation geben und aufzeigen, aus welchen 'land-use-Klassen' sich die 'land-cover-Klassen' zusammensetzen.

### 2.3.5 Vergleich der Klassifikationen mit der Karte der Flächennutzung der Stadt Leipzig

Die Zuordnung zu den detaillierter untergliederten Flächennutzungsklassen der Karte der Flächennutzung (s. Tab. 4) gestaltete sich erwartungsgemäß schwieriger als die zu den Strukturtypen (s. Kap. 2.3.4). Der erfolgte Versuch einer Zuordnung der wiederum einerseits nutzungs- (land-cover) und andererseits nutzungs- und funktionsbestimmten (land-use) Klassen, die unter anderem mit Hilfe einer Aufstellung typischer Nutzflächengefüge in Wohnmischgebieten der Stadt Leipzig getätigt worden ist (SCHMIDT 1986, S. 206 f.; vgl. Tab. 9).

Tab. 9: Zuordnung der Klassen der Klassifikation zu den Klassen der Flächennutzung

Klassifikation	Flächennutzungsklassen
Wasserflächen	Wasserflächen
Waldflächen	Waldflächen
Sonstige Grünflächen	Landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wiesen u. Weiden; Ökologisch bedeutsame Sonderflächen
Ackerland	Landwirtschaftlich genutzte Flächen
Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt	Aufschüttungs-, Abgrabungs- u. Entsorgungsflächen; Brach- u. Umwidmungsflächen
Großblockbebauung	Wohnflächen, Hochhausbebauung offen u. geschlossen
Flächen hoher Verdichtung	Wohnflächen, hohe offene u. geschlossene Bauweise; Industrie- u. Gewerbeflächen; Flächen besonderer baulicher Prägung; Flächen mit gemischter Nutzung; Technische Ver- u. Entsorgungsflächen; Landwirtschaftliche Nutzflächen, Landwirtschaftsbauten, Ställe
Flächen mittlerer Verdichtung	Wohnflächen, hohe offene u. geschlossene Bauweise; Industrie- u. Gewerbeflächen; Flächen besonderer baulicher Prägung; Flächen mit gemischter Nutzung; Technische Ver- u. Entsorgungsflächen; Landwirtschaftliche Nutzflächen, Landwirtschaftsbauten, Ställe
Flächen geringer Verdichtung	Wohnflächen, niedrige offene u. geschlossene Bauweise; Freizeit- u. Erholungsflächen, Kleingartenanlagen
ohne Zuordnung	Verkehrsflächen; Freizeit- u. Erholungsflächen

Wiederum wurde die Überlagerung beider thematischer Karten dazu benutzt, um visuell (s. Abb. 23) und zahlenmäßig (s. Tab. 10) die Güte der Übereinstimmung zu überprüfen. Die rein visuelle Betrachtung des Gesamtbildes scheint eine insgesamt etwas bessere Übereinstimmung als der Vergleich mit den Stadtstrukturtypen zu zeigen. Die Flächen ohne Übereinstimmung hingegen erscheinen größer, was die Betrachtung der Flächendaten bestätigt. Dieser Eindruck wird unter anderem durch das sehr schlechte Abschneiden der Klasse Großblockbebauung induziert, die nur zu einem sehr geringen Anteil in beiden Darstellungen übereinstimmt. An dieser Stelle wird ersichtlich, daß die Satellitenbildinterpretation an eine starke Grenze stößt, wenn die eigentliche Nutzung interessiert und dementsprechend die Untergliederung in einzelne Klassen feiner gestaltet werden muß. In der Überlagerung - in der Abbildung 23 nicht dargestellt - zeigt sich dieses Problem sehr deutlich dahingehend, daß die Bereiche der Klasse 'Großblockbebauung' der Klassifizierung nicht überwiegend der Klasse 'Wohnflächen, Hochhausbebauung' der Flächennutzung zugeordnet werden, sondern vielmehr die Flächennutzungsbereiche mit Industrie- und Gewerbe, Flächen mit gemischter Nutzung, Wohnflächen mit hoher und geschlossener Bauweise und Flächen besonderer baulicher Prägung in diesen Lokalitäten vorkommen. Reine Großblockbebauung mit Wohnfunktion tritt selten auf. Die tatsächliche Nutzung einzelner Gebäude kann aus dem die spektralen Oberflächenverhältnisse visualisierenden Satellitenbild nicht erkannt werden, läßt sich aber auch aus Luftbildern nicht entnehmen.

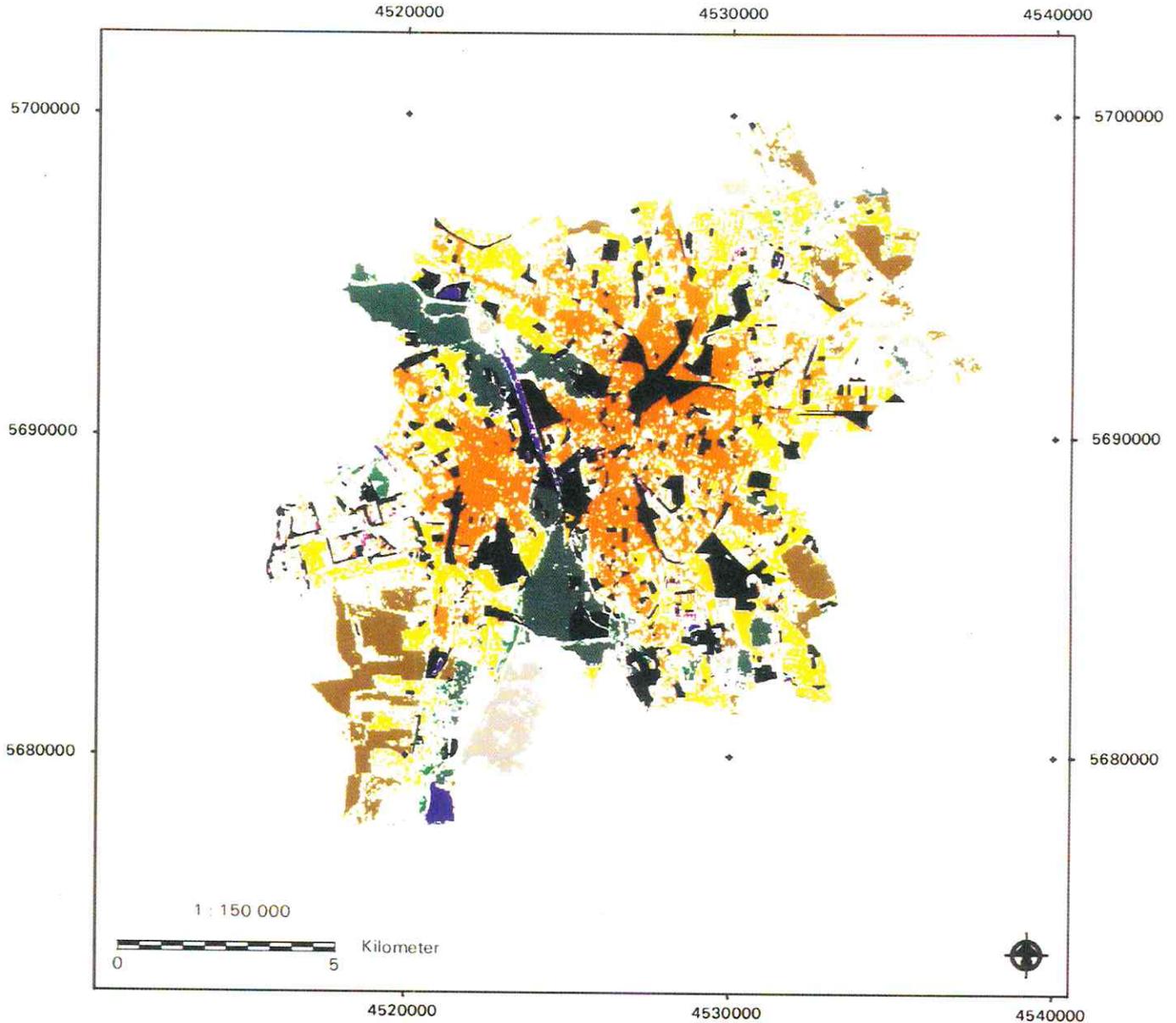
Tab. 10: Vergleich der Übereinstimmung zwischen Klassifikation und Flächennutzung in der Stadt Leipzig

	Klassifikation [Fläche in Hektar]	Übereinstimmung mit Flächennutzung [Fläche in Hektar]	Übereinstimmung mit Flächennutzung [Fläche in Prozent an der Fläche der Klassifikation]
Wasserflächen	138,28	110,72	80,07
Waldflächen	1300,88	988,46	75,98
Sonstige Grünflächen	884,15	138,61	15,68
Ackerland	1614,61	1032,57	63,95
Flächen ohne Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt	1968,27	526,10	26,49
Großblockbebauung	2044,80	26,18	1,28
Flächen hoher und mittlerer Verdichtung	3580,46	2706,67	75,60
Flächen geringer Verdichtung	3357,13	1733,23	51,63
<b>Gesamtfläche</b>	<b>14888,58</b>	<b>7264,54</b>	<b>48,79</b>

Während sich die unbebauten Flächen ähnlich in ihrer Erkennbarkeit gestalten wie beim Vergleich mit den Strukturtypen, zeigen sich weitere Unterschiede in den anderen drei Bebauungsklassen. Die Zuordnung der Klassen der Flächennutzung zu den Klassen 'Flächen hoher und mittlerer Verdichtung' der Klassifikation ist um nahezu 10 % besser ausgefallen. Gleiches gilt für die Klasse 'Flächen geringer Verdichtung'. Die Klassenzuordnung und Übereinstimmung kann hier als doppelt so gut betrachtet werden. Ein sehr hoher Generalisierungsgrad, wie er der Karte der Stadtstrukturtypen zugrundeliegt, läßt die Zuordnungsgüte in unbebauten Gebieten geringer werden. Eine bessere

# Überlagerung der Klassifikation mit der Flächennutzung

(Ausschnittsvergrößerung)



- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | FN1: Wasserflächen<br>FN2: Wasserflächen   |  | FN1: Großblockbebauung<br>FN2: Wohnfl., Hochhausbebauung<br>offen u. geschlossen  |
|  | FN1: Waldflächen<br>FN2: Waldflächen   |  | FN1: Fl. hoher u. mittlerer Verdichtung<br>FN2: Wohnfl., hohe offene u. geschl. Bauweise;<br>Ind.- u. Gewerbefl.; Fl. bes. baul. Prägung;<br>Fl. mit gemischter Nutzung: Techn. Ver- u. ... |
|  | FN1: Sonstige Grünflächen<br>FN2: Landwirt. genutzte Fl., Wiesen u. Wei-<br>den; Ökolog. bedeutsame Sonderfl.  |  | FN1: Flächen geringer Verdichtung<br>FN2: Wohnfl., niedrige offene u. geschl. Bauweise;<br>Freizeit- u. Erholungsfl., Kleingartenanlagen  |
|  | FN1: Ackerland<br>FN2: Landwirtschaftlich genutzte Flächen   |  | FN1: ohne thematische Zuordnung<br>FN2: Sonderflächen; Eisenbahnanlagen   |
|  | FN1: Flächen ohne Vegetation<br>FN2: Aufschüttungs-, Abgrabungs- u. Ent-<br>sorgungsf.; Brach- u. Umwidmungsf. |  | FN1: ohne lagespezifische Zuordnung<br>FN2: ohne lagespezifische Zuordnung  |

FN1 = Flächennutzungsklassen des Klassifizierten Landsat-TM-Bildes Mai 1992  
 FN2 = Flächennutzung (USBECK, B.; KINDLER, A.; HARTMANN, H. u. a. (1992):  
 Flächennutzung 1992 Leipzig und Umland. - 1 : 25 000. - Leipzig

Bildverarbeitung u. Kartographie:  
 Dipl.-Geogr. Vera Konrad

 Umweltforschungszentrum  
 Leipzig-Halle GmbH

Übereinstimmung dieser Klassen kann erzielt werden, wenn viele differenzierte Bebauungsklassen der Flächennutzung wenigen Verdichtungsklassen der Klassifikation zugeordnet werden. Diese nachträgliche Generalisierung verfälscht aber entsprechend die Aussage der Übereinstimmung.

Als ein Beispiel sei die Klasse 'Flächen geringer Verdichtung' herausgegriffen. Alleine 402 Hektar dieser Klasse werden den Wohnflächen mit hoher, offener Bebauung zugewiesen, die nach der Definition in der Tabelle 9 zur Klasse 'Flächen mittlerer und hoher Verdichtung' gezählt werden müßten. Immerhin noch 332 Hektar überschneiden sich in diesem Vergleich mit der Klasse 'Flächen mit gemischter Nutzung'.

Während die Übereinstimmung für die Stadt Leipzig in ihren administrativen Grenzen weniger als 50 % beträgt, waren 16 % der Gesamtfläche ohne thematische Zuordnung (bei der Klasseneinteilung schwarz dargestellt). Diese induzieren ebenfalls die relativ geringe Übereinstimmung. Das Problem der Klassenabgleichung wird verdeutlicht.

Auch der hier vorgenommene Vergleich zwischen einem Luftbild und einem klassifizierten Satellitenbild ist lediglich relativ. Den Daten der Karte der Flächennutzung liegen neben der visuellen Luftbildinterpretation zahlreiche Referenzmaterialien und Ortsbegehungen zugrunde. Die Ausagemöglichkeiten bei der Luftbildinterpretation - wie auch bei der der Landsat-TM-Daten - bleiben aufgrund der Abbildung der Remissionseigenschaften von Objektoberflächen und der sensor-spezifischen Auflösung (geometrisch und spektral) auf die territoriale und innere Siedlungsstruktur begrenzt. Während mit Hilfe der Luftbilder Gebäude, Freiflächen und das Straßennetz erkannt werden können, lassen sich Informationen über deren Art und Funktion zumeist nur indirekt oder mittels Referenzdaten ermitteln. Die tatsächliche Nutzung kann oft aus den Lagebeziehungen verschiedener Elemente getätigt werden. Wenn zum Beispiel neben großen Gebäuden Parkplätze und Flächen mit Lagerfunktion zu erkennen sind, läßt sich der Schluß auf eine Industrie oder ein Gewerbe vollziehen. Genauere Angaben bedürfen einer einzelnen Überprüfung. Dies zeigt ebenfalls, daß Veränderungen in der Nutzung nur im Luftbild erkennbar sind, wenn sie mit einer Veränderung der Flächennutzung - also einem Abriß oder einem Neubau - einhergehen. Ein Funktionswandel, der seine Begründung im Urbanisierungsprozeß findet, kann nur dann festgestellt werden. Verluste der Produktionsfunktion mit nachfolgendem Gebäudeleerstand oder der Wandel einer ursprünglichen Wohnfunktion in eine zentrale Funktion, wie sie sich häufig bei Villenbebauung findet, läßt sich auch im Luftbild nicht direkt erkennen (SCHMIDT 1986, S. 203 ff.). Die Veränderung der Flächennutzung nun läßt sich - wie bereits mehrfach dargestellt (s. Kap. 2.3.1 - 2.3.3) - bis zu einem gewissen Grad wegen der geringen geometrischen Auflösung auch dem Landsat-TM-Bild

entnehmen. Aufgrund der möglichen, bereits andiskutierten Fehler (s. auch Kap. 2.4) können aber keine absoluten Aussagen gemacht werden.

Die von den Stadtstrukturtypen her bekannte Darstellungsform der Verteilung der Klassen der Klassifikation in den einzelnen bebauten Klassen hier der Flächennutzung zeigt - unter Beachtung der Güte und der Fehlerpotentiale des Klassifikationsergebnisses - ein ähnliches Bild wie bei den Stadtstrukturtypen (s. Abb. 24; vgl. Abb. 21).

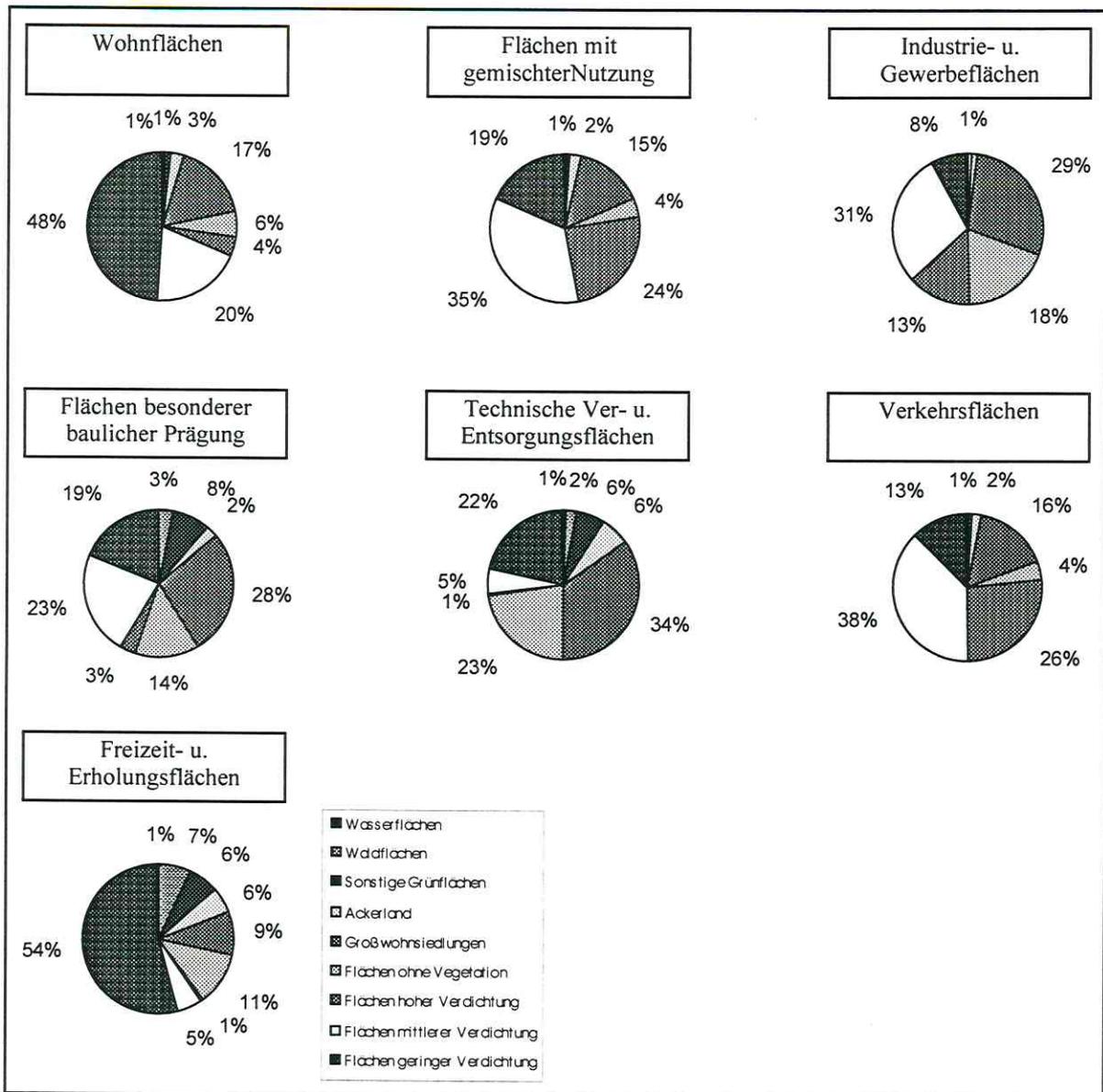


Abb. 24: Verteilung der Flächenanteile der Klassifikation innerhalb ausgewählter Klassen der Flächennutzung (eigene Berechnung)

Die Freizeit- und Erholungsflächen - insbesondere auch die zu dieser Klasse gehörenden Kleingartenanlagen weisen eine relativ geringe Verdichtung mit jeweils relativ gleichen Anteilen der un bebauten 'land-cover-Klassen' auf. Die Wohnflächen zeigen einen etwas geringeren, aber immer

noch die Hälfte der Flächen betreffenden Anteil an den Flächen geringer Verdichtung. Die Flächen mittlerer Verdichtung und die der Großblockbebauung nehmen nochmals je ein Drittel der verbleibenden Fläche ein. Es kann gefolgert werden, daß die reinen Wohnflächen hauptsächlich in stark durchgrünten und nur zu einem geringen Anteil in stark verdichteten Bereichen vorkommen. Hingegen sind die Flächen mit gemischter Nutzung und vor allem die Verkehrsflächen stärker versiegelt. Eine Aussage bezüglich der Anzahl und Verteilung der Bevölkerung in diesen Bereichen kann nicht gemacht werden.

