

Geographisches Institut  
der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

**Monitoring von Stadtstrukturen unter Anwendung der  
Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaßen**

Dargestellt am Beispiel Halle-Leipzig

Diplomarbeit

vorgelegt von  
Kerstin Schallenberg

betreut durch  
Prof. Dr. G. Menz

Bonn, im August 2001

## **Danksagung**

Ohne die Hilfe und die Unterstützung zahlreicher Personen wäre die Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Bei Herrn Prof. Dr. Menz möchte ich mich für die fachliche Betreuung der gesamten Arbeit und die konstruktiven Diskussionen bedanken.

Ebenfalls gilt mein Dank den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Sektion Angewandte Landschaftsökologie des UFZ unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Krönert für die Bereitstellung meines Arbeitsplatzes. Ganz besonders möchte ich mich bei Frau Dr. Angela Lausch bedanken, die den Anstoß zu dieser Diplomarbeit gab und mir mit vielfältigen Anregungen sowohl in technischer als auch in fachlicher Hinsicht hilfreich zur Seite stand. Darüber hinaus möchte ich mich bei Frau Dr. Dagmar Haase und Matthias Rosenberg für die zahlreichen problemorientierten Diskussionen, Frau Ulrike Hädrich und Frau Christine Geyer für die Betreuung der Hard- und Software sowie Frau Dr. Annegret Kindler und Frau Gundula Schulz für die Bereitstellung unzähliger Daten bedanken.

Bei Herrn Heinz Krause (Stadtverwaltung Halle) möchte ich mich für die problemlose Bereitstellung der Stadtteilgrenzen der Stadt Halle bedanken.

Ein großes Dankeschön geht an meine Mitdiplomanden am UFZ Kristin Deutschewitz und Silyia Morgenstern, die mir während meines Aufenthaltes in Leipzig freundschaftlich zur Seite standen und stets zu konstruktiven Diskussionen bereit waren. Für die engagierte und kritische Durchsicht meiner Arbeit gilt mein Dank Matthias Braubach.

Ein besonderer Dank gilt meiner Mutter, die mich auf meinem Lebensweg liebevoll begleitet und unterstützt hat. Ebenfalls möchte ich meinen Großeltern bedanken, da ohne ihre Hilfe der Aufenthalt in Leipzig nicht möglich gewesen wäre.

Holger Voss danke ich für die unermüdliche Unterstützung während der Diplomzeit, für eine wunderschöne gemeinsame Zeit und seine Liebe.

# 1 Verzeichnisse

## 1.1 Inhaltverzeichnis

1	Verzeichnisse .....	1
1.1	Inhaltverzeichnis .....	1
1.2	Abbildungsverzeichnis .....	4
1.3	Tabellenverzeichnis .....	5
1.4	Abkürzungsverzeichnis .....	6
2	Problemstellung und Zielsetzung .....	7
2.1	Problemstellung .....	7
2.2	Zielsetzung .....	10
2.3	Aufbau der Arbeit .....	11
3	Theoretische Grundlagen .....	13
3.1	Fernerkundung .....	13
3.1.1	Grundlagen der Fernerkundung .....	13
3.1.2	Skalen in der Fernerkundung .....	17
3.2	Landschaftsstrukturmaße – Landschaftsökologischer Hintergrund .....	20
3.2.1	Entwicklung der Landschaftsökologie .....	20
3.2.2	Quantitativer Ansatz der Landschaftsökologie .....	22
3.3	Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße zur Analyse urbaner Regionen .....	25
3.3.1	Urbane Räume und nachhaltige Entwicklung .....	25
3.3.2	Potentiale der Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße zur Analyse urbaner Regionen .....	28
4	Datenmaterial und Hard- & Software .....	30
4.1	Satellitendaten .....	30
4.2	Zusätzliche Daten .....	31
4.3	Hard- und Software .....	32
5	Das Untersuchungsgebiet .....	33
5.1	Der Verdichtungsraum Halle-Leipzig .....	34
5.1.1	Ausbildung der Verdichtung bis 1945 .....	34
5.1.2	Die Entwicklung zwischen 1945 und 1989 .....	35
5.1.3	Die Entwicklung seit 1989 .....	36
5.1.4	Raumplanerische Problematik .....	40
6	Aufbereitung der Ausgangsdaten .....	42
6.1	Geometrische Entzerrung der Satellitenbilder .....	42
6.2	Filteroperationen .....	44
6.3	Generierung künstlicher Kanäle .....	45

6.4	Visuelle Interpretation.....	46
7	Digitale Erfassung der Landschaftselemente.....	48
7.1	Grundlagen der Klassifikation.....	48
7.2	Hierarchische Klassifikation der Landsat-TM-Szenen.....	50
7.2.1	Klassifikationsschlüssel.....	50
7.2.2	Trainingsgebietsauswahl.....	52
7.2.3	Signaturanalyse.....	53
7.2.4	Durchführung der hierarchischen Klassifikation.....	56
7.2.5	Überprüfung und Beurteilung der Klassifikationsergebnisse.....	57
7.2.6	Interpretation der Klassifikationsergebnisse.....	59
8	Berechnung der Landschaftsstrukturmaße.....	60
8.1	Einflußfaktoren der Erfassung und Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen.....	60
8.1.1	Abschätzung des Einflusses der Phänologie auf die Veränderung der Flächennutzung	60
8.1.2	Bedeutung der Integration linearer Elemente.....	64
8.2	Ausgewählte Landschaftsstrukturmaße zur Quantifizierung der Stadtstruktur.....	65
8.2.1	Flächenmaße.....	68
8.2.2	Patchmaße.....	69
8.2.3	Kantenmaße.....	70
8.2.4	Formmaße.....	71
8.2.5	Distanzmaße.....	73
8.2.6	Maße der räumlichen Verteilung.....	74
8.3	Bezugsräume der Berechnung der Landschaftsstrukturmaße.....	76
9	Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse.....	80
9.1	Landschaftsstrukturmaße zur Erfassung urbaner Landnutzungsmuster.....	80
9.2	Landschaftsstrukturmaße zum Monitoring urbaner Strukturen.....	89
9.3	Landschaftsstrukturmaße zur Erfassung unterschiedlicher urbaner Landschaftsstrukturen entlang von Nutzungsgradienten.....	99
9.4	Landschaftsstrukturmaße zum Monitoring urbaner Wachstumsprozesse.....	107
10	Bewertungspotentiale der Landschaftsstrukturmaße.....	113
10.1	Notwendigkeit der Landschaftsbewertung.....	113
10.2	Möglichkeiten der Landschaftsbewertung anhand der berechneten Landschaftsstrukturmaße.....	114
10.2.1	Ausmaße der Versiegelung.....	114
10.2.2	Ausmaße der Fragmentierung.....	116
10.2.3	Erholungspotential.....	119
10.2.4	Praktische Bedeutung der Landschaftsstrukturanalyse für die Planung.....	121

---

11	Beurteilung und Ausblick.....	123
11.1	Zusammenfassung.....	123
11.2	Bewertung der Methode.....	124
11.3	Forschungsbedarf und zukünftige Entwicklungsperspektiven.....	126
12	Literaturverzeichnis.....	128
13	Anhang.....	139
13.1	Trennbarkeitsmaße der Signaturen der Musterklassen Distanzmaß: Jefferies-Matusita, durchschnittliche Trennbarkeit.....	139
13.1.1	Siedlungsbereiche 1992.....	139
13.1.2	Umlandbereiche der Städte Halle und Leipzig 1992.....	140
13.1.3	Siedlungsbereiche der Städte Halle und Leipzig 1999.....	141
13.1.4	Umlandbereiche der Städte Halle und Leipzig 1999.....	142
13.2	Klassifikation.....	143
13.3	Errormatrix zur Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit.....	145
13.4	Veränderungsanalyse.....	146
13.5	Daten der amtlichen Statistik des Landesamtes Sachsen und Sachsen-Anhalt.....	149
13.6	Landschaftsstrukturmaße.....	151
13.6.1	Stadtteile: Landschaftsbezogene Strukturmaße.....	151
13.6.2	Stadtteile: Klassenbezogene Strukturmaße (1999).....	152
13.6.3	Stadtteile: Klassenbezogene Strukturmaße (1992/1999).....	154
13.6.4	Nutzungsgradient: Landschaftsbezogene Strukturmaße.....	158
13.6.5	Nutzungsgradient: Klassenbezogene Strukturmaße (1999).....	159
13.6.6	Nutzungsgradient: Klassenbezogene Strukturmaße (1992/1999).....	163

## 1.2 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Struktur der Arbeit .....	12
Abbildung 2: Das elektromagnetische Spektrum.....	14
Abbildung 3: Kurven der spektralen Reflexion von Vegetation, Boden und Wasser .....	16
Abbildung 4: The influence of levels of temporal and spatial resolution on data-handling thresholds for various phenomena. ....	17
Abbildung 5: Anforderungen an die räumliche Auflösung zur digitalen Erfassung urbaner Strukturen.....	19
Abbildung 6: Hierarchischer Aufbau der Landschaft .....	21
Abbildung 7: Zusammenhang zwischen den Landschaftskomponenten Struktur, Funktion und Dynamik.....	22
Abbildung 8: Verdichtungsraum Halle-Leipzig.....	33
Abbildung 9: Equiprobability contours defined by a maximum-likelihood classifier .....	50
Abbildung 10: Darstellung der Trennbarkeit ausgewählter Klassen im Feature Space .....	55
Abbildung 11: Klassifikationsmethode.....	57
Abbildung 12: Flächenveränderung phänologisch beeinflussbarer Klassen.....	61
Abbildung 13: Bedeutung der Integration linearer Elemente.....	65
Abbildung 14: Definition der Patches .....	67
Abbildung 15: Einfluß von Landschaftsgrenzen auf den MNNWert.....	74
Abbildung 16: Abgrenzung der Stadtteile und der Nutzungsgradienten.....	79
Abbildung 17: Erhöhung der Randeffekte durch die Fragmentierung eines Landschaftselementes durch zwei Straßen.....	117
Abbildung 18: Bewertung der Veränderung des Fragmentierungsgrades natürlicher Flächen zwischen 1992 und 1999 am Beispiel ausgewählter Stadtteile der Städte Halle und Leipzig	118
Abbildung 19: LSM zur Bewertung urbaner Landschaften .....	121

### 1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten von Landsat 5 TM .....	30
Tabelle 2: Referenzdaten.....	31
Tabelle 3: Besuchshäufigkeiten der Innenstadt bzw. der Einkaufszentren des Umlandes.....	38
Tabelle 4: Neue Baugebietsflächen im Kernraum der Region Halle-Leipzig.....	39
Tabelle 5: Klassifikationsschlüssel .....	52
Tabelle 6: Klassifikationsgenauigkeit der Landsat-TM Szenen vom 28.05.1992 und 30.4.1999....	59
Tabelle 7: Symbole der Berechnungsformeln der verwendeten Landschaftsstrukturmaße .....	68
Tabelle 8: Überblick über die Testgebiete .....	78
Tabelle 9: Hypothesenaufstellung zur Differenzierung der unterschiedlicher urbaner Strukturen anhand von LSM.....	81
Tabelle 10: Hypothesenaufstellung zur Erfassung der strukturellen Veränderungen anhand von LSM.....	90
Tabelle 11: Hypothesenaufstellung zur Differenzierung der Landschaftsstruktur entlang von Nutzungsgradienten.....	99
Tabelle 12: Hypothesenaufstellung zur Erfassung der urbanen Wachstumsprozesse.....	108
Tabelle 13: Dimensionen der Bewertung.....	113

## 1.4 Abkürzungsverzeichnis

CEO	Center for Earth Observatuion
CIR	Color-Infrarot
CONTAG	Contagion Index
DLFD	Double Log Fractal Dimension
ED	Edge Density
EEA	Europäische Umweltagentur
EPA	US Environmental Protection Agency
ERDAS	Earth Resource Data Analysis System
GIS	Geographisches Informationssystem
IJI	Interspersion and Juxtaposition Index
LANDSAT-MSS	Landsat-Multispectral Scanner
LANDSAT-TM	Landsat-Thematic Mapper
%LAND	prozentualer Flächenanteil einer Landnutzungsklasse
LSM	Landschaftsstrukturmaß
MNN	Mean Nearest Neighbor Distance
MPS	Mean Patch Size
MSI	Mean Shape Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NNSD	Nearest Neighbor Standard Deviation
PD	Patch Density
PSSD	Patch Size Standard Deviation
RGB	Rot-Grün-Blau
RMS	Route Mean Square
UNCED	Conference on Environment and Development
USGS	US Geological Survey

## 2 Problemstellung und Zielsetzung

### 2.1 Problemstellung

Auf der globalen Ebene ist der Begriff der Nachhaltigkeit als Zielvorgabe für zukünftige Entwicklung seit der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro mit dem Globalen Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert (Agenda 21) eingeführt worden. In Kapitel 28 der Agenda 21 werden speziell die Städte aufgefordert, sich an der Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung zu beteiligen. Aufgrund der Tatsache, daß etwa 80% der europäischen Bevölkerung in Städten lebt, (KIVELL, 1993: 1) muß deren Beteiligung eine hohe Bedeutung beigemessen werden. Durch die Konzentration von wirtschaftlichen Aktionen und den daraus resultierenden hohen Energie- und Stoffumsätzen, der intensiven Flächennutzung und dem erhöhten Verkehrsaufkommen, können Städte als „*Hauptverursacher regionaler und globaler Umweltbelastung*“ (WICKOP ET AL. 1998: 7) angesehen werden. Durch die hohe Bevölkerungskonzentration sind viele Menschen direkt von den steigenden Umweltbelastungen betroffen. Gleichzeitig sind die Städte allgemeinen Entwicklungstrends wie der Globalisierung, der Technisierung und der Tertiärisierung ausgesetzt, so daß sie zunehmend als Problemräume der sozialen Entwicklung, einer politischen Handlungsfähigkeit und einer intraregionalen Standortkonkurrenz gesehen werden müssen. (Breuste, 2000: 1)

Aus der Entwicklung der letzten Jahre ergibt sich, daß die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung ohne eine aktive Einbeziehung der Städte nicht zu erreichen sind. (WICKOP 1998: 7) Da auf kommunaler Ebene nur ansatzweise Tendenzen einer nachhaltigen Entwicklung zu erkennen sind, besteht die dringende Notwendigkeit für ein wirtschaftlich effizientes, aber gleichzeitig auch umweltverträgliches und nachhaltiges Stadtmanagement. (BUND & MISEREOR 1996: 256)

Städte heben sich heute nicht mehr punktuell vom Umland ab, sondern „*fließen vielmehr in die Landschaft hinein*“. (BMBAU 1996: 8) Infolgedessen müssen Städte zunehmend als offene Systeme verstanden werden. Mit dem fließenden Übergang der Städte in ihr Umland geht ein Verbrauch an Grün- und Freiflächen sowie die Isolation von natürlichen Flächen einher. Aus diesem Grund bleiben zahlreiche Umweltprobleme nicht auf die Kernstädte beschränkt, sondern betreffen auch das Umland. (BUCHANAN & ACEVEDO, 1997: 3) Um eine umweltverträgliche und nachhaltige Entwicklung des urbanen Raumes<sup>1</sup> zu erzielen, reichen lokale Entwicklungsstrategien nicht aus. Zur Umsetzung einer nachhaltigen und umweltverträglichen Entwicklung urbaner Räume fordert

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff „urbaner Raum“ wird in der vorliegenden Arbeit nicht nur der Bereich innerhalb der administrativen Stadtgrenzen bezeichnet, sondern ebenfalls das nahe Umland betitelt. Hieraus ergibt sich, daß sich der urbane Raum aus den Zweiteilen Stadt und Umland zusammensetzt. Unter dem Begriff „Stadt“ wird der administrative Stadtbegriff verstanden, wohingegen unter dem Begriff „Umland“ der sich unmittelbar an die Stadt anschließenden Bereich gemeint ist.

KÜHN (1997) „[...] Formen stadtreionaler Kooperationen zu entwickeln, die den engen Verflechtungsbeziehungen zwischen Stadt und Umland gerecht werden“. (KÜHN, 1997: 129)

Ein besonderer Erfahrungsgewinn innerhalb des Managementprozesses kann nach BREUSTE (2000) von Stadtregionen erwartet werden, die sich in einer intensiven Umbruchphase befinden. (Breuste, 2000: 1) Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Arbeit, der Verdichtungsraum Halle-Leipzig als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Durch die politische Wende 1989 und die damit verbundene Ablösung der sozialistischen Planwirtschaft durch marktwirtschaftliche Strukturen, befindet sich die Region zur Zeit in einer Phase eines tiefgreifenden Strukturwandels. Da sich dieser, im Gegensatz zu den strukturellen Veränderungen der Wirtschaft in den alten Bundesländern während der 1960er und 1970er Jahre, mit einer enormen Geschwindigkeit vollzieht, wird auch von einem „Strukturbruch“ gesprochen. (GRUNDMANN, 1995: 21, KRÖNERT & ERFURT, 1994: 18)

Aufgrund ungeklärter Eigentumsfragen, Altlasten und Industriebrachen verfügten die Innenstädte kurz nach der politischen Wende 1989 nur über wenige disponible Bauflächen. Um den Interessen kapitalstarker Unternehmen entgegenzukommen, kam es zu einer großzügigen Baulandausweisung im Umland der Städte Halle und Leipzig und somit zu einer ausgeprägten Suburbanisierung<sup>2</sup>. (WIRTH 1993: 35) Die Bebauung erfolgte in den ersten Jahren nach der Wende in erster Linie „auf der Grundlage von Vorhaben- und Erschließungsplänen für Einzelobjekte, teilweise auf der Grundlage von Bebauungsplänen und nur zum kleinen Teil auf der Grundlage bereits bestätigter Flächennutzungspläne für ganze Gemeindeflächen“. (KRÖNERT, 1995: 166) Da unter den einzelnen Gemeinden nur eine geringe Abstimmung hinsichtlich der Flächenentwicklung statt fand, war die Ausdehnung von bebauten Flächen in einem unkontrollierbaren Maße möglich. Dies wurde von einem hohen Verbrauch von naturnahen Flächen, wie z.B. Agrar- oder Grünflächen begleitet. (FRANZ, 2000: 5f, GRUNDMANN, 1995: 26ff, ROTHER, 1997: 207) Der Verbrauch naturnaher Teilflächen hat zu ökologischen Belastungen geführt, und steht im Widerspruch zu einer nachhaltigen Entwicklung der Stadtregion. (BREUSTE, 1995B:175ff) (vgl. Kap. 5)

Aus den Forderungen nach einer nachhaltigen Stadtentwicklung erwachsen der Planung immer neue Aufgaben. Es besteht die Notwendigkeit, ein effizientes Management-Konzept für die Analyse der Raumentwicklung zu entwickeln. Wie bereits beschrieben, laufen die Suburbanisierungsprozesse in den neuen Bundesländern innerhalb kurzer Zeitspannen ab. Folglich wird es zunehmend schwieriger einen Überblick über die Landschaftsveränderungen zu behalten. In der Vergangenheit basierten Entscheidungen im Planungsprozeß oftmals auf Statistiken, die eine Bevölkerungszu-

---

<sup>2</sup> Der Begriff der Suburbanisierung wird in der vorliegenden Arbeit im Sinne von FRIEDRICHS (1983) definiert. „Es ist nicht nur eine Expansion der Stadt in ihr Umland, ...sondern zusätzlich eine Dekonzentration von Bevölkerung und Produktion, Verwaltung und Handel“. (FRIEDRICHS, 1983: 168)

oder –abnahme für bestimmte Gebiete aufzeigten. Ein räumlicher Zusammenhang läßt sich aus diesen Daten nur schwer erkennen, da die mit der Bevölkerungsentwicklung einhergehenden Veränderungen der Oberflächenbedeckung nicht erfaßt werden. Die Veränderungen der Oberflächenbedeckung wurden deshalb durch arbeits-, zeit- und kostenintensive Verfahren, wie beispielsweise der Kartierungen oder der Luftbildauswertungen ergänzt. (HEINZ, 1999: 136) „Insbesondere für die heutzutage vermehrt in den Vordergrund tretende Stadtökologie, die nicht unwesentlich durch die ablaufenden Urbanisierungsprozesse beeinflusst wird, ist aber der Raumbezug eine wichtige Grundlage. Somit sind aktuelle Flächennutzungsanalysen für eine gerichtete Raumplanung wesentlich, die im Zuge der heutigen Wirtschaftslage möglichst kostengünstig sein sollte.“ (HEINZ, 1999:2) Darüber hinaus liegen den amtlichen Flächenstatistiken administrativen Gebietsgliederungen zugrunde, so daß „Aussagen zu Größe, Anzahl und räumlicher Verteilung der unterschiedlich genutzten Flächen einer Stadtregion durch Auswertung der amtlichen Flächenstatistik nicht getroffen werden können“. (EINIG, 1997: 16, SIEDENTOP, 1999: 147)

Vor diesem Hintergrund bietet sich der Einsatz von Fernerkundungsdaten als Planungsinstrument in der Stadtplanung an. Durch Fernerkundungsdaten ist eine räumliche und flächenhafte Erfassung der Landschaftsbedeckung möglich. Ebenso können durch die kurzen Wiederholungsraten die Veränderungen der Landschaftsbedeckung erfaßt werden. (STRUNZ & GÜLS, 1999: 69, WEIERS, 1999: 83, ZIEMKE & GÜLS, 1999: 91) Über die Analyse der Veränderungen der Landbedeckung besteht die Möglichkeit, negative Tendenzen der Entwicklung frühzeitig zu erkennen und in den Planungsprozeß einfließen zu lassen.

Zentraler Punkt der Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung ist die Klassifizierung der Satellitendaten in Landbedeckungsklassen. Über die monotemporale Auswertung klassifizierter Satellitenbilder kann der Ist-Zustand der Landbedeckung erfaßt werden, wohingegen über die multitemporale Auswertung der klassifizierten Bilder Veränderungen der Landbedeckung erfaßt werden können. Die Auswertung der Fernerkundungsdaten erfolgte in den letzten Jahren primär hinsichtlich spektraler Informationen. Im Gegensatz hierzu wurde dem räumlichen Informationsgehalt der klassifizierten Bilder, d.h. dem räumlichen Verteilungsmuster der einzelnen Landbedeckungsklassen, nur wenig Beachtung geschenkt. (GASPER, 1997: 4, MENZ, 1998: 106, RAMI, 1997: 3) Da Veränderungen unserer Umwelt häufig mit Veränderungen der räumlichen Struktur gekoppelt sind, stellt die räumliche Information klassifizierter Fernerkundungsdaten ein zusätzliches Analysepotential dar.

Seit Anfang der 1980er Jahre werden, vor allem in der nordamerikanischen Landschaftsökologie, Ansätze zur quantitativen Erfassung der Landschaftsstruktur anhand sogenannter Landschaftsstrukturmaße (LSM) entwickelt. Bisher mangelt es innerhalb der landschaftsökologischen For

schung an wissenschaftlichen Arbeiten, die eine Bedeutung der LSM für eine praktische Anwendungen innerhalb von Naturschutz und Planungsprozessen unterstreichen. (HOBBS, 1997: 5FF)

Mit der vorliegenden Arbeit soll, indem die Eignung der LSM zur Erfassung urbaner Strukturen sowie der Erfassung der Veränderung urbaner Strukturen untersucht wird, solch ein ergänzender Beitrag geleistet werden., Der Hintergrund dieser Landschaftsstrukturanalyse ist die praktische Relevanz für die Stadt- und Regionalplanung. Mit der vorliegenden Arbeit soll, indem die Eignung der LSM zur Erfassung urbaner Strukturen sowie der Erfassung der Veränderung urbaner Strukturen untersucht wird, solch ein ergänzender Beitrag geleistet werden. Der Hintergrund dieser Landschaftsstrukturanalyse ist die praktische Relevanz für die Stadt- und Regionalplanung.

## **2.2 Zielsetzung**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der quantitativen Erfassung der Stadtstruktur und ihrer Veränderung aus klassifizierten Satellitenbildern. Anhand charakteristischer Landbedeckungsklassen des urbanen Raumes sollen verschiedene LSM auf ihre Eignung zur Erfassung unterschiedlicher räumlicher Strukturen geprüft werden.

Als Untersuchungsgebiet wurde die Stadtregion Halle-Leipzig gewählt, da sich diese seit der politischen Wende 1989 in einem Transformationsprozeß befindet. Zudem setzt sich die Region Halle-Leipzig aus verschiedenen Bebauungsstrukturen zusammen, von denen sich die meisten auch in anderen Städten und Regionen wiederfinden lassen. Da sich die Veränderungen der urbanen Strukturen nicht nur auf die Innenstädte konzentrieren, sondern auch das Umland betreffen, wurde die Wahl des Untersuchungsgebietes nicht an administrativen Grenzen ausgerichtet. Bei der Festlegung der Grenzen des Untersuchungsgebietes wurde primär darauf geachtet, daß das Umland der beiden Oberzentren Halle und Leipzig mit abgebildet wird. Da vor allem die strukturellen Veränderungen nach der politischen Wende 1989 erfaßt werden sollten, wurden Landsat-TM Szenen aus den 1990er Jahren ausgewählt (28.05.1992 und 30.04.1999).

Die Auswertung der LSM erfolgte unter Annahme folgender Haupthypothesen:

- Die unterschiedliche Art bzw. Intensität der Landschaftsnutzung hat eine Auswirkung auf die Struktur der Landschaft.
- Die Transformationsprozesse in folge der politischen Wende 1989 haben in den verschiedenen Teilräumen des Verdichtungsraumes zu unterschiedlichen Veränderungen der Landschaftsstruktur geführt.

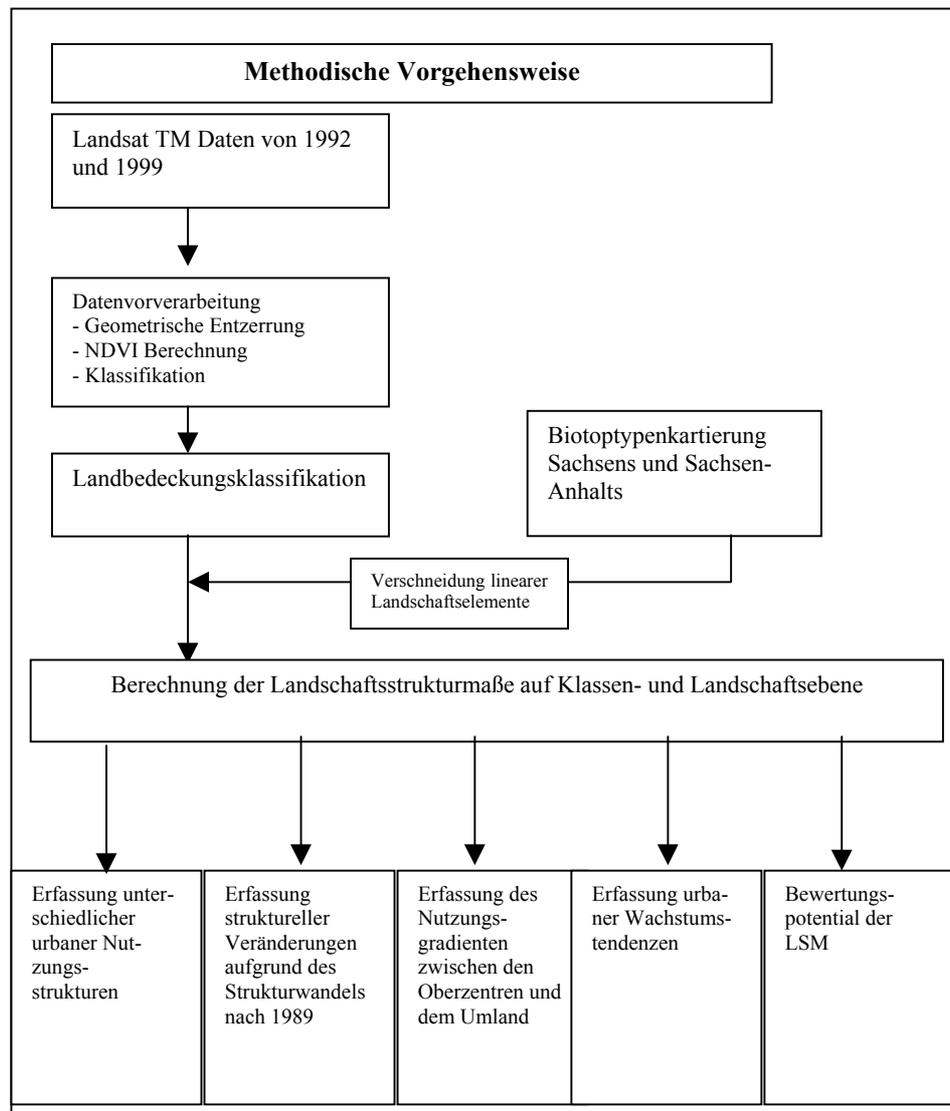
Infolgedessen lauten die zentralen Fragestellungen der Arbeit:

- Lassen sich die unterschiedlichen urbanen Landnutzungsstrukturen mit Hilfe der LSM aus klassifizierten TM-Daten quantitativ erfassen und differenzieren?
- Lassen sich die Veränderungen der urbanen Landnutzungsstruktur anhand der LSM quantitativ erfassen?
- Schlagen sich die Nutzungsgradienten von den Zentren der beiden Oberzentren zum Umland in den LSM nieder?
- Lassen sich die urbane Wachstumsprozesse mit Hilfe der LSM erfassen?

Aufbauend auf den Ergebnissen der Landschaftsstrukturanalyse soll abschließend geprüft werden, ob sich die LSM als Indikatoren zur Bewertung von urbanen Struktur eignen und für praktische Fragestellungen der Stadt- und Regionalplanung eine Bedeutung haben.