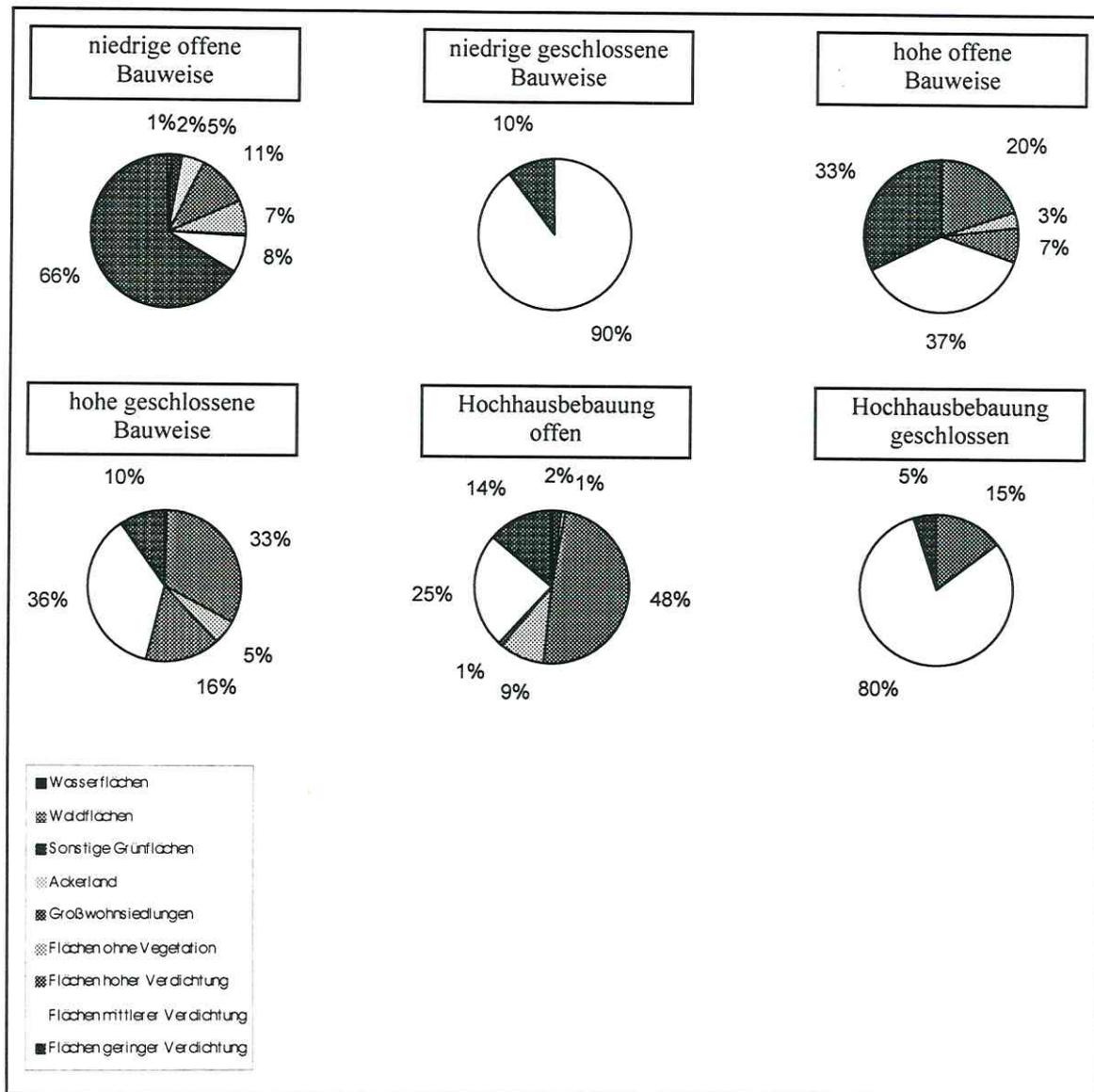


Abb. 25: Verteilung der Flächenanteile der Klassifikation innerhalb der Klasse 'Wohnflächen' der Flächennutzung (eigene Berechnung)

Interessant ist die detaillierte Untergliederung der Wohnflächen (s. Abb. 25). Während innerhalb der niedrigen, offenen Bauweise die Flächen geringer Verdichtung dominant, und die restlichen 'land-cover-Klassen' nur gering vertreten sind, wurden in den Bereichen der niedrigen, geschlossenen

Bauweise nur zwei Klassen spektral unterschieden. Neun Zehntel der Fläche sind mittel stark verdichtet. Ähnlich homogen ist die geschlossene Hochhausbebauung ausgeprägt, die jedoch nur 15 % Großblockbebauung ausweist - die Erklärung ist in der Problematik der Klassifikation dieser Klasse zu finden (vgl. Kap. 2.3.1). Hingegen wird die offene Hochhausbebauung von einer relativ geringen Verdichtung, wenigen Grünflächen und nahezu der Hälfte der Fläche klassifizierter Großblockbebauung geprägt.

Die hohe, offene Bauweise erscheint stärker verdichtet als die niedrige, offene Bauweise, aber nicht so stark verdichtet wie die hohe, geschlossene Bauweise mit ihrem hohen Anteil an der Großblockbebauung. Vegetationsbestandene Flächen sind nicht vorhanden. Somit ist in diesen Bereichen ihre Trennung von der unbebauten Fläche als günstig zu erachten.

Es zeigt sich wiederum, daß sich mit dieser Vorgehensweise die Flächennutzung detaillierter differenzieren läßt. Zwei unterschiedliche Untersuchungen ergänzen sich in ihrer relativen Aussagekraft in beiden Richtungen.

### **2.3.6 Vergleich der Klassifikationen mit den Landsat-TM-Szenen**

Auch in Zukunft nicht vernachlässigt werden sollte die visuelle Interpretation. Ein georeferenziertes 'Rohbild' enthält eine Fülle an Informationen, die für eine Interpretation wichtig sind. Viele dieser Informationen können im Laufe der einzelnen Verarbeitungsschritte der Digitalen Bildverarbeitung für den Betrachter verloren gehen. Andere hingegen werden erst sichtbar. Sinnvoll erscheint es deshalb, beide Möglichkeiten der Interpretation - die Klassifikation und das Rohbild - auszunutzen und zu kombinieren. In diesem Kapitel soll versucht werden aufzuzeigen, welche Informationen aus einem Rohbild gewonnen werden können und worin die Vor- und Nachteile gegenüber einem klassifizierten Satellitenbild bestehen.

Für diese vergleichende Darstellung wurde die Kanalkombination 4-5-3 der Landsat-TM-Szene gewählt (s. Abb. 26 u. 28). Dies entspricht der Zuordnung des nahen Infrarotes (Kanal 4) der Farbe Rot, des mittleren Infrarotes (Kanal 5) der Farbe Grün und des Rots (Kanal 3) der Farbe Blau. Das Bild erscheint im RGB-Raum in überwiegend roter und blauer Farbgebung, wodurch sich verschiedene Bereiche sehr gut gegeneinander abgrenzen lassen. Während die Flächen mit Vegetation in roten und rostbraunen Tönen erscheinen, zeigt sich die Stadt in verschiedenen Blautönen unterschiedlicher Helligkeit und Sättigung. Für die Betrachtung von städtischen Bereichen ist diese Darstellung als gut zu erachten. Andere Darstellungen, wie zum Beispiel die Echtfarbdarstellung der

Kanäle 3-2-1 oder die Kanalkombination 5-4-2, wobei die Vegetation in Grün und die restlichen Flächen in Falschfarben erscheinen, eignen sich weniger gut für eine visuelle Interpretation der hier zugrundeliegenden Thematik, da innerhalb des Stadtgebietes die verschiedenen Strukturen einen Informationsverlust erfahren.

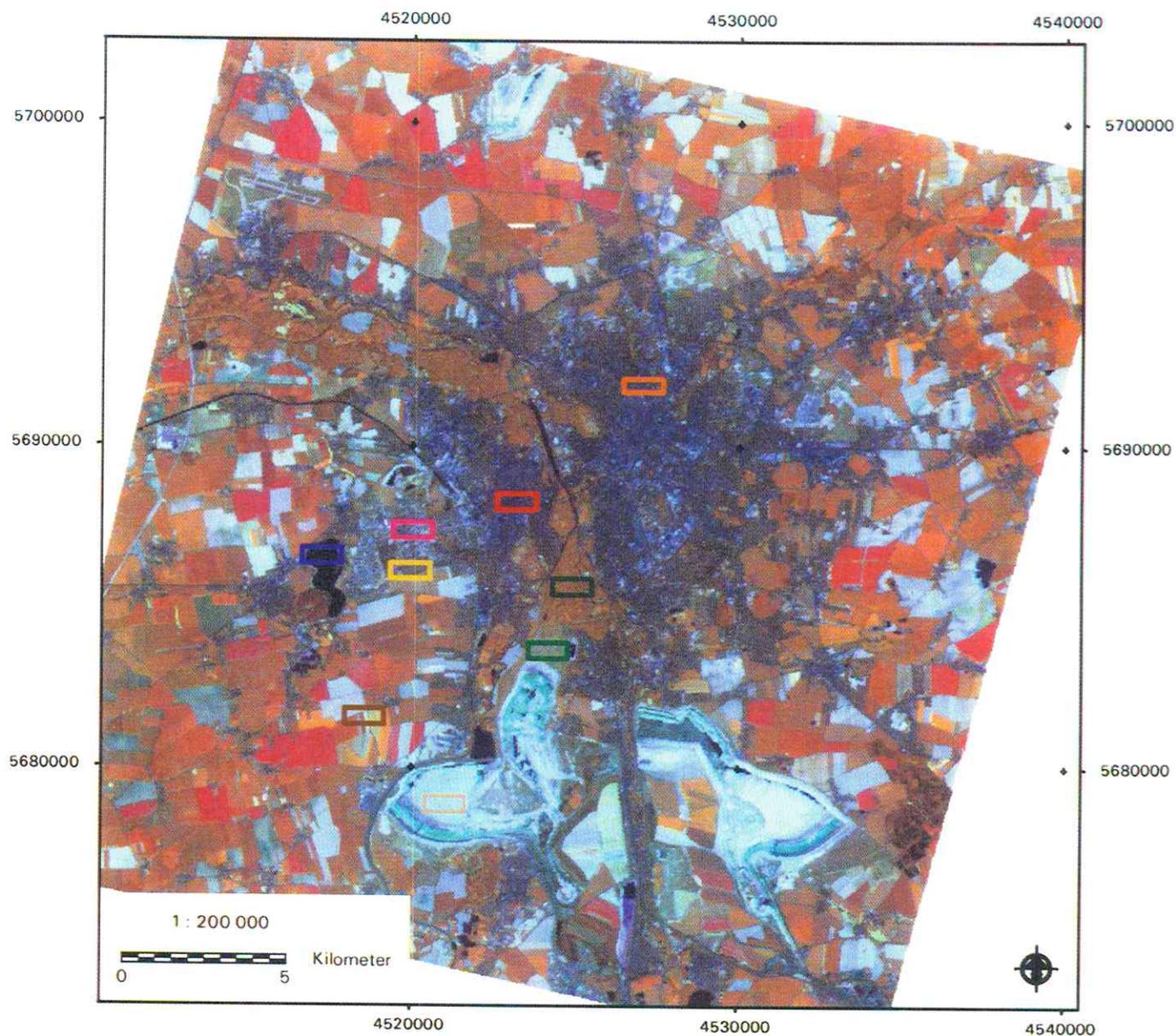
#### 2.3.6.1 Landsat-TM-Bild Mai 1992

Direkt erkennbar auf der Abbildung 26 ist die 'sternförmige' Form 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 kommt die für eine Stadt typische Inhomogenität deutlich zum Vorschein. Die Stadt-Umland-Trennung ist auch im Satellitenbild möglich, wird aber durch die Thematisierung und entsprechende Farbgebung im klassifizierten Bild hervorgehoben. In der Rohszene 'verschwimmen' die Übergänge zum Teil, da die Außenbereiche der Stadt mit den Ein- und Zweifamilienhäusern und vielen Kleingärten viel Vegetation aufweist und somit in entsprechenden rotbraunen Tönen ähnlich den Landnutzungsflächen erscheinen. Sie grenzen sich gut zu den anderen Bebauungsarten ab, da sie stark im nahen und mittleren Infrarot reflektieren. Dementsprechend bilden sie sich kaum in Blau ab, sondern haben eine braune, leicht oliv-gräuliche Farbgebung. Interessant ist die - im klassifizierten Bild nicht mögliche - Unterscheidungsmöglichkeit zwischen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartenanlagen. Die Bereiche, die eine linienhafte Struktur aufweisen, lassen sich den Ein- und Zweifamilienhäusern zuordnen, während die Kleingartenanlagen relativ homogene Flächen ohne innerer Struktur aufweisen. Als ein Beispiel sei die Ein- und Zweifamilienhausbebauung in Grünau im Westen der Stadt der Kleingartensiedlung in Schleussig südlich des Elsterbeckens gegenübergestellt.

Der Betrachter kann direkt die zwei größeren Gebiete mit Großblockbebauung - Grünau im Westen und Paunsdorf im Osten der Stadt - visuell erkennen. Sie fallen durch ihre Helligkeit auf und haben einen stark inhomogenen Charakter. Helle, bläuliche Pixel kommen neben dunkleren, rotbräunlichen Bereichen vor. Erkennbar ist eine annähernd blockige Struktur, die durch die großen Gebäude mit ihren ausgeprägten Formen und winkelförmiger Bebauung induziert wird. Zwischen den Gebäuden befinden sich zumeist Straßen, Gehwege und Vegetationsflächen. Letztere verursachen die bräunliche Farbgebung. Sie heben die Blockstruktur hervor. Zusätzlich zur Klassifikation läßt sich eine relative Aussage über die Lage und Ausrichtung der Gebäude machen. So ist im Rohbild erkennbar, daß Grünau einen anderen Charakter hat als Paunsdorf. Während Paunsdorf relativ kleinere Gebäude, die dicht aneinander stehen, aufweist, stehen die insgesamt größeren Gebäude in

# Landsat-TM-Szene Mai 1992

(Kanalkombination 4-5-3)



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

Bildverarbeitung u. Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Konrad

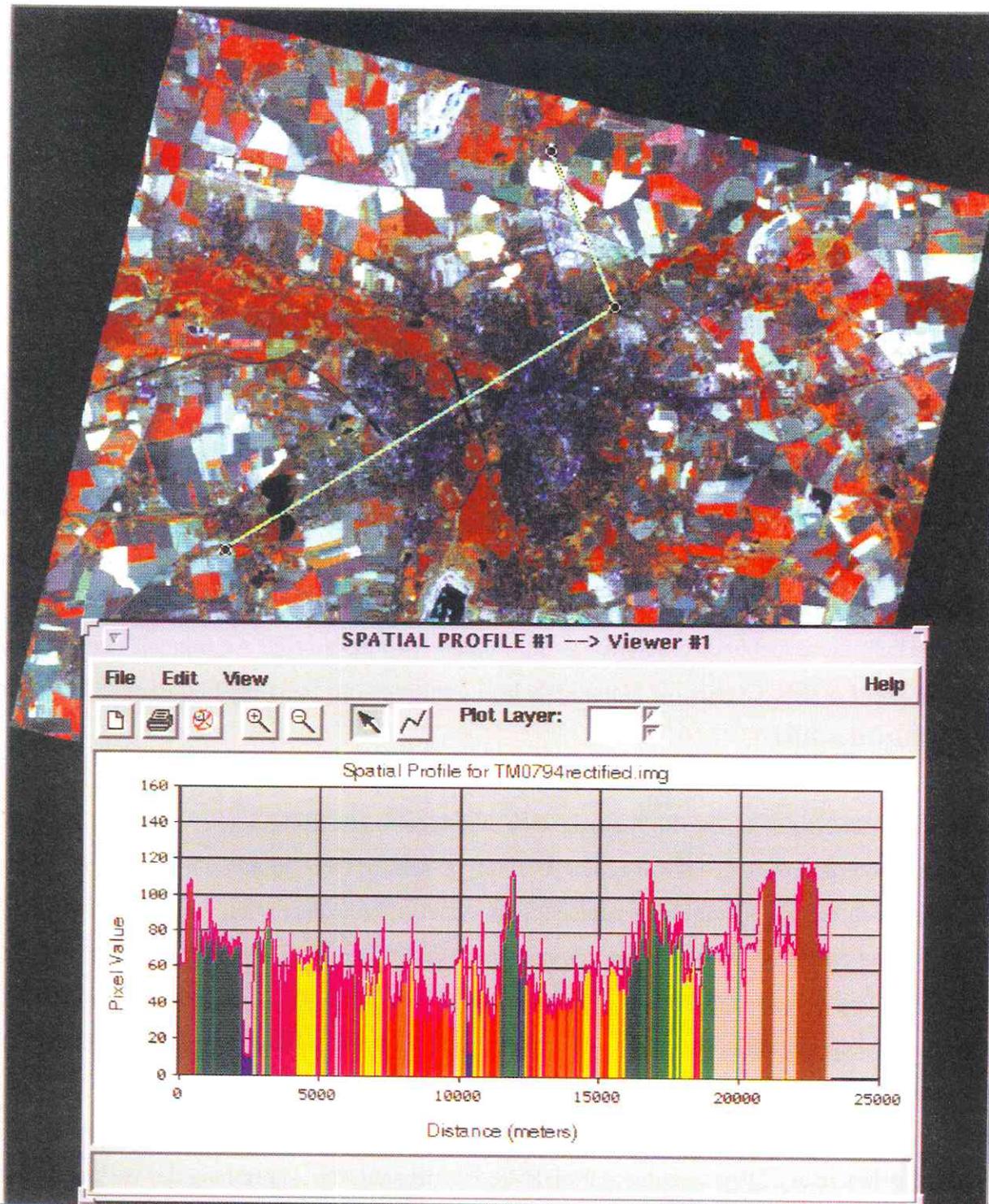
Grünau weiter auseinander mit größeren Grünflächen dazwischen. Erkennbar wird dies im Satellitenbild durch die stärkere Inhomogenität, stärkere Struktur und eine größere Ausnutzung des Spektralbereiches.

Andere hellere Gebiete innerhalb der Stadt fallen zusätzlich ins Auge. Hier sei beispielhaft das Gebiet der Alten Messe angeführt. Seine Farbgebung ist insgesamt kräftiger. Die typische Struktur der Großblockbebauung fehlt. Auffallend sind die nebeneinander vorkommenden Bereiche sehr heller, blau-weißer neben gesättigten dunkelblauen Pixeln. Dazwischen befinden sich weitere Blautöne in vielen Farbabstufungen. Selbst leicht rosafarbene und grünliche Pixel sind erkennbar. Diese Flächen sind im klassifizierten Bild nicht erkennbare Industriegebiete, die sich durch - die spektrale Inhomogenität induzierende - verschiedenste Baustrukturen und unterschiedlichste Dachmaterialien auszeichnen. Weitere entsprechende Bereiche lassen sich zum Beispiel an der B 2 in Eutritzsch und an der B 181 in Lindenau am Elster-Saale-Kanal erkennen. Hingegen zeichnet sich das Altindustriegebiet Plagwitz im Satellitenbild nicht ab. Es handelt sich hierbei um ein altes, heute weitestgehend stillgelegtes Industriegebiet, welches sich in einer Phase der Umstrukturierung befindet. Die Industriegebäude passen sich an ihre Umgebung an und sehen nahezu wie Wohngebäude aus. Da die Dächer entsprechende spektrale Eigenschaften haben und keine Hallenbauten einzeln auf größerer Fläche stehen, lassen sich diese Bereiche nicht identifizieren. Es ist keine Ableitung der Nutzung, bzw. ehemaligen Nutzung dieses innerstädtischen Altindustriegebietes - weder aus der visuellen Betrachtung noch aus der Klassifikation - möglich.