### **2.3 *Aufbau der Arbeit***

Bevor die Entwicklung des Untersuchungsgebietes vorgestellt wird (Kapitel 5), soll zunächst einleitend in Kapitel 3 ein Überblick über die theoretischen Grundlagen der Fernerkundung und der quantitativen Landschaftsökologie sowie über das verwendete Datenmaterial (Kapitel 4) gegeben werden. Im Anschluß wird in Kapitel 6 und 7 die Aufbereitung der Ausgangsdaten und die methodische Vorgehensweise der Klassifikation beschrieben. Mit Hilfe der Klassifikationen wurden für die beiden Zeitschnitte 1992 und 1999 Landbedeckungskarten erstellt, die eine Grundlage für die Berechnung der LSM bilden. Die mathematischen Berechnungsgrundlagen (Kapitel 8) sowie die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse (Kapitel 9) werden im Anschluß an die digitale Erfassung der Landschaftselemente (Kapitel 7) diskutiert. Abschließend wird das Potential der LSM zur Bewertung urbaner Strukturen vorgestellt. (Kapitel 10)



**Abbildung 1: Struktur der Arbeit**

Quelle: eigener Entwurf

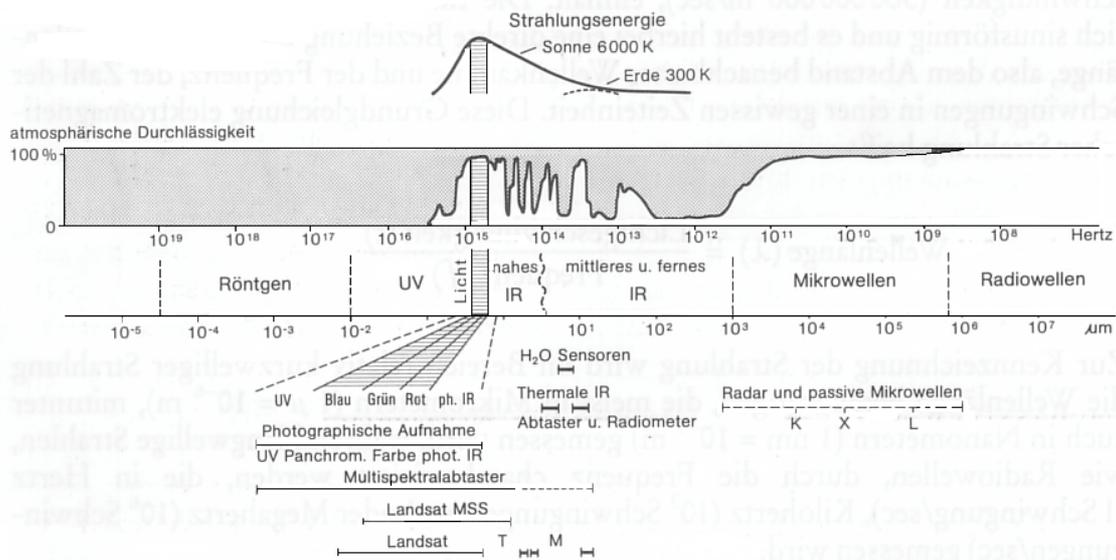
## 3 Theoretische Grundlagen

### 3.1 Fernerkundung

#### 3.1.1 Grundlagen der Fernerkundung

Unter Fernerkundung versteht man grundsätzlich einen Informationsgewinn über Objekteigenschaften, ohne mit diesen Objekten in direkten Kontakt zu treten. Nach HILDEBRANDT (1996) kann Fernerkundung daher wie folgt definiert werden: *„Fernerkundung im umfassenden Sinne ist die Aufnahme oder Messung von Objekten, ohne mit diesen in körperlich Kontakt zu treten, und die Auswertung dabei gewonnener Daten oder Bilder zur Gewinnung quantitativer und qualitativer Informationen über deren Vorkommen, Zustand oder Zustandsänderung und ggf. deren natürlichen und sozialen Beziehungen zueinander.“* (HILDEBRANDT; 1996:1) Der Informationsgewinn erfolgt mit Hilfe von Fernerkundungssensoren, die sich an Bord des Satelliten befinden. Als Informationsträger dienen physikalische Wellen der elektromagnetischen Strahlung, die sich zwischen dem zu untersuchenden Objekt und dem Sensor in Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. In Abhängigkeit von der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung wird diese von den Objekten reflektiert, emittiert bzw. absorbiert. Infolgedessen werden die verschiedenen Eigenschaften der Objekte, wie z.B. unterschiedliche Oberflächenstrukturen, in den Aufnahmen des Sensors abgebildet und können mittels geeigneter Auswertungsverfahren für den Anwender in nutzbare Informationen umgewandelt werden. (LÖFFLER, 1994: 22ff)

Die elektromagnetische Strahlung erstreckt sich über ein breites Spektrum, welches in verschiedene Bereiche gegliedert wird.(vgl. Abbildung 2) Die Grundlage dieser Einteilung beruht auf der Art der Entstehung sowie der Wirkung der Strahlung. Ebenfalls zeigt Abbildung 2, daß die Grenzen der verschiedenen Spektralbereiche fließend ineinander übergehen. Die Trennung der einzelnen Spektralbereiche erfolgt auf der Basis der Wellenlänge  $\lambda$  und der Frequenz  $f$ . (ALBERTZ, 1999: 9ff, LÖFFLER, 1994: 17ff)



**Abbildung 2: Das elektromagnetische Spektrum**

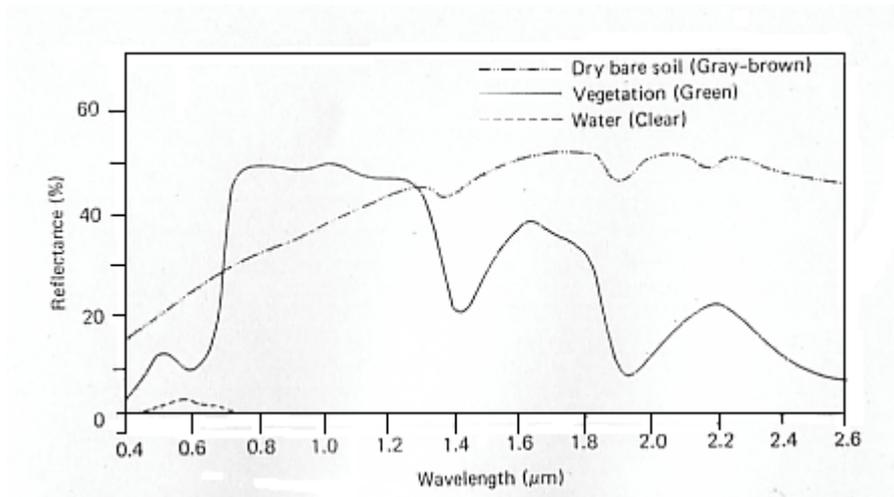
Quelle: LÖFFLER, 1994:18

Für die Fernerkundung ist nur ein bestimmter Teil des gesamten Spektrums von Interesse. Dieser setzt sich aus dem Bereich des sichtbaren und des infraroten Lichts sowie dem Bereich der Mikrowellen zusammen. Ferner unterscheidet man zwischen natürlicher und künstlicher elektromagnetischer Strahlung. Quellen der natürlichen Strahlung sind die Sonne und die Erde, da sie aufgrund ihrer Temperatur ein konstantes Spektrum verbreiten. Infolge der höheren Strahlungsenergie der Sonne, befindet sich ihr Strahlungsmaximum bei ca. 480 nm und somit im Bereich des sichtbaren Lichts, wohingegen das Maximum der Erde bei 10 µm, und somit im Bereich des thermalen Infrarot liegt. Aufgrund der natürlichen Quellen der elektromagnetischen Strahlung wird dieser Bereich der Fernerkundung auch als passive Fernerkundung bezeichnet. Dem gegenüber steht die aktive Fernerkundung, bei der die elektromagnetische Strahlung künstlich erzeugt wird. Das wesentliche Charakteristikum der aktiven Systeme liegt in der gleichzeitigen Funktion als Sender der Strahlung und Empfänger der Information. Als Beispiel kann die Radarfernerkundung dienen, bei der die Mikrowellen über eine Antenne ausgestrahlt und die von der Erdoberfläche zurückgesandten Informationen aufgenommen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden Fernerkundungsdaten aus dem Spektralbereich des reflektierten Sonnenlichtes verwendet. Diese Spektralbereiche umfassen den Bereich des sichtbaren und infraroten Lichtes und werden in der Fernerkundung unter dem Begriff „Optischer Bereich“ zusammengefaßt. Im Gegensatz zum Optischen Bereich, liegt der Vorteil des Mikrowellenbereiches in einer höheren Einsatzmöglichkeit. Mit Mikrowellen sind Aufnahmen auch bei Dunkelheit, Regen und Bewölkung möglich, woraus sich eine höhere zeitliche Verfügbarkeit der Daten ergibt. Der Vorteil

des optischen Bereiches besteht dagegen in einer wesentlich detaillierteren Differenzierung unterschiedlicher Landbedeckungen. (ALBERTZ, 1991:44ff, LILLESAND & KIEFER, 2000: 677ff; LÖFFLER, 1994: 43ff & 76ff)

Abbildung 3 (LILLESAND & KIEFER 2000: 17) zeigt am Beispiel der drei Oberflächenbedeckungen Boden, Vegetation und Wasser, daß verschiedene Oberflächen ein unterschiedliches spektrales Verhalten aufweisen, und daß sich das Reflexionsverhalten je nach Wellenlängenbereich ändert. Das Reflexionsverhalten der Vegetation wird im Spektralbereich des Sichtbaren Lichtes im wesentlichen durch die Blattpigmente beeinflusst. Bei etwa 7  $\mu\text{m}$ , am Übergang vom sichtbaren Bereich zum nahen Infrarot, steigt die Reflexion der Vegetation an, und beträgt im Mittel zwischen 40 und 50%. Hervorgerufen wird dieser Anstieg hauptsächlich durch die Blattzellstruktur. Da diese Struktur bei verschiedenen Pflanzenarten variiert, können in diesem Wellenlängenbereich anhand der gemessenen Reflexion, Pflanzenarten unterschieden werden. (Lillesand & Kiefer, 2000: 17ff) Ab 1.3  $\mu\text{m}$  bestimmt der Wassergehalt der Pflanze das Reflexionsverhalten, wobei sich die Höhe der Reflexion umgekehrt proportional zum Wassergehalt verhält. Die Eintiefungen in der Reflexionskurve bei 1.4  $\mu\text{m}$ , 1.9  $\mu\text{m}$  und 2.7  $\mu\text{m}$  resultieren aus sogenannten Wasserabsorptionsbanden. Hier erfolgt durch das in den Blättern enthaltene Wasser eine besonders ausgeprägte Absorption. Im Gegensatz zur Vegetation wird das Reflexionsverhalten des Bodens durch die Bodenfeuchtigkeit, die Oberflächenstruktur sowie durch den Gehalt an organischen Substanzen bestimmt. Da sich diese Faktoren nicht bestimmten Spektralbereichen zuordnen lassen, zeigt die Reflexionskurve einen sehr glatten Verlauf. Schließlich reflektieren Wasserflächen nur einen geringen Teil der einfallenden Strahlung. Die Stärke der Reflexion ist in erster Linie vom Gehalt an Trübstoffen abhängig. Je nach Art und Höhe des Stoffeintrags kann sich die Absorption wesentlich erhöhen. (STRUNZ & GÜLS, 1999:72) Im Kontrast zu natürlichen Flächen setzen sich anthropogen geschaffene Flächen aus einer Vielfalt an unterschiedlichen Materialien zusammen. Für die Bedachung von Häusern können z.B. Tonziegeln, Dachpappe, Teerbeläge, Schiefer, Beton oder Metall eingesetzt werden. (COWEN & JENSEN, 1998: 164, WASSERAB, 2000: 20) Darüber hinaus zeichnen sich Städte und Siedlungen durch eine hohe strukturelle Heterogenität aus. Hieraus ergibt sich, je nach dem räumlichen Auflösungsvermögen des Sensors, das Problem der Bildung von Mischsignaturen. Trotz dieser Eigenschaften ähnelt das spektrale Verhalten von anthropogenen Flächen dem natürlich anstehender Gesteine. (Lillesand & Kiefer, 2000: 17ff)



**Abbildung 3: Kurven der spektralen Reflexion von Vegetation, Boden und Wasser**

Quelle: Lillesand & Kiefer 2000: 17

Die Fernerkundung stellt insgesamt eine wirkungsvolle Methode zur Gewinnung von Umweltinformationen dar. Der Vorteil der Fernerkundung gegenüber Kartierungen besteht sowohl in der Aktualität und der globalen Verfügbarkeit der Daten als auch der kostengünstigen Erfassung. (QUATTROCHI & PELLETIER, 1991: 52) Ferner besteht über die multitemporale Interpretation die Möglichkeit des langfristigen Monitorings von Landschaftsausschnitten. Unter dem Begriff des Landschaftsmonitorings wird ein System von Beobachtungen verstanden, mit dem sowohl der derzeitige Zustand einer Landschaft beschrieben als auch Veränderungen innerhalb der Landschaft erkannt werden kann. (BASTIAN & SCHREIBER, 1994: 186) Die Analyse historischer Landbedeckungen stellt hierbei die Basis für den Vergleich mit der heutigen Landschaft dar. Über diesen Vergleich sind Aussagen zur Dynamik der Landschaft während eines bestimmten Zeitraumes möglich. (LAUSCH, 2000: 22, MAAS, 1999:48)

STRUNZ UND GÜLZ (1999) teilen die fernerkundungsgestützten Verfahren zur Erfassung der Landbedeckung und ihrer Veränderung in die vier Gruppen ein:

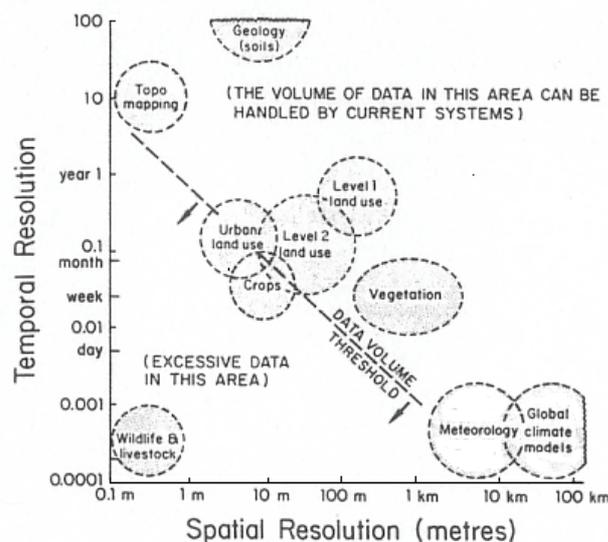
- kalibrierte Daten
- transformierte Daten
- klassifizierte Daten
- aus klassifizierten Daten abgeleitete Maßzahlen

Die Einteilung der vier Gruppen beruht auf dem Grad der Prozessierung der Eingangsdaten. Den geringsten Grad der Prozessierung weisen kalibrierte Daten auf. Diese Daten dienen zur Erfassung von Reflexionsunterschieden und werden daher z.B. zur Erfassung von Veränderungen der Reflexion von Waldgebieten durch Kahlschläge eingesetzt. Zur Gruppe der transformierten Daten zählen alle Vegetationsindizes, die durch arithmetische Verknüpfungen der Spektralkanäle oder deren

linearer Transformation berechnet werden können. (s.a. 6. 3) Klassifizierte Daten zeichnen sich bereits durch einen Grad der Interpretation durch den Bearbeiter aus, da die einzelnen Bildelemente thematischen Klassen zugeordnet werden. (s.a. 7.2) Über den Vergleich mehrere Zeitschnitte besteht die Möglichkeit, Veränderungen der Landbedeckung zu detektieren. Die Veränderungsanalysen auf der Grundlage der ersten drei Prozessierungsstufen basieren auf dem Vergleich einzelner Bildelemente, so daß die räumliche Anordnung der im Bild enthaltenen Information unberücksichtigt bleibt. Zur Auswertung der strukturellen Information der Fernerkundungsdaten eignen sich verschiedene Maßzahlen, die das räumliche Muster der Landbedeckung quantitativ beschreiben. Abgeleitet werden diese Maßzahlen aus den klassifizierten Fernerkundungsdaten. (s. 3.2) (STRUNZ & GÜLS, 1999: 69ff)

### 3.1.2 Skalen in der Fernerkundung

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, laufen unterschiedliche geographische Phänomene auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen ab. Urbane Landnutzungsprozesse, wie z.B. der Prozeß der Suburbanisierung, treten regional begrenzt auf, wohingegen meteorologische Prozesse, wie z.B. der anthropogene Klimawandel, eine globale Auswirkung haben. Infolgedessen kommt dem Betrachtungsmaßstab eine bedeutende Rolle zu. (Turner, O'Neill, Conley et al., 1991: 17) Der optimale Betrachtungsmaßstab hängt von der Fragestellung ab.



**Abbildung 4: The influence of levels of temporal and spatial resolution on data-handling thresholds for various phenomena.**

Quelle: MEENTEMEYER, 1989:169

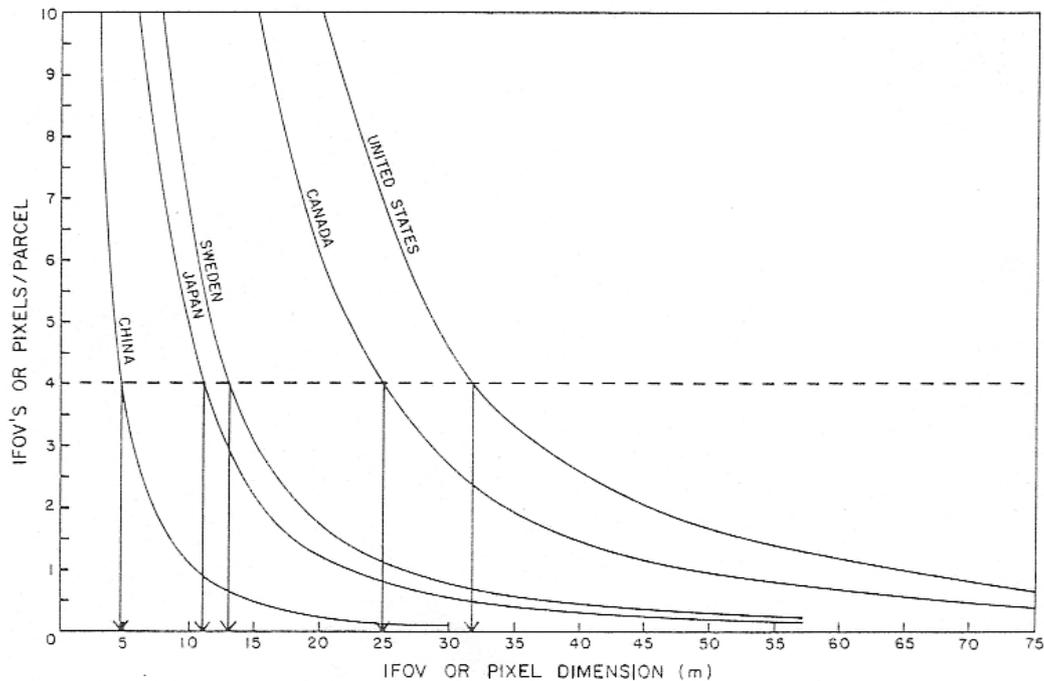
In der Fernerkundung und der Landschaftsstrukturanalyse werden mit der räumlichen Auflösung in erster Linie die beiden Begriffe „*extent*“ und „*grain*“ in Verbindung gebracht. (GUSTATFSON, 1998: 144, MUSICK & GROVER, 1991: 99, O'NEILL ET AL., 1996: 172, QUATTROCHI & PELLETIER, 1991: 68, TURNER, ET AL., 1989: 154f) Während „*extent*“ die Größe und die räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebietes beschreibt, bezieht sich der Ausdruck „*grain*“ auf die Auflösung der Daten. Die Auflösung der Daten bestimmt den Grad der Detailgenauigkeit und wird über die kleinste trennbare Einheit definiert. Diese ist innerhalb der Fernerkundung gleichbedeutend mit der Kantenlänge eines Pixels.

Je geringer die geometrische Auflösung ist, um so stärker tritt das Problem der Mischpixelproblematik in den Vordergrund. Der Landsat-TM z.B. verfügt über eine geometrische Auflösung von 30m. Mit dieser Auflösung ist eine differenzierte Erfassung von linearen Landschaftselementen (Straßen- und Flußnetz) nicht möglich. Bei einer höheren Auflösung nimmt der Grad der Mischpixelbildung ab, so daß auch kleinerer Objekte erfaßt werden können. Eine detaillierte Erfassung der Landschaftselemente wirkt sich positiv auf die Klassifikationsgenauigkeit aus. QUATTROCHI & PELLETIER (1991) weisen jedoch darauf hin, daß sich je nach Fragestellung eine hohe räumliche Auflösung auch negativ auf das Klassifikationsergebnis auswirken kann. „*If spatial resolution is too fine, objects may appear more heterogeneous than they really are, this misrepresentation masks their inherent homogeneity*“. (QUATTROCHI & PELLETIER, 1991: 68)

Urbane Räume sind durch eine kleinräumige und heterogene Struktur gekennzeichnet. Deshalb ergeben sich für die Erfassung urbaner Oberflächenstrukturen besondere Ansprüche an die räumliche Auflösung. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, werden für die Erfassung urbaner Strukturen in den verschiedenen Kontinenten unterschiedliche räumliche Auflösungen benötigt. WELCH (1982) erklärt die Differenzen der benötigten räumlichen Auflösung mit der Variation der Parzellengröße. Für Europa wird für die digitale Erfassung einer Parzelle eine Mindestauflösung von 13m genannt.

Da die Bebauung in der Regel jedoch kleiner ist als eine Parzelle, wird von WELCH (1982) zur Erfassung urbaner Strukturen eine Auflösung von kleiner als 10m gefordert. (WELCH, 1982: 146) Daten mit einer solch hohen Auflösungskapazität standen in der Vergangenheit nur über flugzeuggetragene Sensoren zur Verfügung, deren Auswertung allerdings sehr aufwendig und kostenintensiv ist. Mit der Entwicklung hochauflösender Sensoren, wie z.B. IKONOS, besteht heute die Möglichkeit einer flächendeckender und detaillierter Erfassung der Landoberfläche. FORSTER (1993) zeigt jedoch, daß Daten mit einer geringeren geometrischen Auflösung, wie z.B. Landsat-TM Daten, trotz einer begrenzten Genauigkeit, zu zufriedenstellenden Ergebnissen bei der Charakterisierung urbaner Landnutzungssysteme führen. (FORSTER, 1993: 2405ff) In der vorliegenden Arbeit

konnten für die Region Halle-Leipzig aus Landsat-TM Daten insgesamt neun verschiedene Landnutzungsklassen differenziert werden. (vgl. Kap. 7)



**Abbildung 5: Anforderungen an die räumliche Auflösung zur digitalen Erfassung urbaner Strukturen**

Quelle: WELCH, 1982: 143

Ebenfalls spielt bei Untersuchungen zur Veränderung bestimmter Strukturen die zeitliche Auflösung eine Rolle. Wie auch die räumliche Auflösung, wird die zeitliche Auflösung durch den zu untersuchenden Prozeß bestimmt. Während beispielsweise für stadtklimatische Untersuchungen zeitlich hoch aufgelöste Daten mit einer stündlichen bzw. täglichen Auflösung benötigt werden, müssen die Daten für das Monitoring von urbanen Strukturen mit einer Genauigkeit von 1-10 Jahren vorliegen. (COWEN & JENSEN, 1998: 166, HEROLD, 2000: 16)

## 3.2 Landschaftsstrukturmaße – Landschaftsökologischer Hintergrund

### 3.2.1 Entwicklung der Landschaftsökologie

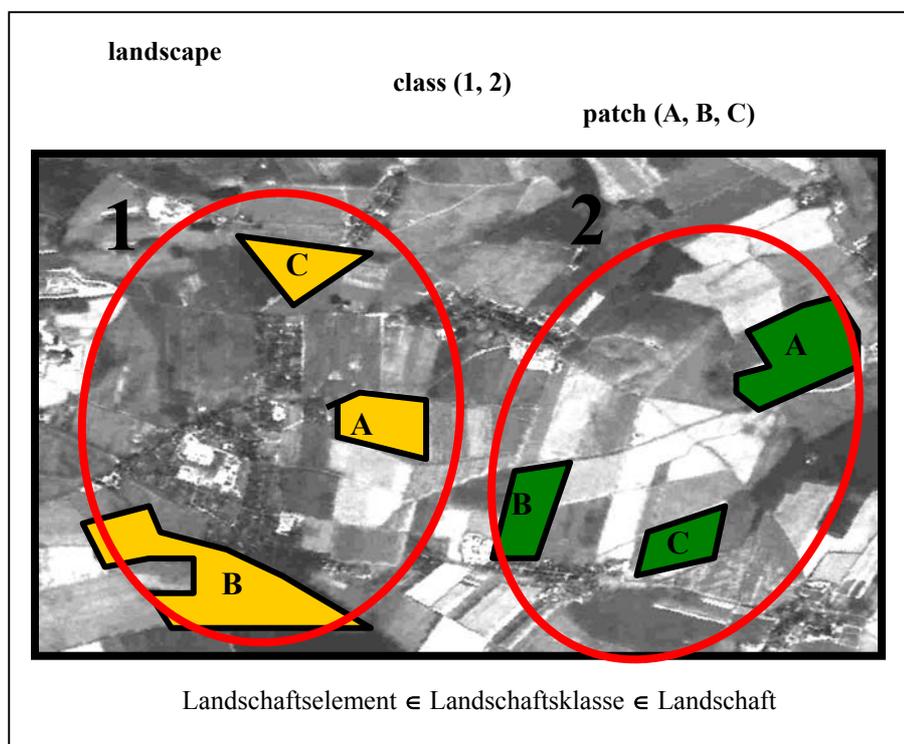
Der Begriff der Landschaftsökologie wurde erstmals 1939 von Carl Troll im Zusammenhang mit der Luftbildinterpretation in die wissenschaftliche Terminologie eingeführt. (TURNER & GARDNER, 1991:4) TROLL (1966) definiert den Begriff der Landschaftsökologie als „...das Studium des gesamten in einem bestimmten Landschaftsausschnitt herrschenden komplexen Wirkungsgefüges zwischen den Lebensgemeinschaften (Biozöosen) und ihren Umweltbedingungen“. (TROLL, 1966: 11f) Die weitere Entwicklung der Landschaftsökologie war eng an die Diskussion um den Landschaftsbegriff gebunden. Innerhalb der Landschaftsphysiologie wurde die Landschaft als die Synthese einer Vielzahl von Landschaftselementen definiert. Diese Definition des Landschaftsbegriffes war für die Entwicklung der Landschaftsökologie von großer Bedeutung. (FINKE, 1994: 21) In den 1970er Jahren wurde die Auseinandersetzung mit den Begriffen Landschaft und Landschaftsökologie durch die intensiv einsetzende Umweltdiskussion geprägt. Betont wurde die Bedeutung der landschaftsökologischen Forschung für die Umweltplanung und somit die Notwendigkeit einer handlungsorientierten Forschung. (FINKE, 1994:13ff). Als zentrale Aufgabe der Landschaftsökologie wurde die Erfassung des räumlichen Verteilungsmusters und des räumlich-funktionalen Zusammenwirkens der Ökosysteme verstanden. (FINKE, 1994: 21f) Ende der 1980er Jahre entwickelte sich, vor allem in Nordamerika, eine Arbeitsrichtung der Landschaftsökologie, die als quantitative oder nordamerikanische Landschaftsökologie bezeichnet wird. Die erste Arbeit zur quantitativen Beschreibung der Landschaftsstruktur wurde 1988 von O'NEILL vorgestellt und beruht auf den Arbeiten der nordamerikanischen Landschaftsökologen FORMAN & GODRON (1986). Nach Meinung dieser beiden Wissenschaftler, umfaßt die landschaftsökologische Forschung eine Analyse der Landschaft in Hinblick auf die drei Komponenten Struktur, Funktion und Veränderung und läßt sich wie folgt definieren:

*„Landscape ecology explores how a heterogeneous combination of ecosystems ...is structured, functions and changes. From wilderness to urban landscape, our focus is on*

- a) the distribution patterns of landscape elements or ecosystems*
- b) the flows of animals, plants, energy, mineral nutrients and water among these elements and*
- c) the ecological changes in the landscape mosaic over time“.* (FORMAN & GODRON, 1986: vii)

Zur Beschreibung und Erfassung der Landschaftsstruktur muß die Landschaft aufgrund ihrer Komplexität in methodisch faßbare Teilsysteme zerlegt werden. Hierzu hat sich innerhalb der Landschaftsökologie das Homogenitätskriterium oder das Prinzip der kleinsten Bausteine durchgesetzt. (LESER, 1997: 120ff) Da der Begriff der Homogenität sehr unterschiedlich definiert wird, ist an

dieser Stelle eine Begriffsbestimmung erforderlich. In der vorliegenden Arbeit wird das kleinste und als homogen definierte Einzelement der Landschaft im Sinne der nordamerikanischen Landschaftsökologie als Patch bzw. Landschaftselement bezeichnet. Ein Patch besteht aus zusammenhängenden Pixeln einer Landbedeckungsklasse des klassifizierten Satellitenbildes. In der Landschaft stellen die Patches beispielsweise zusammenhängende Wiesen, Felder, Wasserflächen oder anthropogene Flächen, wie z.B. Siedlungen, dar. Darüber hinaus ist die Struktur der Landschaft durch einen hierarchischen Aufbau gekennzeichnet. So bildet die Gesamtheit aller Landschaftselemente des gleichen Typs eine Landschaftsklasse und die gesamte Landschaft setzt sich aus der Summe aller Landschaftsklassen zusammen. Das Prinzip des kleinsten Bausteins sowie der hierarchische Aufbau einer Landschaft sind in der Abbildung 6 zusammenfassend dargestellt.