Während das klassifizierte Bild innerhalb der Stadt neben den Flächen geringer Verdichtung noch die beiden Klassen 'Flächen mittlerer und hoher Verdichtung' aufzeigt, lassen sich im Satellitenbild Aussagen über die Verdichtung anhand der Aussage tätigen, 'je höher der Rotanteil in einem Pixel ist, desto mehr Vegetation und desto weniger Versiegelung ist vorhanden'. Die Abbildung 27 veranschaulicht dies anhand der Reflexionseigenschaften verschiedener Oberflächen im nahen Infrarot. Entsprechend haben die vegetationsbestandenen Flächen sehr hohe und die stark verdichteten Gebiete niedrigere Grauwerte. Über dieses Beispiel wird wiederum der Zugang zur Ökologie und seiner Bewertung gewährleistet. (Eine weitere Möglichkeit stellt zum Beispiel die Berechnung des NDVI dar, auf die in diesem Zusammenhang nicht weiter eingegangen werden soll.)

Die Klassifizierung nach hoch und mittel verdichteten Flächen läßt sich im Satellitenbild nicht nachvollziehen. Hierzu ist die Klassifikation notwendig. Die im klassifizierten Bild als hoch verdichtet ausgewiesenen Flächen umfassen im Satellitenbild mehrere differenzierbare Flächen wie zum Beispiel die Eisenbahnanlage mit dem Hauptbahnhof. Im Satellitenbild ist er infolge seiner

## Reflexion verschiedener Oberflächen im nahen Infrarot entlang eines Querschnittes



Dargestellt ist die Reflexion des Landsat-TM-Kanals 4 (nahes Infrarot) entlang des abgebildeten Querschnittes auf der Landsat-TM-Szene von Juli 1994 (Kanalkombination 4-5-3). Die Farbgebung des Profils entspricht der der Klassifikationen (s. Abb. 3, S. 13 u. Abb. 6, S. 17)

Abbildung als großes, dunkelblaues Rechteck mit nordwest-südöstlicher Ausrichtung direkt erkennbar. Umgeben wird er von etwas helleren blauen Pixeln, die sich im Nordosten zu einem linienhaften Strang - dem Gleiskörper mit minimal helleren neben dunkeren bläulichen Pixeln - vereinigen.

Des weiteren zeichnet sich der Kernbereich der Stadt im Südwesten des Hauptbahnhofes ab. Er läßt sich von den Industriegeländen und der übrigen Wohnbebauung als ein Bereich ähnlicher Inhomogenität wie die der Industriegelände mit kleineren Flächen und geringerer Ausnutzung des Farb- raumes identifizieren. Die für ein Industriegelände typischen, sehr hellen blauweißen und sehr dunklen blauen Pixel fehlen. Der Stadtkern wird von einem schmalen, sich entsprechend rotbraun abzeichnenden Vegetationsband kreisförmig umgeben.

Die übrigen städtischen Bereiche sind zumeist der Block- und Mischbebauung zuzuordnen. Sie sind ebenfalls stark inhomogen und haben eine blaue Farbgebung mit einem geringen Anteil an Rot- braun. Auffällig sind verschiedene Bereiche. Zum Beispiel bildet sich Plagwitz in einem etwas satteren Blau ab, was auf den geringen Vegetationsanteil in diesem Gebiet zurückzuführen ist. Der Stadtteil Connewitz hingegen weist - wie viele weitere Gebiete - mehr Vegetation auf. Durch die Darstellung der unterschiedlichen Mischpixel läßt sich sogar ein linienhaftes, fast rechteckiges Muster innerhalb diese Gebietes erkennen. Es gibt einen Hinweis auf die Anordnung des Straßen- netzes in diesem Bereich. Gerade die Hauptverkehrsadern treten im Satellitenbild deutlicher hervor als im klassifizierten Bild.

Während die Wasserstraßen, die für Leipzig eine untergeordnete Rolle spielen, sich durch ihren geradlinigen, untergeordnet geschwungenen Verlauf in schwarz bis graubraun (Mischpixel) ab- bilden, lassen sich die Eisenbahnlinien zumeist nicht ohne Referenzdaten von den Straßen differen- zieren. Insgesamt aber sind sie deutlicher erkennbar als die Straßenzüge und deutlicher als nach der Klassifikation. Die Originalinformation der Mischpixel bleibt erhalten und wird nicht nach dem Prinzip der größten Zuordnungswahrscheinlichkeit einer anderen Klasse zugeordnet. Gut zu er- kennen sind - zumeist in ihrem vollständigen Verlauf - auch die Autobahnen, die sich ebenfalls durch ihren geradlinigen Verlauf über weite Strecken auszeichnen. Die Ausfallstraßen lassen sich nahezu bis ins Innere der Stadt verfolgen. Eine Hilfe hierbei stellt die Anordnung der Bebauung dar, die sich mit ihren dichteren Bereichen an diese Achsen anlehnt.

### 2.3.6.2 Landsat-TM-Bild Juli 1994

Die Abbildung 28 zeigt zum Aufnahmezeitpunkt Juli 1994 den selben Ausschnitt wie die Abbildung 26. Demzufolge ist die Vegetation in einem anderen phänologischen Zustand, weswegen das Umland weniger rot und stärker in blauen und blaugrünen Farben erscheint. Die Stadt-Umland-Abgrenzung läßt sich auch in dieser Abbildung - unabhängig von der Jahreszeit - gut durchführen. Insgesamt erscheint das Bild klarer und kräftiger in seiner Farbgebung und -sättigung. Es lassen sich wiederum die im Kapitel 2.3.6.1 beschriebenen bebauten Gebiete ausgliedern und differenzieren, weswegen hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

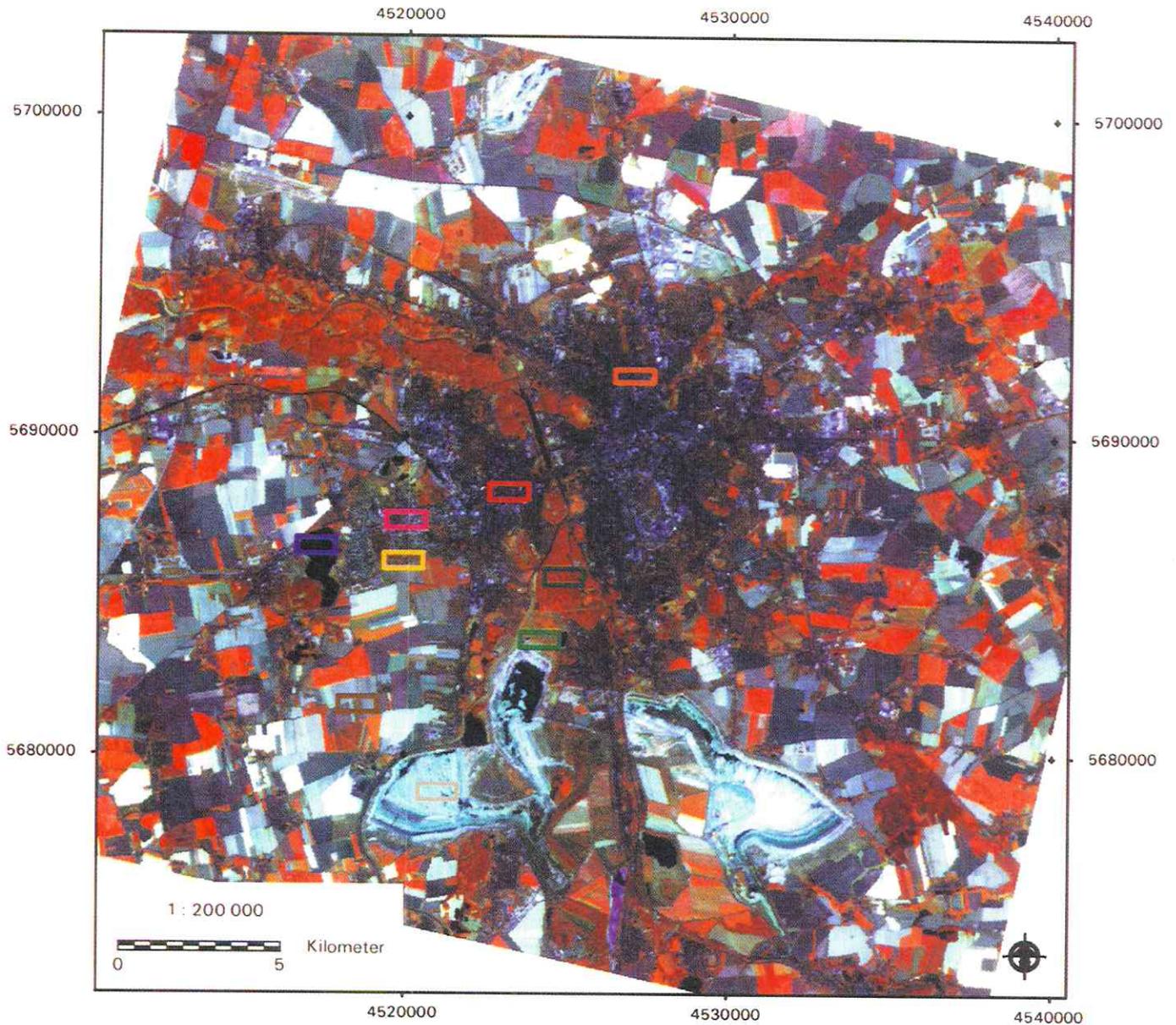
Interessant ist nur die Betrachtung der gering verdichteten Gebiete. Die im Kapitel 2.3.6.1 diskutierte Unterscheidbarkeit zwischen der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und den Kleingartensiedlungen wird hier deutlicher. Da die Vegetation weiter fortgeschritten ist, bildet sich die Ein- und Zweifamilienhausbebauung klarer, das heißt in einem deutlicheren Rostbraun mit starker linienhafter Struktur ab. Die gräulichen Bereiche innerhalb dieser Flächen kommen durch die größeren Häuser und breiteren, zumeist asphaltierten Straßen zustande, während innerhalb der Kleingartensiedlungen die Vegetation dominant ist.

### 2.3.6.3 Temporale Betrachtung beider Landsat-TM-Szenen

Der rein visuelle Vergleich beider Szenen, der pixelweise am Bildschirm vorgenommen werden kann, erweist sich als schwierig und zeitaufwendig. So wurden zuerst die Bereiche entlang der Ausfallstraßen miteinander verglichen. Es zeigt sich, daß sich große Veränderungen an diesen zum Beispiel in Paunsdorf und im Bereich der Neuen Messe vollzogen haben. Die genannten Gebiete zeichnen sich durch auffällig hell leuchtende blaue und nahezu weiße Pixel aus, die zum Teil einzelne Gebäudestrukturen erkennen lassen. Die Farbgebung tritt so markant hervor, daß der gesamte Bildausschnitt visuell auf diese Pixel hin untersucht wurde. Somit konnten im Satellitenbild die Bauungsgebiete zum Zeitpunkt 1994 digital erfaßt werden (s. Abb. 29). Diese Flächen mußten einzeln im Luftbild oder durch Ortsbegehung überprüft werden, da sich zum Beispiel eine Mülldeponie in ihrem Spektralverhalten ähnlich zeigt. Es stellte sich heraus, daß eine minimale Flächengröße von einem halben Hektar (entspricht ungefähr sechs Pixeln bei einer geometrischen Auflösung von 30 mal 30 Metern) zur eindeutigen Zuordnung nötig war. Selbst innerhalb der Stadt konnten somit Großprojekte erfaßt werden. Diese Analyse kann im klassifizierten Bild nicht erfolgen. Hingegen ist das Erkennen der übrigen Veränderungsgebiete - zum Beispiel 1992 Ackerland, 1994 Bebauung - leichter im klassifizierten und anschließend zeitlich verschnittenen Bild zu erkennen als im 'Rohbild'.

# Landsat-TM-Szene Juli 1994

(Kanalkombination 4-5-3)

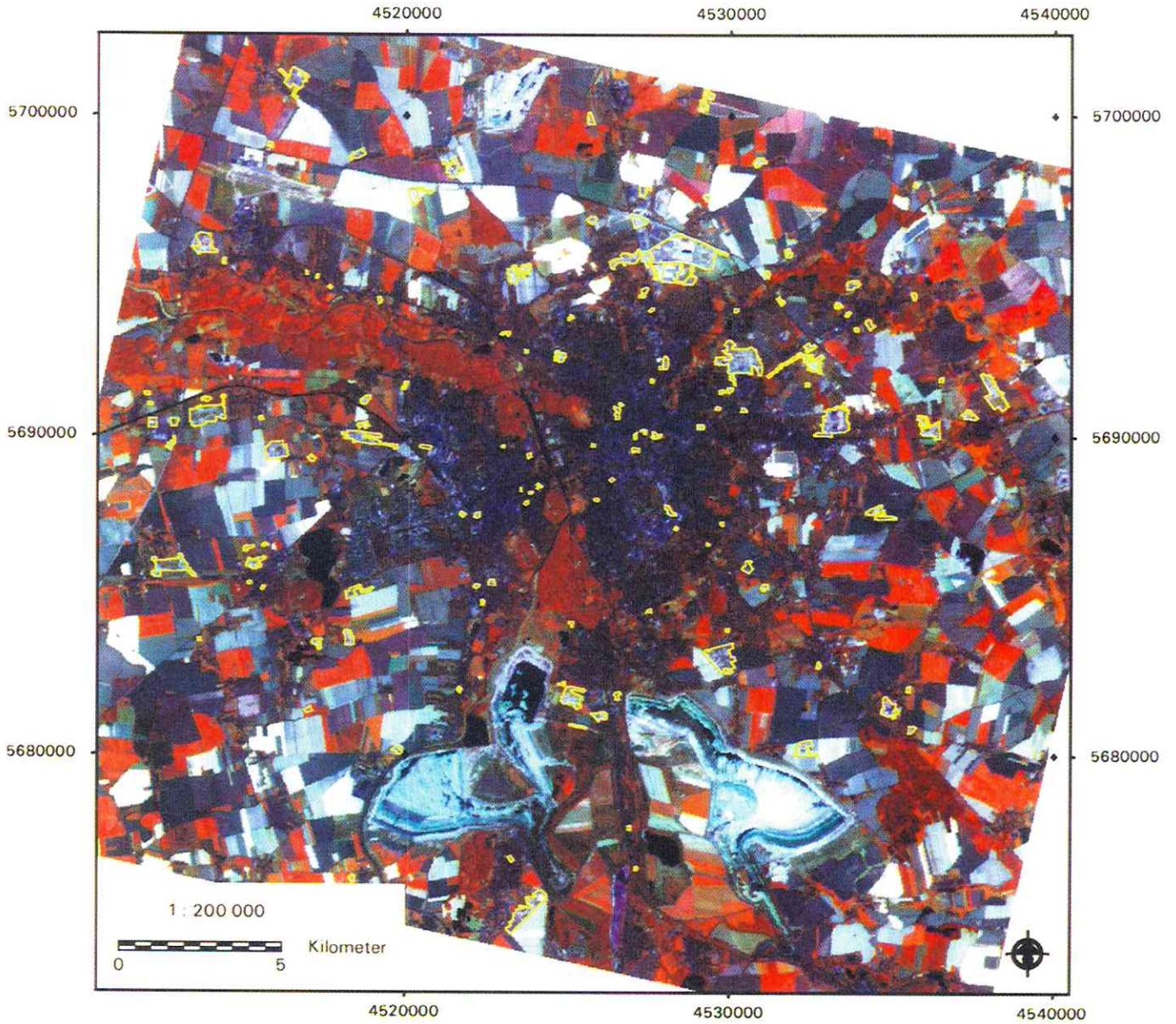


- Wasserflächen
- Waldflächen
- Sonstige Grünflächen
- Ackerland
- Großblockbebauung
- Flächen ohne Vegetation
- Flächen hoher Verdichtung
- Flächen mittlerer Verdichtung
- Flächen geringer Verdichtung

Bildverarbeitung u. Kartographie:  
Dipl.-Geogr. Vera Konrad

# Bebauungsgebiete 1994 in der Leipziger Stadtregion

(dargestellt auf einer Landsat-TM-Szene Juli 1994)



 Bebauungsgebiete

## 2.4 Problembereiche und Schwachstellen

Probleme bei der Klassifikation sind in erster Linie auf das der Klassifikation zugrundeliegende Zuordnungsprinzip der größten Wahrscheinlichkeit zurückzuführen. Weitere Fehler kommen durch spektrale Ähnlichkeiten von Objekten zustande. Dadurch läßt sich die nur schwere Trennung einzelner Gebiete in den bebauten Bereichen erklären. 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. Neben diese 'Mischpixelproblematik' tritt zusätzlich die 'Inkongruenz' zwischen der Flächennutzung ("land use") und der Oberflächenart ("surface cover"). Mittels Fernerkundung lassen sie sich nicht vollständig trennen. Einzelne Flächennutzungen - speziell die der Innenstädte - zeichnen sich durch eine hohe spektrale Inhomogenität aus, die bei höherer Auflösung sogar zunimmt (ACHEN 1993, S. 54).

Bei der multitemporalen Bearbeitung kommen zusätzlich Fehler in der geometrischen Lagebeziehung hinzu. Sie sind auf unvermeidbare Fehler bei der Georeferenzierung (Root-Mean-Square-Error) 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. Daneben sind die atmosphärischen Bedingungen zwischen zwei Aufnahmezeitpunkten unterschiedlich. Auf eine Korrektur dieser mußte bei der vorliegenden Studie aufgrund einer fehlenden Software (z. B. ATCOR) verzichtet werden.

Die jeweilige Phänologie zu den Aufnahmezeitpunkten führt zu gravierenden Unterschieden zwischen zwei Bildern (s. Kap. 2.3.1 - 2.3.3). Hierdurch können sich die Randbereiche zwischen verschiedenen Gebieten verschieben, da der Durchgrünungsanteil in Abhängigkeit von der Jahreszeit erheblich schwankt.

Infolge der geringen geometrischen Auflösung von Landsat-TM bereitet die Orientierung innerhalb des Stadtgebietes beim analogen Bild Probleme. Eine genaue Lokalisation und pixelgenaue Zuordnung zu den Rechts- und Hochwerten der Gauß-Krüger-Koordinaten wird durch das digitale Vorliegen der Daten ermöglicht.

## 2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse, Diskussion und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß der Einsatzbereich von Landsat-TM-Daten für eine spezielle Fragestellung wie die der Urbanisierung begrenzt ist. Die in der Literatur zu findende mögliche Klassifizierungsgenauigkeit von 90 % für die in der Tabelle 11 dargestellten Nutzungsarten konnte nach Maskierung der Tagebauflächen erreicht werden.

Tab. 11: Nutzungsarten mit 90 % Klassifizierungsgenauigkeit (Maximum-Likelihood-Klassifikation) (verändert nach MAUS 1994, S. 195):

Nutzungsarten
Siedlungsflächen hoher Dichte
Siedlungsflächen geringer Dichte
stehende und fließende Gewässer
Nadel-, Misch- und Laubwald
Grünland (Wiesen und Weiden)
Ackerflächen mit Vegetation
Ackerflächen ohne Vegetation
Sonstige Flächen (Abgrabungen, Aufschüttungen, etc.)