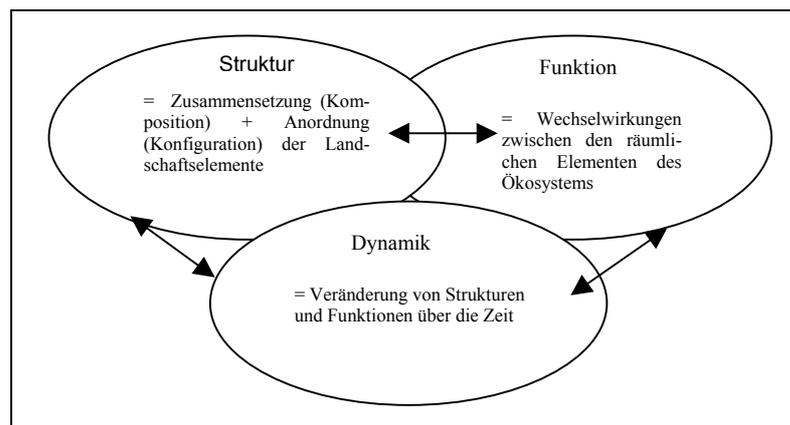


**Abbildung 6: Hierarchischer Aufbau der Landschaft**

Quelle: LAUSCH (unveröffentlichter Vortrag)

Die Struktur der Landschaft wird über die raumbezogenen Eigenschaften der Landschaftselemente festgelegt. Diese können zum einem in die Komposition (Anzahl, Größe, Form, proportionale Häufigkeit, Vielfalt der einzelnen Landschaftselemente) und zum andern in die Konfiguration (räumliche Verteilung) unterteilt werden. Über die Funktion der Landschaft lassen sich Aussagen über die bestehenden Wechselwirkungen zwischen den räumlichen Elementen des Ökosystems ableiten. Diese treten in Form von materiellen und energetischen Austauschprozessen in Erscheinung. Schließlich verfügt die räumliche Struktur über eine dynamische Komponente und kann deshalb

nicht als statisch angesehen werden. Die Folgen der Landschaftsdynamik sind Veränderungen von Struktur und Funktion der Landschaft. Die drei Faktoren Struktur, Funktion und Dynamik sind über Rückkopplungen miteinander verbunden, so daß eine Veränderung der Landschaftsstruktur zu einem Wandel der Landschaftsfunktion führt. (s. Abb. 7) (GUSTAFSON, 1998: 144, MCGARIGAL & MARKS, 1994:2, TURNER & GARDNER, 1991: 5, WIENS ET AL.,1993: 372) Infolgedessen kann die Landschaftsstruktur nicht mehr ausschließlich als Produkt ökologischer Prozesse angesehen werden, sondern sie übt vielmehr über die Rückkopplung einen entscheidenden Einfluß auf ökologische Prozesse aus. Aus diesem Grund wird in zahlreichen landschaftsökologischen Arbeiten betont, das ökologische Prozesse, wie beispielsweise die Sukzession von Pflanzengesellschaften, Biodiversität, Jäger-Beute-Beziehungen, die Dynamik von Nährstoffen, die Fragmentierung von Arealen oder die Ausbreitung von ökosystemaren Störungen, eine räumliche Komponente aufweisen. (TURNER & GARDNER, 1991: 3, TURNER ET AL. 1991: 17) Aus diesem Grund nimmt die quantitative Erfassung der Landschaftsstruktur und ihrer Dynamik in der modernen Landschaftsökologie eine Schlüsselrolle ein, da von der Struktur der Landschaft auf ihre Funktion geschlossen werden kann. (FORMAN & GODRON, 1986: 11, GUSTAFSON, 1998: 143F, WALZ, 1999: 2)



**Abbildung 7: Zusammenhang zwischen den Landschaftskomponenten Struktur, Funktion und Dynamik**

Quelle: eigener Entwurf nach HOBBS, 1997: 4 & LAUSCH, 2000: 19

### 3.2.2 Quantitativer Ansatz der Landschaftsökologie

Das Ziel der modernen Landschaftsökologie besteht in der quantitativen Erfassung des komplexen Gefüges der Landschaft mit Hilfe von LSM. „*Landscape metrics are employed to create quantitative measures of spatial patterns found on map or remote sensing image*“. (FROHN, 1998: 3) Die Notwendigkeit des Quantifizierens sieht FROHN (1998) darin begründet, daß allein über die visuelle Betrachtung von Karten oder Satellitenbildern nicht sämtliche räumliche Muster erfaßbar sind und

dem menschlichen Auge teilweise verborgen bleiben. (FROHN, 1998: 4) Außerdem stellen die objektiv erhobenen Kennzahlen eine Grundlage für das Monitoring von Landschaften oder für Simulationsmodelle dar. (TURNER & GARDNER, 1991: 4) Aufgrund des hohen Stellenwertes der quantitativen Erfassung der Landschaftsmuster zeichnet sich die quantitative Landschaftsökologie neben einer explizit räumlichen Betrachtungsweise durch den Einsatz von Geographischer Informationsverarbeitung, Fernerkundung und digitaler Bildverarbeitung aus. (BLASCHKE, 2000: 271) Durch die rapide Entwicklung im Bereich der digitalen Datenverarbeitung und –auswertung erstrecken sich landschaftsökologische Analyse auf immer größere Raumskalen, die z.T. bis zum globalen Maßstab reichen. (O'NEILL, 1988: 153, TURNER & GARDNER, 1991: 3)

Die Quantifizierung des räumlichen Musters der Landschaft erfolgt anhand verschiedener LSM, die als Indikatoren der Landschaftsstruktur angesehen werden können. (LAUSCH, 2000: 18) Die Analyse der Landschaftselemente erfolgt hinsichtlich ihrer Form, Größe und Anzahl sowie ihrer Verteilung, Anordnung und Zusammensetzung. Allgemein unterscheidet man zwischen LSM zur Erfassung der Landschaftskomposition und zur Erfassung der Landschaftskonfiguration. (s.o.) (GUSTAFSON, 1998: 146f, LAUSCH, 2000: 16, MCGARIGAL & MARKS, 1994 10f)

Als Datengrundlage der Berechnung dienen digitale Raster- oder Vektordaten, die die Landbedeckung in Form von thematischen Karten widerspiegeln. Diese Karten können zum einem durch das Digitalisieren bereits bestehender Landnutzungskarten gewonnen werden. Zum anderen kann die digitale Erfassung der Landbedeckung durch die Klassifikation von Fernerkundungsdaten erfolgen. Insgesamt können LSM für die drei Ebenen Patch, Klasse und für die gesamte Landschaft berechnet werden. Die LSM der Klassen- und Landschaftsebene stellen häufig aggregierte Werte dar, die im allgemeinen durch Summieren oder Mittelwertbildung der Patch- bzw. der Klassenebene entstehen.

Die Berechnungsebene der Strukturmaße ist eng an die jeweilige Fragestellung gebunden. Bei populationsökologischen Fragestellung bietet sich die Berechnung der Patchebene an, weil beispielsweise über die unterschiedliche Größe der Patches Aussagen zur Habitateignung einer Landschaft abgeleitet werden können. (MCGARIGAL & MARKS, 1994: 4) GRAMAN ET. AL. (1996) zeigte z.B., daß sowohl die Größe der einzelnen Waldflächen als auch deren Verteilung eine entscheidende Bedeutung für die Größe der Eulenpopulation in den Wäldern des pazifischen Nordwesten der USA haben. (GRAMAN ET AL., 1996: 3) Klassenindizes hingegen eignen sich z.B. bei Fragestellungen wie der Fragmentierung von Landschaften oder dem räumlichen Zusammenhang von Habitaten. BLASCHKE (1997) konnte beispielsweise über den Zerschneidungsgrad eines Landschaftsausschnittes die Barrierewirkungen auf die Ausbreitung des Springfrosches bewerten. (BLASCHKE,

1997: 215f) Schließlich eignen sich Strukturmaße der gesamten Landschaft zur Typisierung unterschiedlicher Landschaftsstrukturen sowie zum Monitoring von überregionalen Gebieten.

In den vergangenen Jahren wurden systematische Untersuchungen zur Stabilität und Abhängigkeit verschiedener landschaftsökologischer Indizes vorgestellt. Die wichtigsten Ergebnisse sind im folgenden zusammenfassend dargestellt:

Eine wesentliche Einflußgröße auf LSM stellt die Qualität der Eingangsdaten dar. Ein Problem liegt im Auflösungsvermögen des Sensors. Die Berechnung der LSM der vorliegenden Arbeit beruht auf Landsat-TM-Daten. Folglich können Landschaftselemente die kleiner als 30m sind, nur in Form von Mischpixeln erfaßt werden. Das Muster der Landschaft kann aus diesem Grund nur unzureichend erfaßt werden. (vgl. Kap. 8.2) Darüber hinaus können durch die Subjektivität des Bearbeiters erhebliche Flächendifferenzen entstehen. (BLASCHKE, 1999: 17, LAUSCH & MENZ, 1999: 188) Am Beispiel des Contagion Indexes wurde dokumentiert, daß die thematische Auflösung, d.h. die Anzahl der Landnutzungsklassen, einen entscheidenden Einfluß auf die Werte der Strukturindizes hat. (O'NEILL ET. AL. 1988: 156) Hieran ist ein weiteres fernerkundungsspezifisches Problem gekoppelt. Unterschiedliche phänologische Stadien können zu unterschiedlichen Klassen führen, woraus sich ein differenziertes Landschaftsmuster ergibt. (LAUSCH & MENZ, 1999: 187, LAUSCH, 2000: 76ff)

Ebenfalls sind die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse von der räumlichen Auflösung der Ausgangsdaten abhängig, so daß sich bei der Verwendung unterschiedlicher Rasterzellgrößen quantitative Veränderungen der Strukturmaße ergeben können. BLASCHKE (1999) weist jedoch daraufhin, daß eine Veränderung des landschaftsökologischen Indizes erst bei einem signifikanten Informationsverlust, der durch eine unterschiedliche räumliche Auflösung hervorgerufen wird, entsteht. *„Die räumliche Auflösung der verwendeten Daten spielt bei überregionalen bis regionalen Untersuchungen eine entscheidende Rolle. Ihre Bedeutung bei großmaßstäbigen Untersuchungen wird aber häufig überschätzt“.* (BLASCHKE, 1999: 21)

In der Auseinandersetzung und Anwendung der LSM besteht zum heutigen Zeitpunkt das Problem, daß das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen der Landschaftsstruktur und den ökologischen Prozessen nur in Ansätzen wissenschaftlich erforscht ist. *„Much of the need for spatial pattern indices is driven by the desire to predict the response of some ecological entity [...] to the spatial heterogeneity of a managed landscape“.* (GUSTAFSON, 1998: 152) Dieses mangelnde Verständnis hat in den letzten Jahren zu einer vorwiegend auf die Landschaftsstruktur gerichtete Forschung geführt, bei der die Einbeziehung ökologischer Prozesse vernachlässigt wurde. (Hobbs, 1997: 4) Als Ursache der vorwiegend auf die Landschaftsstruktur ausgerichteten Forschung muß

die Komplexität, mit der die verschiedenen ökologischen Prozesse von der Landschaftsstruktur beeinflusst werden, angesehen werden. (GUASTAFSON, 1998: 152)

Trotz der z.T. noch ungelösten Probleme sieht BLASCHKE (1999) im Einsatz der LSM ein zusätzliches Potential für den modernen Natur- und Landschaftsschutz sowie für die Landschaftsplanung. (BLASCHKE, 1999: 22) Um in Zukunft einen sinnvollen Einsatz der LSM zu garantieren, fordert HOBBS (1997) zum einen eine verstärkte Grundlagenforschung innerhalb der Landschaftsökologie. In diesem Zusammenhang betont er die Notwendigkeit die Beziehung zwischen der Landschaftsstruktur und den ökologischen Prozessen zu erforschen. Zum anderen weist er auf die Dringlichkeit einer angewandten Forschung hin, die sich am Bedarf der Planung und der politischen Entscheidungsträger orientiert. (HOBBS, 1997: 6f)

Der Bedarf an Informationen über die Struktur und die Funktion der Landschaft wird z.B. durch mehrere Großprojekte der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) deutlich. Über den Einsatz und die Weiterentwicklung verschiedener LSM wurde ein überregionales Monitoringsystem entwickelt. Die Motivation dieses Projektes ist in der Erhaltung bedeutender gesellschaftlicher Werte, wie beispielsweise der biologischen Diversität, der Unversehrtheit der Wasserressourcen sowie einer nachhaltigen Landnutzung, zu sehen. (HUNDSACKER ET AL. 1994: 207f, FROHN, 1998: 1, GASPER, 1997: 7) Ferner zeigt die Analyse der ersten fünf Bände, der von der International Association of Landscape Ecology gegründeten Zeitschrift, „Landscape Ecology“, einen zunehmenden Einsatz von LSM bei der Lösung von Problemen wie der Fragmentierung von Habitaten, der Erhaltung der biologischen Vielfalt, und in der Überprüfung von Landmanagementsystemen. (WIENS, 1992: 150) Darüber hinaus heben auch in Europa vielfältige Veröffentlichungen die Bedeutung der LSM bei der Entwicklung von Indikatorensystemen hervor. Beispielsweise beschäftigen sich die Europäische Umweltagentur (EEA) und das Center for Earth Observation (CEO) mit der Quantifizierung der Landschaftsstruktur auf regionaler und überregionaler Ebene zur Ausweisung ökologisch wertvoller Flächen. (Blaschke, 2000: 286)

### **3.3 Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße zur Analyse urbaner Regionen**

#### **3.3.1 Urbane Räume und nachhaltige Entwicklung**

Urbane Räume werden als räumliche Einheiten der Landschaft verstanden, die sich durch eine hohe Wohn- und Arbeitsplatzdichte auszeichnen. (HOFMEISTER, 1997: 237) In Europa leben im Durchschnitt 80% der Bevölkerung in urbanen Räumen, wobei diese nur einen geringen Anteil der gesamten Fläche beanspruchen. (KIVELL, 1993: 1) Insofern kommt es zur Konzentration von anthro

pogenen Aktivitäten sowie deren soziologischen und ökologischen Folgen innerhalb der Städte. In der ökologischen Diskussion werden Städte als urban/industrielle Ökosysteme bezeichnet, die die Fähigkeit der Selbstregulierung verloren haben. (LESER, 1997: 428) Ohne den Transport von Luft, Wasser und Energie vom Umland in die Städte wären diese zum heutigen Zeitpunkt ökologisch nicht mehr lebensfähig. Der enorme Verbrauch von Energie, Rohstoffen und Freiflächen führt zu großen Umweltverschmutzungen innerhalb der Städte. Die Schadstoffe gelangen über Luft, Abwasser und feste Abfälle des städtischen Stoffwechsels ins Umland der Städte. (FINKE, 1994: 149f) Städte können daher als „*Hauptverursacher regionaler und globaler Umweltbelastung*“ (WICKOP ET. AL. 1998: 7) angesehen werden.

Auf der lokalen und regionalen Ebene sind es drei Trends, die eine erhöhte Belastung des urbanen Raumes und der Landschaft hervorrufen. Zum einem führen Suburbanisierungsprozesse zu einem anhaltend hohen Flächenverbrauch und somit zu einem Rückgang der naturnahen Flächen, einer Zunahme der versiegelten Bereiche und zu einer erhöhten Zerschneidung der Landschaft. Der zunehmende Verbrauch natürlicher Flächen resultiert in erster Linie aus der Zunahme der Bevölkerung in urbanen Räumen, der Steigerung der Einkommen und der daraus resultierenden gestiegenen Nachfrage nach Wohnraum. (BFLR, 1996: 71) „*Betrachtet man die historische Entwicklung, so lag die durchschnittliche Siedlungsfläche 1930 noch bei 80m<sup>2</sup> pro Einwohner. Bis zur Mitte der 90er Jahre hat sie sich verdoppelt bis verdreifacht.*“ (WICKOP ET. AL., 1998: 18) Zum anderen entstehen durch die Entmischung der einst eng verflochtenen Funktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgen und Erholen am Stadtrand und im suburbanen Raum monofunktionale Nutzungseinheiten. Verursacht wird diese Entwicklung der räumlich-funktionalen Entmischung u.a. durch den Bodenmarkt, den Konzentrations- und Rationalisierungsprozesse der Wirtschaft, den selektiven Wanderungsströmen sowie durch unterschiedliche Funktionalitätsansprüche. (HOFMEISTER, 1997: 144 UND 237) Der dritte Trend läßt sich durch die Zunahme des Individualverkehrs, verbunden mit einer räumlichen Ausweitung der Verkehrsflächen, beschreiben. Da die drei Trends über Rückkopplungen miteinander verbunden sind, hat jede zusätzliche Erweiterung der Siedlungen einen Anstieg des Individualverkehrs zur Folge. (BFLR, 1996: 71ff) Aufgrund der drei Entwicklungstrends unterliegen urbane Räume einer ständigen Dynamik, die zu einer Veränderung der räumlichen Struktur der Städte und des Umlandes führt. (ANTROP & VAN EETVELDE, 2000: 45)

Seit der „Conference on Environment and Development“ (UNCED) im Juni 1992 in Rio de Janeiro ist der Begriff der Nachhaltigen Entwicklung stärker in das Bewußtsein der Weltbevölkerung gerückt. „Eine Nachhaltige Entwicklung liegt dann vor, wenn die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt werden, ohne zu gefährden, daß künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“ (DAMS 1999: 256) Durch die Unterzeichnung der Agenda 21 besteht für die mehr als 170 Unterzeichnerstaaten die Verpflichtung einer am Prinzip der Nachhaltigkeit orientierten

Stadtentwicklung. (AGENDA 21, 1997: 44ff) Da eine weitere Flächenausdehnung und ein weiterer Verbrauch natürlicher Flächen nicht mit dem Prinzip der Nachhaltigkeit zu vereinbaren ist, wurde vom Bundesbauministerium ein Bericht zur nachhaltigen Stadtentwicklung bei der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung in Auftrag gegeben. In diesem Bericht wurde ein neues Leitbild für die Entwicklung der Städte in Deutschland erarbeitet, das sich an den Vorgaben der Agenda 21 orientiert. Insbesondere wird der Stadtstruktur eine Schlüsselgröße bei der Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung beigemessen: *„Schließlich sind die heutigen Stadtstrukturen wesentlicher Anknüpfungspunkt für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Denn die heutigen Strukturen sind (teilweise) energetisch ineffizient, erzeugen Verkehr und fördern die Expansion der Siedlungsfläche.“* (BFLR, 1996: 77) Die Stadtstruktur zeichnet sich - den drei Entwicklungstrends entsprechend - durch eine Zunahme der Siedlungsdispersion, d.h. eine zunehmende Zersiedlung des Stadtumlandes aus. In der Stadtplanung wird daher versucht, den beschriebenen Entwicklungen die drei räumlichen Ordnungsprinzipien Dichte, Mischung und Polyzentralität entgegenzusetzen und so eine geringere Belastung der urbanen Räume durch die menschliche Nutzung zu erreichen. (BFLR 1996: 19ff) Die drei Kriterien können folgendermaßen charakterisiert werden:

- Dichte im Städtebau bedeutet eine kompakte, aber dennoch hochwertige bauliche Struktur, um ein weiteres Ausufer der Städte in das Umland zu verhindern. Eine kompakte Siedlungsstruktur kann dazu beitragen, den Flächen- sowie den Energiebedarf zu reduzieren. Dichtere Strukturen können ökologischen Anforderungen auch entgegenstehen, denn jede Innenentwicklung hat ihre Grenzen. Es muß verhindert werden, daß lückenlos Brachflächen bebaut werden, da Dichte immer einen Ausgleich durch eine lockere Bebauung und Freiflächen fordert. (KÜHN, 1998: 502f)
- Das zweite räumliche Ordnungsmuster soll der Trennung der Funktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgen und Erholen entgegenwirken. Wohnungen, Arbeitsplätze und Versorgungseinrichtungen sollen wieder stärker miteinander verflochten werden. Neben der reinen baulichen Mischung wird auch eine soziale Mischung angestrebt, so daß außer der Verminderung des Verkehrs und einer Einsparung von Energie und Ressourcen auch soziale Verbesserungen erreicht werden.
- Hinter dem Prinzip der Polyzentralität verbirgt sich eine Entwicklung, die sich mit dem Stichwort „dezentrale Konzentration“ beschreiben läßt. Hierunter wird ein gesteuerter Suburbanisierungsprozeß verstanden, der eine unkontrollierte Ausdehnung der Städte ins Umland verhindern soll. Die Entwicklung und Ausbreitung der Städte soll sich vielmehr auf wenige Schwerpunkte konzentrieren, die mit zentralen Einrichtungen, Arbeitsplätzen, Versorgungseinrichtungen und einem öffentlichen Verkehrssystem ausgestattet sind. (WICKOP, ET AL., 1998: 20)

### 3.3.2 Potentiale der Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße zur Analyse urbaner Regionen

Vor allem wegen der hohen Dynamik der strukturellen Veränderungen der urbanen Räume und der daraus resultierenden verminderten Fähigkeit, Umweltveränderungen rechtzeitig zu erkennen und steuernd einzugreifen, besteht für eine ökologische und am Prinzip der Nachhaltigkeit orientierte Stadt- und Regionalplanung die Notwendigkeit, ein System der Beobachtung, Kontrolle und Bewertung sowohl des Zustandes als auch der Zustandsveränderungen der Umwelt zu etablieren.

Seit den frühen Entwicklungen der urbanen Soziologie und Geographie wird das räumliche Element der Städte betont. (vergl. Stadtmodelle von Burgess, Hoyt und Harris & Ullman in HOFMEISTER, 1991: 44ff) Ferner kann ein urbaner Raum als ein Gefüge von Siedlungsstrukturen beschrieben werden, die durch unterschiedliche Nutzungen der Fläche entstehen. (Pauleit & Duhme, 1999: 33) Über Fernerkundungsmethoden besteht die Möglichkeit, Eigenschaften des urbanen und suburbanen Raumes in Form von Landbedeckungskarten zu erfassen, und mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen dynamische Modelle zu entwickeln. Allgemein lassen sich die Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung folgendermaßen zusammenfassen:

- Erfassung der Landbedeckung mit Hilfe unterschiedlich hoch auflösender Satelliten und Luftbilder
- Erstellen von dreidimensionalen Stadtmodellen mittels photogrammetrischer Auswertung
- Kartierung der urbanen Infrastruktur
- Ableitung von sozioökonomischen Charakteristiken (z.B. Bevölkerungszahlen)
- Erfassung des Energiekonsums mittels thermaler Befliegungen
- Stadtklimatische Analysen anhand von thermaler und Mikrowellenfernerkundung
- Einschätzung sensibler Ökosysteme innerhalb der urbanen Räume
- Monitoring der urbanen Landnutzung und des urbanen Wachstums(COWEN & JENSEN, 1998: 165ff, MESEV, 1997: 175f)

In Zeiten der anhaltenden Ausbreitung urbaner Regionen aufgrund veränderter sozioökonomischer Faktoren, ist die Erfassung der urbanen Strukturen, ihrer Muster und der Veränderung der urbanen Landnutzung, für die Planung und das Management von urbanen Regionen von großer Bedeutung. (BRUNS & SCHMIDT, 1997: 349) Die Erfassung und das Monitoring der urbanen Morphologie basiert in der Regel auf der Umwandlung der Bildinformation in thematische Klassen. Zum einen erweist sich bei der Klassifikation der urbanen Landnutzung die heterogenen Oberflächenstrukturen und die daraus resultierende Mischpixelbildung als Problem. (vgl. Kap.3.1.2) Zum anderen wird über die Klassifikation nicht die Landnutzung, sondern lediglich die Landbedeckung erfasst. Um gezielt Aussagen über die unterschiedliche Intensität der Landnutzung ableiten zu können,

wurden häufig zusätzliche Daten mit in die Interpretation einbezogen. So integrierten MESEV & LONGLEY (1995) beispielsweise Bevölkerungsdaten, um Aussagen über die unterschiedliche Dichte der Bevölkerung in Bristol (England) ableiten zu können. (MESEV & LONGLEY, 1995: 767) Ferner verspricht man sich in der Zukunft eine differenziertere und detailliertere Erfassung der urbanen Oberflächenstrukturen durch hochauflösende Satelliten, wie z.B. IKONOS, die im panchromatischen Kanal eine räumliche Auflösung von einem Meter aufweisen. (COWEN & JENSEN, 1998: 168) Darüber hinaus muß dem Einsatz von LSM zur Erfassung und zum Monitoring von urbanen Strukturen eine immer größere Bedeutung beigemessen werden (EINIG ET AL, 1997: 16ff, SIEDENTOP, 1999: 146ff). Vor allem Arbeiten aus Nordamerika und Großbritannien weisen nicht nur den Sinn des GIS-Einsatzes in landschaftsökologischen Fragestellungen nach, sondern liefern einen Fundus an zusätzlichen Analyse- und Planungsmethoden in der Landschaftsplanung. Über die quantitative Erfassung der Landschaftsstruktur stellen LSM Indikatoren dar, die Aussagen über den Zustand und die Veränderung der Landschaftsstruktur und somit eine Bewertung erlauben. (Blaschke, 1999: 11)

## 4 Datenmaterial und Hard- & Software

### 4.1 Satellitendaten

Die Datengrundlage der vorliegenden Arbeit bilden zwei Landsat-TM Szenen. Bei der Auswahl dieser Daten wurde vor allem auf die drei Kriterien Wolkenfreiheit, ähnliche Aufnahmezeitpunkte sowie die identische Erfassung des Untersuchungsgebietes Wert gelegt. Beide Bilder wurden im Frühling (28.05.1992 und 30.04.1999) aufgenommen.

Wie bereits der 1982 gestartete Landsat-4-TM, gehört auch der Landsat-5-TM zur zweiten Generation der Landsat-Satelliten. Diese besitzen im Gegensatz zu den Landsat-Satelliten der ersten Generation neben dem Multispektral Scanner (MSS) zusätzlich einen neu konzipierten optomechanischen Rotationsabtaster, den Thematic Mapper (TM). Dieser ist in der Lage, innerhalb eines Abtastvorgangs sechzehn anstatt sieben Zeilen gleichzeitig zu erfassen. Der Abtastvorgang basiert ähnlich wie beim MSS auf einem oszillierenden Spiegel quer zur Flugrichtung. Darüber hinaus liefern Landsat-Satelliten der zweiten Generation mit 30m eine höhere geometrische Auflösung im Gegensatz zu 80m auf. Ebenfalls wurden zusätzliche Spektralkanäle über die Hinzunahme des nahen Infrarots und des thermalen Infrarots erschlossen. In Tabelle 1 sind die Eigenschaften des Landsat-5 zusammenfassend dargestellt:

Sensor	Landsat TM
Geometrische Auflösung	Kanal 1-5 und 7: 30m, Kanal 6: 120m
Spektrale Auflösung (Spektralkanäle und ihrer potentiellen Anwendungen)	1: 0,45-0,52 $\mu\text{m}$ ( Trennen: Boden und Vegetation, Laub- und Nadelwald) 2: 0,52-0,60 $\mu\text{m}$ (Untersuchungen zu Pflanzenstreß) 3: 0,60-0,69 $\mu\text{m}$ (Unterscheidung von Pflanzenarten) 4: 0,78-0,90 $\mu\text{m}$ (Erkennen von Pflanzenvitalität) 5: 1,55-1,75 $\mu\text{m}$ (Feuchtegehaltsmessungen bei Pflanzen) 6: 10,4-12,5 $\mu\text{m}$ (Thermalkartierungen) 7: 2,08-2,35 $\mu\text{m}$ (Erkennung von Wasserstreß bei Pflanzen)
Temporale Auflösung	16 Tage
Radiometrische Auflösung	8 Bit (=256 Graustufen)
Größe der Bildszene	185 x 185km
Datum der bearbeiteten Szenen	30.04.1992 28.05.1999

**Tabelle 1: Technische Daten von Landsat 5 TM**

Quelle: nach NETZBAND, 1998: 24, eigener Entwurf

## 4.2 Zusätzliche Daten

Zusätzliche Referenzdaten sind für die Auswertung und Interpretation von Fernerkundungsdaten unerlässlich. Die Auswahl der zusätzlichen Daten fand vor allem unter dem Kriterium statt, daß die Referenzdaten und die Fernerkundungsdaten zeitlich nicht zu stark von einander abweichen sollten. Genutzt wurden die Referenzdaten zum einem zur Bestimmung von Trainingsgebieten für die hierarchische Klassifikation und zum anderen zur Kontrolle der Klassifikationsergebnisse. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die verwendeten Referenzdaten:

Referenzdaten	Anwendungsbereich
Stadtbiotoptypenkartierung (1: 10 000) der Stadt Leipzig 1999 <sup>3</sup>	Trainingsgebietsuche
Biotoptypenkartierung Sachsen von 1993/94 <sup>4</sup>	Trainingsgebietsuche
Biotoptypenkartierung Sachsen-Anhalt 1992 <sup>5</sup>	Trainingsgebietsuche
Luftbildatlas der Stadt Leipzig <sup>6</sup>	Trainingsgebietsuche
Topographische Karte 1:100000 Leipzig	Verifizierung der Klassifikationsergebnisse
Topographische Karte 1:100000 Halle	Verifizierung der Klassifikationsergebnisse
Topographische Karten im Maßstab 1:25000 des Untersuchungsgebietes	Verifizierung der Klassifikationsergebnisse
Ortsteilkatalog der Stadt Leipzig von 1998 <sup>7</sup>	Verifizierung der Klassifikationsergebnisse
Ortsteilkatalog der Stadt Leipzig von 1992 <sup>8</sup>	Verifizierung der Klassifikationsergebnisse
Flächennutzungskarte (1: 25000) der Stadt Leipzig von 1994 <sup>9</sup>	Verifizierung der Klassifikationsergebnisse
Karte der Strukturtypen (1: 50000) der Stadt Leipzig von 1992 <sup>10</sup>	Vergleich mit Klassifikation
Karte der Versiegelung der funktionalen Strukturtypen (1: 50000) der Stadt Leipzig <sup>11</sup>	Vergleich mit Klassifikation
Statistische Jahrbücher der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt	Vergleich mit Klassifikation
Echtfarben-Luftbilder des Untersuchungsgebietes vom 26.06.1992 (Maßstab 1:25000)	Vergleich mit Klassifikation
CIR-Luftbilder des Untersuchungsgebietes vom 12.08.1997 (Maßstab 1:5000)	Vergleich mit Klassifikation
ADAC Stadtatlas Halle-Leipzig 1997 (1:2000) <sup>12</sup>	Vergleich mit Klassifikation
Sozialatlas der Stadt Leipzig von 1997 <sup>13</sup>	Verschiedene Nutzungen

**Tabelle 2: Referenzdaten**

Quelle: eigener Entwurf

<sup>3</sup> Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz, (1999), Leipzig.

<sup>4</sup> Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen (1993/94), Radebeul.

<sup>5</sup> Landesamt für Umweltschutz Sachsen Anhalt (1992), Halle.

<sup>6</sup> USBECK-WENNINGER GmbH & SCOUT SYSTEMS(1999), Aachen, München.

<sup>7</sup> Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen (1992), Leipzig.

<sup>8</sup> Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen (1998), Leipzig.

<sup>9</sup> USBECK, B., KINDLER, A. HARTMANN, H. et al. (1994), Leipzig.

<sup>10</sup> BÖHM, P., BREUSTE, J., KINDLER, A. et al (1992), Leipzig.

<sup>11</sup> USBECK, B., KINDLER, A., HARTMANN; H. et al (1992), Leipzig.