Durch die thematische Darstellung der neun selektierten Klassen wird die charakteristische Struktur des Siedlungsnetzes mit seiner Knoten-Band-Struktur, dem konzentrischen Aufbau im Kern der zentralen Stadt und die Trennung dieser durch die Elster-Pleiße-Aue mit ihren Wäldern deutlich. Die Klassifikation stellt die sternförmige Ausbreitung der Stadt entlang radialer Achsen heraus und ermöglicht eine klare Trennung zwischen bebauten und unbebauten Gebieten. Die Lage der Stadt, ihre räumliche Ausprägung, die unterschiedliche Verdichtung und die teilweise fließenden Übergänge in angrenzende Orte kommen genauso zum Vorschein, wie das gegensätzliche Verhältnis der bebauten zur unbebauten Fläche zwischen der Stadt und dem Umland sowie die Dichte und Geschlossenheit der bebauten Fläche. Ein Gradient der Versiegelungsdichte vom Stadttinneren mit seinen verdichteten Kerngebieten hin zu den Randbereichen läßt sich ableiten. Die Bereiche unterschiedlicher Verdichtung bilden sich als relativ homogene Flächen ab (hoher Mischpixelanteil). Die Großblockbebauung (viele homogene, wenige Mischpixel) hingegen erscheint sehr lückenhaft, ist in ihren Lagebeziehungen fehlerbehaftet und wird von den Flächen ohne Vegetation durchmischt (vgl. Kap. 2.3.1 - 2.3.3).

Während im Innersten der Stadt weitestgehend große Grünflächen fehlen, verläuft der Auenwald quer hindurch. Weitere Grünzüge ragen radial in die Stadt bis zu einem Drittel hinein. Sie kommen hauptsächlich in den gering verdichteten Gebieten vor (vgl. Kap. 2.3.1 - 2.3.2).

Die Stadtrandzone zeigt mehrere, gut erkennbare Kleinstädte und ländliche Siedlungen, ist aber ansonsten hauptsächlich landwirtschaftlich geprägt. Nur in eng an Leipzig angrenzenden Gemeinden sind größere Besiedlungsflächen mit verdichteten Gebieten vorhanden. Zu diesen zählen zum Beispiel Taucha, Markkleeberg, Engelsdorf, Mölkau, Wiederitzsch und Böhlitz-Ehrenberg, die auch anhand der Luftbildauswertung als solche zu interpretieren sind. Es sind dies 'die am stärksten urbanisierten städtischen Vororte' (NEUMANN 1994, S. 59; vgl. Kap. 2.3.1 - 2.3.2).

Kleinere Strukturelemente einer Stadt (Straßennetz, unterschiedliche Bebauungsarten (Blockrandbebauung, mehrgeschossiger Wohnungsbau, etc.)) sind ebenso wie Industrie- und Gewerbegebiete, Verkehrsflächen oder Bebauungsgebiete im klassifizierten Bild nicht erkennbar. Die spektrale Trennbarkeit von städtischen Oberflächen gestaltet sich aufgrund oftmals ähnlichen Spektralverhaltens schwierig. Die Klassifikation kann 'land-cover-', aber keine 'land-use-Klassen' unterscheiden (vgl. Kap. 2.3.1, 2.3.2, 2.3.4 u. 2.3.5).

Die multitemporale Betrachtung der Klassifikationen läßt Entwicklungsachsen und mögliche Veränderungsbereiche, Entkernungs- oder Verdichtungsgebiete ausgliedern. Der Trend, die Lage und die Größe, nicht aber immer die Art der Veränderungsflächen sind erkennbar (vgl. Kap. 2.3.3).

Die Vergleiche der Klassifikation mit den Stadtstrukturtypen und der Flächennutzung (s. Kap. 2.3.4 u. 2.3.5) sind aufgrund der unterschiedlichen Klasseneinteilungen und -typen (land-cover ↔ land-use) relativ schwer. Die unterschiedlichen Generalisierungsgrade behindern einen Test der Güte der Übereinstimmung (vgl. Kap. 2.3.4 - 2.3.5).

Die visuelle Interpretation der georeferenzierten Rohbilder stellt eine Ergänzung zur Klassifikation dar. Ihr Vorteil liegt in der besseren, visuellen Unterscheidungsmöglichkeit in den bebauten Gebieten. Während der von NEUMANN (1994, S. 59) angesprochene 'beginnende räumliche Strukturwandel der Flächennutzung' im äußeren Stadtbereich und der Stadtrandzone nachvollzogen werden konnte, können die Altindustrialgebiete und deren Veränderungen - wie auch bei der Klassifikation - nur bei einer einhergehenden Änderung der Flächennutzung erkannt werden. Hingegen lassen sich Bebauungsgebiete ausweisen und Kleingartenanlagen von der Ein- und Zweifamilienhausbebauung abgrenzen (vgl. Kap. 2.3.6 - 2.3.6.3).

Die indirekte Ableitung sozialer Aspekte stößt bei der visuellen Interpretation und bei der Klassifikation von Landsat-TM-Daten an seine Grenzen. Es können nur oberflächliche und allgemein-

gültige Aussagen getätigt werden, wie zum Beispiel, daß die Lage verschiedener Stadtbereiche in der Nähe zum Auenwald eine bessere Wohnqualität mit höherem Freizeitwert darstellt. Genauere Analysen sind nicht möglich, da die eigentliche Nutzung der einzelnen Bereiche und weitere Standortfaktoren nicht analysiert werden können. Auch bei der Luftbildinterpretation muß in diesem Punkt auf Referenzdaten zurückgegriffen werden.

Insgesamt werden alle Ergebnisse von der Lageabweichung der Pixel (Fehler bei der geometrischen Entzerrung), den unterschiedlichen Aufnahmeparametern, der spektralen Ähnlichkeit von Objekten, den Mischpixeln und der unterschiedlichen Phänologie beeinflusst (vgl. Kap. 2.4).

### 3. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Tab. 12: Veränderungen bei Urbanisierungsprozessen und ihre Sichtbarkeit im Landsat-TM-Bild

Veränderung	+ = sichtbar - = nicht sichtbar
großflächige Umgestaltung bereits bebauter Straßen	+/-
neue großflächige Gewerbegebiete am Stadtrand/entlang von Entwicklungsachsen	+
Zunahme der Versiegelung	+
Wohnsiedlungen am Stadtrand mit zunehmender Durchgrünung nach Jahren	+
Verkehrsnetzausbau	(+)/-
Kraftwerks-/Industriestillegung	-
Funktionswandel in der Industrie ohne Änderung von Bausubstanz und Grün	-
Abnahme der Freiräume in der Stadt	(+)
Zunahme der Eigenheime	+/-
Bewahrung + teilweiser Ausbau von Grünzügen	+
Ausbreitung + Verdichtung der Städte	+

Wie die vorangegangene Betrachtung ergeben hat, gehen Urbanisierungsprozesse einher mit verschiedenen Prozessen der Flächenum- und -neugestaltung. In der Tabelle 12 sind einige Beispiele hierfür und ihre Sicht- oder Unsichtbarkeit im Landsat-TM-Bild dargestellt. Aus ihr lassen sich die Elemente Flächenversiegelung, Bebauung/-sart und Durchgrünung/Vegetationsanteil im Stadtgefüge ableiten, die mittels Fernerkundung einen Hinweis auf Urbanisierungsprozesse geben können. Nur die Veränderung der Flächennutzung, nicht aber die mit Urbanisierungsprozessen einhergehenden Veränderungen der inneren Struktur und der sozialen und wirtschaftlichen Verhältnisse kann in der Fernerkundung einen indirekten Rückschluß auf die Urbanisierung geben (s. Tab. 13).

Tab. 13: Im Satellitenbild erkennbare Flächennutzungsveränderungen

Ackerland	→	bebaute Fläche
Brach- und Umwidmungsflächen	→	bebaute Fläche
Wald	→	bebaute Fläche
Grünland	→	bebaute Fläche
bebaute Fläche	→	unbebaute Fläche

Die Aussagemöglichkeiten bleiben aufgrund der Abbildung der Remissionseigenschaften von Objekten und der sensorspezifischen Auflösung (geometrisch und spektral) begrenzt. Die Landsat-TM-Daten eignen sich somit vordergründig für die Analyse größerer Räume. Wie sich aber gezeigt hat, sind durchaus auch innerhalb urbanisierter Gebiete planungsrelevante Aussagen möglich, jedoch nicht allumfassend. Landsat-TM-Daten stellen einen guten Grundlagendatensatz für die Analyse möglicher Veränderungsräume dar. Gerade in den oftmals geringer strukturierten Stadtrandbereichen können Verflechtungen und Entwicklungen relativ gut nachvollzogen werden. Positiv kommen die hohe Repititionsrate, die geringen Kosten und die große Ausschnittsgröße hinzu, die zusammen mit der direkten Möglichkeit zur digitalen Verarbeitung enorme Vorteile gegenüber den Luftbildern darstellen (s. auch Tab. 14). Die hohe spektrale Auflösung von Landsat-TM kann aber die Detailgenauigkeit von Luftbildern nicht ersetzen. Werden Aussagen zur Ausrichtung, Höhe und Form der Bebauung erwartet, kann ein Landsat-TM-Bild nicht benutzt werden. Für Angaben zur Funktion einer Fläche eignet sich auch das Luftbild nicht.

Aufgrund der dargestellten gravierenden Unterschiede der Klassifikationsgenauigkeiten der Klassen 'Flächen unterschiedlicher Verdichtung' und 'Großblockbebauung', die offensichtlich durch das unterschiedliche Verhältnis von Misch- zu homogenen Pixeln zu begründen sind, lassen höher geometrisch auflösende Satellitendaten - zum Beispiel SPOT-MS - schlechtere Klassifikationsergebnisse innerhalb städtischer, bebauter Gebiete erwarten.