<sup>12</sup> ADAC Verlag (1997), Gotha

<sup>13</sup> KABISCH, S., KINDLER, A. & D. RINK (1997), Leipzig

Aus den beiden Biotoptypenkartierungen der Länder Sachsens (1993/1994) und Sachsen-Anhalts (1992) wurden darüber hinaus Informationen über das Verkehrsnetz selektiert und mit den beiden klassifizierten Bildern verschnitten. (vgl. Kap.8.1.2)

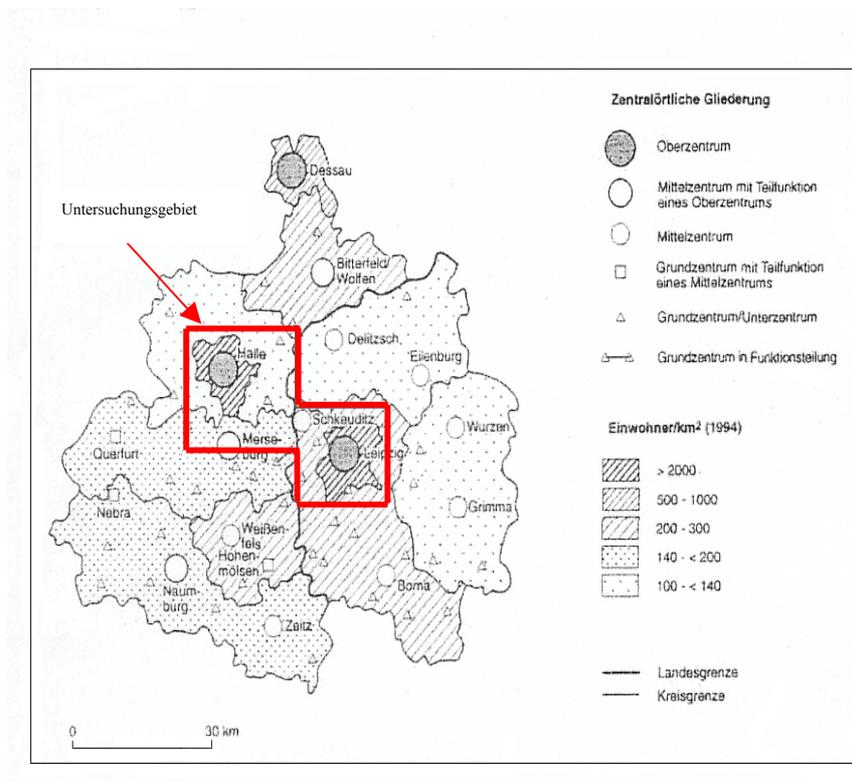
### **4.3 Hard- und Software**

Zur digitalen Bildverarbeitung der Fernerkundungsdaten wurde das Softwarepaket ERDAS/IMAGINE (Version 8.4) unter UNIX (Sun-Solaris (Version 2.5)) verwendet. Ferner kam das Programm ARC/INFO (Version 7.2) für die digitale Integration der Vektordaten zur Anwendung. Die Berechnung der LSM erfolgte mit dem Programm FRAGSTATS (Version 2.0) Dieses Programm wurde 1994 von MCGARIGAL und MARKS zur quantitativen Erfassung der Landschaftsstruktur entwickelt. Da sich eine Vielzahl der Veröffentlichungen im Bereich der Landschaftsstrukturanalyse auf das Programm FRAGSTATS bezieht, kann dieses Programm als eine Art Standard verstanden werden. Für die Berechnung der LSM mußten die klassifizierten Bilder aus ERDAS/IMAGINE in ein LAN-Format exportiert werden. Da die Ausgabe der Indizes in Form von Textdateien erfolgt, wurden die Maße im Anschluß zur Auswertung und Darstellung in MS EXCEL überführt.

## 5 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist Bestandteil des Verdichtungsraumes Halle-Leipzig. (NEUMANN & USBECK, 1996: 50) „Der Begriff Verdichtungsraum ist seit dem ersten Raumordnungsbericht (1966) und vor allem durch das Raumordnungsgesetz des Bundes zum festen und wichtigen Bestandteil der raumordnungspolitischen Terminologie geworden“. (AKADEMIE FÜR RAUMORDNUNG UND LANDESPLANUNG, 1994: 1006) Der Ausdruck Verdichtungsraum geht auf die Bemühungen einer sinnvollen Abgrenzung des städtischen und urbanen Raumes zurück und wird in der Literatur z.T. synonym zu den Begriffen Ballungs- oder Agglomerationsraum verwendet. (GAEBE, 1987: 17) Verdichtungsräume zeichnen sich durch eine über dem Landesdurchschnitt liegende Konzentration von Bevölkerung, Produktion und Infrastruktur aus und müssen laut der Ministerkonferenz für Raumordnung vom 7.9.1993 über mehr als 150000 Einwohner verfügen. (AKADEMIE FÜR RAUMORDNUNG UND LANDESPLANUNG, 1994: 1008)

In Abbildung 8 ist der Verdichtungsraum Halle-Leipzig sowie die Lage des Untersuchungsgebietes dargestellt.



**Abbildung 8: Verdichtungsraum Halle-Leipzig**

Quelle: OELKE, 1998: 392

Das wesentliche Kennzeichen des Untersuchungsgebietes ist eine naturräumliche und politisch-administrative Zweiteilung. Während der östliche Teil mit der Stadt Leipzig im Freistaat Sachsen liegt, gehört der westliche Teil mit dem Oberzentrum<sup>14</sup> Halle zum Bundesland Sachsen-Anhalt. In naturräumlicher Hinsicht ist der westliche Teil durch das Hallesche Lößhügelland gekennzeichnet, während der östliche Teil dem Leipziger Land zugeordnet wird. Auf eine detaillierte Beschreibung des Naturraumes der Region Halle-Leipzig wird an dieser Stelle verzichtet, da im folgenden die Erfassung unterschiedlicher urbaner Strukturen sowie die Dynamik urbaner Strukturen im Vordergrund steht. Einen guten Überblick über den Naturraum des Ballungsgebietes Halle-Leipzig gibt SCHÖNFELDER (1993: 17ff).

## 5.1 **Der Verdichtungsraum Halle-Leipzig**

### 5.1.1 Ausbildung der Verdichtung bis 1945

Aufgrund von fruchtbaren Böden wies die Leipziger Tieflandsbucht sowie deren Randgebiete bereits vor der industriellen Revolution eine relativ hohe Bevölkerungsdichte auf. Die in Mitteldeutschland um 1840 einsetzende Industrialisierung führte zu einem starken Wachstum der ansässigen Bevölkerung und zur Herausbildung der Verdichtung. (OELKE, 1998: 382) Als wichtigste Voraussetzungen dieser Entwicklung lassen sich folgende Punkte nennen:

- Die schnelle Herausbildung eines dichten Eisenbahnnetzes mit den primären Knoten Leipzig und Halle.
- Die Nutzbarmachung von Bodenschätzen, unter denen der Braunkohle eine besondere Bedeutung beigemessen werden muß.
- Technische Fortschritte in der Landwirtschaft, die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu bedeutenden Produktionssteigerungen führten.
- Die allmähliche Konzentration des Kapitals (in Form von Ansiedlung und Neugründung von Banken) sowie die Entwicklung der Industrieunternehmen zu überregionalen Konzernen. (OELKE, 1998: 382)

Mit der Industrialisierung entstanden eine Vielzahl an Arbeitsplätzen, vor allem in den Bereichen der Zuckerindustrie, des Braunkohlebergbaus, dem Maschinenbau sowie in der Chemie- und Lebensmittelindustrie. Das hohe Angebot an Arbeit beschleunigte das Wachstum der Städte und ihrer Randgemeinden. Beispielsweise vervielfachte Leipzig zwischen 1840 und 1940 seine Einwohner

---

<sup>14</sup> Unter dem Begriff „Oberzentrum“ werden laut der Ministerkonferenz für Raumordnung vom 8.2. 1968 Städte zusammengefaßt, die über die eigenen Einwohner hinaus die Bevölkerung des Verdichtungsraumes mit Gütern des gehobenen Bedarfs versorgen. (AKADEMIE FÜR RAUMORDNUNG UND LANDESPLANUNG, 1994: 1121)

zahl um das 15fache. Die größten Stadterweiterungen fanden in Leipzig zwischen 1889 und 1891 mit einer Zunahme von 56,9km<sup>2</sup> und zwischen 1919 und 1925 mit einer Zunahme von 29,2km<sup>2</sup> statt. (BREUSTE, 1996: 23)

Durch die Entstehung einer Vielzahl von Industriebetrieben an den ehemaligen Stadträndern bzw. im Umland der Städte, setzte eine starke Arbeitspendelwanderung ein, die zu einer Verflechtung der Städte mit dem nahen Umland führte. Diese Verflechtungen werden als ein wichtiges Merkmal für die Herausbildung des Verdichtungsgebietes genannt. (OELKE, 1998: 383ff)

### 5.1.2 Die Entwicklung zwischen 1945 und 1989

Die Entwicklung der Städte und Verdichtungsräume in der DDR war durch die folgende Grundeinstellung gekennzeichnet: Bewußt versuchte man sich in der DDR, von den „*zwangsläufigen Prozessen zu befreien, unter denen sich in kapitalistischen Gesellschaften Stadtentwicklung vollzog*“.(SAHNER, 1996: 447) Während dieser Zeit war die Stadtentwicklung in Ostdeutschland auf das Leitbild der räumlichen Konzentration ausgerichtet. Dieses Leitbild führte zu einer auf das Territorium der Großstädte beschränkte Entwicklung der Großstädte. Die Zone des Stadtrandes wurde als ein Ergänzungsgebiet betrachtet, so daß nur sporadisch Betriebe an den Stadtrand verlagert wurden. Die Folge dieser Entwicklung war die Erhaltung der Stadtränder auf dem Niveau der Vorkriegszeit. (FRANZ, 2000: 5, NIEMANN ET AL., 1994: 524) Ebenfalls wurde der Wohnungsbau nur innerhalb der Städte gefördert. Infolgedessen konnten in der DDR Wanderungen gezielt dirigiert werden. Kleinere Städte und der ländliche Raum erfuhren einen gravierenden Bevölkerungsverlust, da Wohnungssuchende nur eine Wohnung innerhalb der größeren Städte fanden und es zudem kein Mietgefälle oder eine bessere Arbeitsmarktsituation gab. (SAHNER, 1996: 466) Die Innenstädte wurden durch die Funktionen Arbeiten und Wohnen geprägt. Der Einzelhandel spielte innerhalb der Innenstädte nur eine untergeordnete Rolle und war vielfach quartiersbezogen in den Wohngebieten vertreten. Im Laufe der Zeit zogen immer mehr Haushalte in die Neubausiedlungen am Stadtrand, da die innerstädtische Bausubstanz aufgrund der unterlassenen Instandsetzung mehr und mehr verfiel. (HÖHNE & JAENSCH, 1998:182) Zusammenfassend führte diese Entwicklung zu einem Rückgang der Pendelwanderungen und zu einer Rückwärtsentwicklung der historisch entstandenen Verdichtung. (NEUMANN & USBECK, 1996: 53, OELKE, 1998: 392f) Typische westdeutsche Stadtprobleme, wie beispielsweise die Zersiedelung der Landschaft, die soziale Segregation oder der abwanderungsbedingte Verlust an Steuereinnahmen, konnte für die Stadt zu Zeiten der DDR nicht festgestellt werden. (FRANZ, 2000: 5)

### 5.1.3 Die Entwicklung seit 1989

Die politische Wende 1989 und die damit einhergehenden Veränderung der gesetzlichen Grundlage sowie die Einführung der Marktwirtschaft, führten zu einer Neubewertung der vorhandenen Strukturen und zu einem tiefgreifenden Strukturwandel. (FRIEDRICHS ET AL., 1996: 485) Die wichtigsten Kräfte der Umstrukturierung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Der Wandel von der Planwirtschaft zur Marktwirtschaft.
- Die gesellschaftlichen Veränderungen einerseits zum Sozialstaat mit der Kehrseite der sozialen Schichtung, andererseits zum Pluralismus und zur Konsumgesellschaft.
- Die Veränderung des Eigentumsrechtes und den daraus resultierenden Folgen für den Bodenmarkt.
- Die Einbindung in den Weltmarkt und den daraus folgenden Konsequenzen für die wirtschaftliche Umstrukturierung. (GRUNDMANN ET AL., 1996: 18, SAHNER, 1996: 447)

#### Ursachen und Folgen der strukturellen Veränderungen

Die über Jahrzehnte vom Weltmarkt abgeschirmte und staatsmonopolistisch dirigierte Industrie wurde von heute auf morgen der Weltkonkurrenz ausgesetzt. Infolgedessen mußte der bis 1989 wichtigste Wirtschaftsbereich, der sekundäre Sektor, neu bewertet werden. (GRUNDMANN ET AL., 1996: 20) Die Entwicklung dieses Sektors zeichnete sich seit Beginn der Einführung der Marktwirtschaft durch Umstrukturierungen in Form der Privatisierung, einer Auflösung der Kombinate, einer Reduzierung der Betriebe auf ihren wesentlichen Kern, einer flächenhaften Stilllegungen sowie durch einen massiven Beschäftigungsabbau aus. (OELKE, 1998; 393) In Leipzig z.B. fiel die Anzahl der Industriearbeitsplätze von etwa 100.000 (Stand 1989) auf unter 15.000 (Stand 1995). (GRUNDMANN ET AL., 1996: 20) Abgesehen von den Braunkohlerevieren hat sich die Branchenstruktur des sekundären Sektors durch gezielte Investitionen nur wenig gewandelt, so daß zum heutigen Zeitpunkt noch nahezu dieselbe Branchenstruktur wie vor der politischen Wende zu finden ist. Eine wichtige Ausnahme stellt die Bauindustrie dar, die einen extremen Aufschwung erfahren hat und im Vergleich zu anderen Bereichen nach der politischen Wende überdimensional in Erscheinung trat. (OELKE, 1998: 395ff)

Den größten strukturellen Wandel hat der tertiäre Sektor erfahren. Dieser hat die führende Rolle des sekundären Sektors übernommen. Folglich kam es innerhalb der beiden Oberzentren Halle und Leipzig zur Ansiedlung von Einzelhandel, Banken und Versicherungen. Aus diesem Grund haben sich innerhalb der letzten Jahre vor allem die Beschäftigungszahlen im Dienstleistungsbereich erhöht. Insgesamt war die Umschichtung dennoch mit einem quantitativen Rückgang an Arbeitsplätzen verbunden. (OELKE, 1998: 395ff)

## Ursachen und Folgen der räumlichen Veränderungen

Die Einführung des Prinzips von Angebot und Nachfrage führte zur Differenzierung der Bodenpreise und zur Herausbildung eines Wohnungs-, Büro-, und Gewerbemarktes. *„Nachdem [...] der Grundstücks- und Immobilienmarkt wiedereingeführt worden ist, hat die Suburbanisierung als der dominierende Raumprozeß auf breiter Front eingesetzt“*. (Rother, 1997: 207). Der Migrationsprozeß zwischen den Städten und dem Umland hat sich seit Anfang der 1990er Jahre umgedreht. Während nun die Oberzentren einen deutlichen Rückgang der Bevölkerung aufweisen, verzeichnen vor allem die Umlandgemeinden und kleineren Städte einen Bevölkerungszuwachs. Infolgedessen bildete sich, nachdem jahrzehntelang das Zusammenwachsen der Städte unterbunden wurde, in den 90er Jahren eine dezentrale Stadtregion mit vielen nach außen verlagerten Funktionen. (BREUSTE, 1996: 17)