Einen enormen Vorteil stellt die Rasterdatenbasis von Landsat-TM-Daten dar. Nach der Datenentzerrung sind zahlreiche Möglichkeiten der Raster-GIS-Verknüpfungen möglich. Gerade im Hinblick auf den momentanen Trend des Aufbaus von Geographischen Informationssystemen - auch in den Kommunen - bieten sich hier zahlreiche Möglichkeiten der Informationsergänzung, der Verifizierung etc., die ansatzweise in dieser Arbeit vorgestellt worden sind. So können verschieden verarbeitete Bilder mit statistischen Daten, Vektordatensätzen, Datenbanken etc. verknüpft und dessen Ergebnisse durch eine Transformation der Raster- in Vektordaten für die weitere Verarbeitung und Nutzung verfügbar gemacht werden. Ebenfalls bereitet eine zeitliche Analyse eines größeren Raumes keine Probleme und ist relativ schnell durchführbar. Durch die Raster-GIS-Kom-

patibilität ist der Nutzen von Landsat-TM-Daten für die Untersuchung von Urbanisierungsprozessen als gut anzusehen. Sie führt zu einer Steigerung der Aktualität und Vollständigkeit von umwelt-relevanten Informationen in einem Geographischen Informationssystem. Aus ihm heraus können umfassende digitale Karten für ganz spezielle Fragestellungen erstellt und dem Planer an die Hand gegeben werden. Dies ist gerade im Hinblick auf die vorausschauende Planung von Bedeutung. Die Fernerkundungsdaten des Landsat-TM bieten hierfür - für einen in der Planung in Zukunft möglichst gering zu haltenden Flächenverbrauch - eine gute Planungsgrundlage, da mit ihrer Hilfe groß-räumig eine Landschaftsanalyse im Hinblick auf den Flächenverbrauch versiegelter Flächen gemacht werden kann (THEILEN-WILLIGE 1993, S. 74). Durch die aufgrund ihres unterschiedlichen Reflexionsverhaltens gute Erkennbarkeit von bebauten und unbebauten Flächen kann eine Basis für die weitere Planung geschaffen werden, mit der Aussagen über die Lage möglicher Erweiterungsflächen gemacht werden können. Zum Beispiel können durch eine Überlagerung von Landsat-TM-Daten mit Datensätzen mit Informationen zur Lage der Landschafts- und Naturschutzgebiete und mit Daten anderer Datenbanken mit Informationen zur Lage von Verkehrsanbindungen etc. die optimalen Standorte für ein Gewerbegebiet ausgewiesen werden. Die Möglichkeiten in diesem Bereich sind nahezu unbegrenzt und mit Luftbildern nicht in der hier dargestellten, einfachen Form durchführbar. Wichtig ist die Nutzungsmöglichkeit von Landsat-TM-Daten auch deshalb, weil die Anwendungsmöglichkeiten eines Geographischen Informationssystems in einem komplexen Raum wie einer Stadtregion mit in ihr ablaufenden 'Raum-Zeit-Prozessen' unterschiedlicher Auflösung und Geschwindigkeit immer unüberschaubarer werden (VETTER 1994, S. 186).

Tab. 14: Gegenüberstellung von Landsat-TM-Daten und CIR-Luftbildern (+ = bessere Eignung; - = schlechtere Eignung)

	<b>CIR-Luftbild</b>	<b>Landsat-TM-Bild</b>
<b>geometrische Auflösung</b>	+	-
<b>radiometrische Auflösung</b>	-	+
<b>spektrale Auflösung</b>	-	+
<b>Ausschnittsgröße</b>	-	+
<b>zeitliche Auflösung</b>	-	+
<b>Kosten</b>	-	+
<b>Detailerkennbarkeit</b>	+	-
<b>digitale Verarbeitungsmöglichkeit</b>	-	+
<b>Raster-GIS-Verknüpfungen</b>	-	+
<b>temporale Vergleichbarkeit</b>	-	+

Landsat-TM-Daten kommen hauptsächlich für großräumige Anwendungsfälle kleinerer Maßstäbe (1 : 50 000 und kleiner) in Betracht. Für innerstädtische Analysen der realen Flächennutzung und ihrer territorialen Veränderung ist das Hinzuziehen von Referenzmaterialien unerlässlich. Im überregionalen Raum hingegen können hinreichend gute Ergebnisse erzielt werden. Als Maßstabsebene für derartige Untersuchungen kommen 1 : 50 000 (im regionalen Bereich) und kleiner (im überregionalen Bereich) in Betracht. Zu diesem Ergebnis als Maßstabsbereich für eine brauchbare Klassifikation der Landnutzung urbaner Gebiete ist auch KONECNY (1989) gekommen. Vorsichtig handhabt er auch den Maßstabsbereich 1 : 50 000. Sichere Ergebnisse können mit Maßstäben von 1 : 100 000 und kleiner erzielt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß durch diese Untersuchung die Einsatzfähigkeit von Landsat-TM-Daten für die Fragestellung der Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen umfassend getestet worden ist. Die Aussagefähigkeit von Landsat-TM-Daten konnte in Kombination mit Referenzdaten erhöht werden. Hinderlich war die geringe geometrische Auflösung. Höher auflösende Satellitendaten und/oder die Kombination mit diesen lassen detailliertere Ergebnisse erwarten. Diese verschiedenen Methodiken und Sensoren werden im Laufe der weiteren Bearbeitung des Projektes multitemporal und -sensoral getestet. Insgesamt gesehen hat sich gezeigt, daß auch der grob auflösende Landsat-TM ein Mittel für die Raumstrukturanalyse und für die Charakterisierung bestimmter Grundeigenschaften der Ökologie der Stadtlandschaften ist.

#### 4. Literaturverzeichnis

- Achen, M. (1993): Untersuchungen über Nutzungsmöglichkeiten von Satellitenbilddaten für eine ökologisch orientierte Stadtplanung am Beispiel Heidelberg. - (= Heidelberger geographische Arbeiten, H. 91), Heidelberg
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.; 1993): Baulandbericht 1993. - Bonn-Bad Godesberg
- HERFERT, G. (1994): Suburbanisierung der Bevölkerung in Großstadtreionen Sachsens. Erste Trends nach dem politischen Wandel (mit Kartenbeilage). - Europa Regional 2, H. 3, S. 10 - 19
- Institut für Ingenieur- und Tiefbau GmbH, Geschäftsbereich Stadt- und Regionalentwicklung (USBECK, H.) u. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (KABISCH, S.) (Hrsg.; 1992): Ökonomische, soziale und ökologische Entwicklungsbedingungen und -perspektiven in der Stadtregion Leipzig. - Leipzig
- KONECNY, G. (1995): Satelliten-Fernerkundung und Kartographie. - GIS 2, S. 3 - 12
- KRAUSE, K.-H. (1988): Konzeption einer komplexen Flächennutzungskartierung unter ökologischen Aspekten im Maßstab 1 : 50 000. - (= Hall. Jb. f. Geowiss., Bd. 13, S. 67 - 89), Gotha
- KRÖNERT, R. (1981): Geographischer Hintergrund für die Untersuchung der Flächennutzung mit Methoden der Geofernerkundung. - (= Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR. Wissenschaftliche Mitteilungen 5, S. 47 - 56), Leipzig
- LESER, H.; HAAS, H.-D.; MOSIMANN, T. u. PAESLER, R. (1985): Diercke Wörterbuch der Allgemeinen Geographie, Bd. 1 A - M, Bd. 2 N - Z. - Braunschweig
- MAREK, K.-H.; PILARSKI, M.; SCHMIDT, K. (1994): Zur Nutzung von Fernerkundungsdaten für das regionale Umweltmonitoring. - In: ComMunic GmbH (Hrsg.): Dokumentation zu Informationsmanagement und -logistik. 30. Mai - 01. Juni 1994, ICC, Berlin. - Nürnberg
- MAUS, O. (1994): Gemeinde- und stadtteilweise Raumbesichtigung mit Landsat- und Luftbilddaten. - In: ComMunic GmbH (Hrsg.): Dokumentation zu Informationsmanagement und -logistik. 30. Mai - 01. Juni 1994, ICC, Berlin. - Nürnberg
- NEUMANN, H.; USBECK, B.; USBECK, H. (1994): Weiche Standortfaktoren und Flächennutzung. - (= UFZ-Bericht Nr. 3), Leipzig
- SCHMIDT, I. (1986): Zur Interpretation von Multispektral-Flugzeugaufnahmen für Fragen der Flächennutzung, dargestellt am Beispiel der Stadt Leipzig. - Petermanns Geographische Mitteilungen 130, 3, S. 203 - 212
- Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen (Hrsg.; 1995): Statistischer Bericht I. Quartal 1995. - Leipzig
- THEILEN-WILLIGE, B. (1993): Umweltbeobachtung durch Fernerkundung. - Stuttgart
- VETTER, L. (1994): Inventarisierung der Mecklenburg-Vorpommerschen Boddenlandschaft mit Hilfe fernerkundlicher Methoden und einem Geoinformationssystem (GIS). - In: ComMunic GmbH (Hrsg.): Dokumentation zu Informationsmanagement und -logistik. 30. Mai - 01. Juni 1994, ICC, Berlin. - Nürnberg

# Stadtökologische Forschungen

## **Nr. 1 UFZ-Bericht Nr. 5/1996**

Winkler, M.: Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihre ökologische Bedeutung

## **Nr. 2 UFZ-Bericht Nr. 6/1996**

Arndt, E. & Pellmann, H.: Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen

## **Nr. 3 UFZ-Bericht Nr. 8/1996**

Frühauf, M., Breuste, I., Breuste, J., Diaby, K., Sauerwein, M., Zierdt, M.: Hallesche Kleingärten. Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten.

## **Nr. 4 UFZ-Bericht Nr. 9/1996**

Heinz, V.: Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

Autorin:  
Vera Heinz  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Permoserstraße 15  
D-04318 Leipzig  
Telefon 0341/235-2098  
Telefax 0341/235-2511

Herausgeber:  
Prof. Dr. Jürgen Breuste  
Redaktion:  
Dr. Peter Böhm  
Projektbereich Urbane Landschaften  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Permoserstraße 15  
04318 Leipzig  
Telefon 0341/235-2843  
Telefax 0341/235-2534