Im Gegensatz zum Suburbanisierungsprozeß in Westdeutschland wurde die ostdeutsche Suburbanisierung durch die Ansiedlung großer Gewerbeparks im Umland eingeleitet, wohingegen die Wohnsuburbanisierung um etwa drei Jahre versetzt auftrat. (FRANZ, 2000: 5f, GRUNDMANN, 1995: 26ff, NEUMANN & USBECK, 1996: 57, NIEMANN ET AL. 1994: 526, ROTHER, 1997: 207) Während der Suburbanisierungsprozeß des Gewerbes in den alten Bundesländern erst einsetzte, als sich innerhalb der Innenstädte ein leistungsfähiger Fachhandel etabliert hatte, wird in Ostdeutschland der „Umweg“ über die Innenstädte übersprungen und die Ansiedlung der Gewerbeparks erfolgte direkt auf der „grünen Wiese“. Aufgrund dieser Situation gestaltet sich die Belegung und die Erhöhung der Attraktivität der Innenstädte als schwierig. (SAHNER, 1996: 471)

Als Ursachen für die Standortwahl auf der grünen Wiesen müssen sowohl günstige Standortfaktoren im nahe gelegenen Umland als auch negative Standortbedingungen innerhalb der Innenstädte angesehen werden. Die Standortwahl der Gewerbebetriebe basiert auf der Standortoptimierung, *„bei denen es um die Maximierung von Standortvorteilen und die Minimierung von Standortnachteilen geht“*. (USBECK, 2000: 21) Zusammenfassend lassen sich auf der Seite des Umlandes folgende Pull-Faktoren nennen:

- Großer Flächenbedarf für niedrige Hallenbauten und Parkplätze
- Billiger Baugrund in den ländlichen Regionen
- Keine planerische Regulierungen aufgrund fehlender regionaler Entwicklungskonzepte während der politischen Wende und der daraus resultierenden schnellen Verfügbarkeit neuer Baugebiete
- Lokale Initiativen zur Stärkung der Wirtschaftskraft, d.h. das Bestreben der Gemeinden den Beschäftigungsrückgang in Landwirtschaft, Bergbau und Industrie aufzufangen
- Regionale Erreichbarkeit über das bestehende Fernstraßennetz
- Moderne infrastrukturelle Erschließung

- Nähe zum traditionellen bzw. potentiellen Markt (Rother, 1997: 207f, Usbeck, H. 2000: 21, vgl. auch Jürgens, 1994: 519, Jürgens, 1995: 134)

Demgegenüber stehen folgende Push-Faktoren der Innenstädte:

- Vielfach ungeklärte Eigentumsverhältnisse
- Fehlende verbindliche Planung der innerstädtischen Standorte
- Hoher Investitionsbedarf infolge der desolaten Bausubstanz
- Übertriebene Bodenpreise und Mieten
- Zu kleine Ladenlokale
- Abstoßende Wirkung innerstädtischer Baustellenlandschaften
- Zu wenig Kundenparkplätze
- Schlechte Erreichbarkeit und unzureichende Verkehrsanbindung (GRUNDMANN, 1995: 26, ROTHER, 1997: 210, USBECK, 2000: 21)

In wirtschaftlicher Hinsicht führt der Prozeß der Gewerbesuburbanisierung zu einer Veränderung der Funktionsteilung zwischen den Städten und ihrem Umland, wobei die Städte wichtige Funktionen, wie die Einzelhandel- und Gewerbefunktion, an das Umland verlieren. (GRUNDMANN, 1995: 21ff) In Tabelle 3 ist eine Befragung der Leipziger Bevölkerung hinsichtlich ihrer Besuchshäufigkeiten der Innenstadt sowie der Einkaufszentren zusammenfassend dargestellt. Die Zahlen repräsentieren die Einkaufsgewohnheiten der Bevölkerung und zeigen eine deutliche Konkurrenz der Einkaufszentren gegenüber den Innenstädten.

Häufigkeit	Leipziger Innenstadt (in %)	Einkaufszentren außerhalb der Innenstadt (in %)
Nie, selten	5,7	0,8
Einmal im halben Jahr	4,2	4,1
Einmal im Vierteljahr	10,4	14,0
Einmal im Monat	31,3	40,5
Einmal wöchentlich	31,2	34,6
Mehrmals wöchentlich	17,1	6,1
<b>Summe %</b>	100	100
Anzahl der Befragten	756	659

**Tabelle 3: Besuchshäufigkeiten der Innenstadt bzw. der Einkaufszentren des Umlandes**

Quelle: FRIEDRICHS, 1996: 388f

Die Folgen dieser Entwicklung schlagen sich neben den geringeren Einnahmen des innerstädtischen Einzelhandels auch in rückläufigen Steuereinnahmen der Oberzentren nieder.

Als wesentliche Ursache der Wohnsuburbanisierung kann der desolante Zustand der Bausubstanz innerhalb der Innenstädte gelten. Beispielsweise sind in Leipzig *„20.000 Wohnungen [...] wegen jahrzehntelanger Vernachlässigung und des damit einhergehenden Verfalls zur Zeit nicht bewohnbar. 51.000 Wohnungen weisen (zudem) mittlere, 104.000 schwere Bauschäden auf“*. (BREUSTE,

1996: 25) Mit der Entscheidung im Vertrag zur Deutschen Einheit die Eigentumsverhältnisse bei Immobilien aus der Zeit vor 1945 wiederherzustellen, wurde ein langwieriger Prozeß in Gang gesetzt, der z.T. dazu führte, daß mit der Sanierung der Altbauten innerhalb der Innenstädte nur langsam begonnen wurde. Ebenfalls ist der Kapitaleinsatz zur Sanierung der Gebäude so hoch, daß er weder von Kommunen noch von privaten Haushalten aufgebracht werden kann. Infolgedessen war und ist die Instandsetzung der innerstädtischen Wohngebiete auch heute noch auf externes Kapital angewiesen. (FRIEDRICHS ET AL., 1996: 494f) Als weitere Ursache der zunehmenden Wohnsuburbanisierung muß der erhöhte Wunsch nach einem Eigenheim angesehen werden.

Auch die Wohnsuburbanisierung hat negative wirtschaftliche Folgen für die Oberzentren. Der Rückgang der Bevölkerung führt zu einer Reduzierung der Steuereinnahmen. Somit kann ein Teil der sozialen Infrastruktur nicht mehr finanziert werden. Volkswirtschaftliche Verluste ergeben sich zudem durch den enormen Wohnungsleerstand sowie die zahlreichen Abbruch- und Rückbaumaßnahmen. (GOLNIK, 2000: 17)

Insgesamt zeichnet sich der Suburbanisierungsprozeß durch eine hohe Dynamik aus. (OELKE, 1998: 395ff) Diese findet ihre Begründung in einer Bebauung, die hauptsächlich „auf der Grundlage von Vorhaben- und Erschließungsplänen für Einzelobjekte, teilweise auf der Grundlage von Bebauungsplänen und nur zum kleinen Teil auf der Grundlage bereits bestätigter Flächennutzungspläne für ganze Gemeindeflächen“ basierte. (KRÖNERT, 1995: 166) In Leipzig wurde beispielsweise erst 1992 mit der Erarbeitung eines Flächennutzungsplanes begonnen, der 1994/95 fertiggestellt wurde. Da zudem unter den einzelnen Gemeinden nur eine geringe Abstimmung stattfand, war ein Landschaftsverbrauch in einem unkontrollierbaren Maße möglich. (ARTMANN, 1993: 11, GRUNDMANN, 1995: 26) (s. auch 4.2.4) Unter dem Begriff Landschaftsverbrauch bzw. Flächenverbrauch wird „die Umwidmung von freier, offener Landschaft (Agrarlandschaft) in Industrie- und Stadtlandschaft bzw. der großflächige Entzug von land- und forstwirtschaftliche Nutzfläche (sowie einiger weiterer Freiflächenarten) zugunsten von mehr oder weniger bebauten Siedlungs- und Verkehrsflächen“ verstanden. (KRÖNERT & ERFURT, 1994: 18) Anhand der Zahlen der Tabelle 4 kann eine Einschätzung des Ausmaßes des gesamten Flächenverbrauchs vorgenommen werden.

Neue Baugebietsflächen im Kernraum der Region Halle-Leipzig						
	Nach Flächennutzungsarten				Kernraum insgesamt	
	Oberzentren		Landkreise		Ha	%
	ha	%	ha	%		
Wohn-/Mischgebietsflächen	731	51,0	1607	22,8	2338	27,5
Gewerbe-/Industrieflächen	608	42,4	3841	54,4	4449	52,4
Sondergebietsflächen	95	6,6	1610	22,8	1705	20,1
<b>Neue Bauflächen insgesamt</b>	<b>434</b>	<b>100</b>	<b>7058</b>	<b>100</b>	<b>8492</b>	<b>100</b>

**Tabelle 4: Neue Baugebietsflächen im Kernraum der Region Halle-Leipzig**

Quelle: NEUMANN & USBECK, 1996: 61

Der Flächenverbrauch, der durch den Prozeß der Suburbanisierung hervorgerufen wird, steht im Widerspruch zu einer nachhaltigen und umweltverträglichen Entwicklung von Städten und Stadtregionen. (BREUSTE, 1995b:175ff. KRÖNERT & ERFURT, 1994: 19f) Durch den weiter fortschreitenden Ausbau großflächiger Gewerbe- und Wohngebiete im Umland der Städte Halle und Leipzig muß zunehmend mit ökologischen Problemen gerechnet werden. Die wichtigsten ökologischen Probleme lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Entwertung der hochwertigen Böden und ihrer Bodenpotentiale durch Bodenversiegelung
- Verhinderung der Versickerung von Regenwasser und damit der Grundwasserneubildung
- Erhöhtes Aufkommen von Pendelwanderungen zum Arbeitsplatz. Hieraus resultiert eine zunehmende Produktion von Kfz-Verkehr und der Ausbau der dafür notwendigen Verkehrsinfrastruktur („Vermehrungseffekt“).
- Negative Beeinflussung des klimaverbessernden Luftaustausches der Stadtgebiete mit dem Umland
- Konflikte mit dem Landschafts- und Naturschutz
- Verringerung der Erholungspotentiale durch den flächenhaften Verbrauch an Grünflächen (BREUSTE, 1996: 29; BREUSTE, 1995: 175ff, NEUMANN & USBECK, 1996: 53ff)

#### 5.1.4 Raumplanerische Problematik

Die Entwicklung der Region Halle-Leipzig seit der politischen Wende widerspricht sowohl dem Ziel, die jeweiligen zentralen Orte als Mittelpunkt des wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Lebens zu fördern, als auch einer umweltverträglichen Entwicklung. Aufgrund der negativen Auswirkungen des Suburbanisierungsprozesses besteht ein raumordnerischer Handlungsbedarf hinsichtlich der Eindämmung des Zersiedelungsprozesses, der Dezentralisierung, der Stabilisierung der bisher ungünstigen demographischen Entwicklung sowie der Herstellung gleichwertiger Lebensbedingungen zwischen dem Umland und den Städten. (NIEMANN et al., 1994: 528ff)

Die Durchsetzung dieser Ziele wird durch die Zweiteilung der Region Halle-Leipzig erschwert. Die seit 1990 bestehende Landesgrenze zwischen Sachsen-Anhalt und Sachsen verhindert eine einheitliche Planung und Verwaltung des Gebietes. (OELKE, 1997: 402f) Durch den Entwicklungsdruck entstand jedoch eine neue Formen der Zusammenarbeit zwischen den beiden Ländern. (ARTMANN, 2000: 8, SCHÖNFELDER, 1993: 13) Mit den Staatsverträgen vom 27.08.1993 und vom 26.08.1996 zwischen den Ländern Sachsen und Sachsen-Anhalt wurde eine gesetzliche Grundlage für die länderübergreifende Raumplanung geschaffen. In zwei regionalen Entwicklungskonferenzen wurde ein regionales Entwicklungskonzept erarbeitet. Das Leitbild dieses Entwicklungskonzeptes lautet: *„Eine international wettbewerbsfähige Region mit europäischer Ausrichtung, die in ihrer Entwicklung dem Prinzip der Nachhaltigkeit folgt“*. (SCHÄDLICH, 1997: 169) Zur Realisierung dieses

Ziels wurde das Regionalforum Mitteldeutschland gegründet, welches sich aus regionalen Akteuren der Bereiche Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft und Kultur zusammensetzt. (ARTMANN, 2000: 8) Zur Verwirklichung des Leitbildes wird von Seiten des Regionalforums die Bedeutung der Vernetzung von Entscheidungsstrukturen der länderübergreifenden Planung und zugleich die Garantie für einen ausreichenden Handlungsspielraum auf regionaler und lokaler Ebene betont. (EBENDA)

Insgesamt aber zeigt die Leitbildentwicklung bis zum heutigen Zeitpunkt nur eine geringe Auswirkung auf die reelle Entwicklung der Region Halle-Leipzig. Durch unterschiedliche Bewertungskriterien und fehlende Abstimmung zwischen den Regierungspräsidenten von Halle und Leipzig sowie den kleineren Kommunen, ist der Prozeß der Suburbanisierung bis zum heutigen Zeitpunkt kaum in eine bestimmte Richtung gelenkt worden. Das aktuelle Beispiel der Ausweitung des Einkaufszentrums „Saalepark“ verdeutlicht zudem, daß wirtschaftliche Interessen häufig ohne die Abschätzung ökologischer Folgen realisiert werden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der derzeitige wirtschaftliche und raumwirksame Strukturwandel im Großraum Halle-Leipzig keinen historischen Vergleich aufweist. Infolge der geringen Wirksamkeit der raumplanerischen Regulierungen sind durch den Strukturwandel bereits Strukturen geschaffen worden, die nicht mit einer ökologischen bzw.nachhaltigen Regionalentwicklung vereinbar sind. *„Es zeigt sich ein Trend zur dezentralen flächenverbrauchenden und verkehrserzeugenden Stadtregion“*. (BREUSTE, 1996: 30) Um eine steigende Belastung und weitere Schäden der Umwelt zu verhindern, ist in Zukunft eine Steuerung der Entwicklung des Verdichtungsraumes erforderlich. Im folgenden soll geprüft werden, inwieweit sich der Einsatz der Fernerkundung und der LSM innerhalb der Stadt- und Regionalplanung hierzu eignet.

## 6 Aufbereitung der Ausgangsdaten

Das Ziel der Aufbereitung der Ausgangsdaten bestand zum einem in der geometrischen Referenzierung und zum anderen in der Generierung eines zusätzlichen Kanals zur besseren Erkennbarkeit einzelner Objekte der Landoberfläche. Zu einer ersten Erfassung der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Landschaftselemente wurde eine visuelle Interpretation durchgeführt, der sich die hierarchische Klassifikation anschloß. (vgl. Kap. 7)

### 6.1 Geometrische Entzerrung der Satellitenbilder

Die digitalen Rohdaten enthalten geometrische Fehler, die sich durch die Aufnahmeverfahren und die Aufnahmesysteme, durch Höhen- oder Geschwindigkeitsschwankungen des Satelliten, durch die Erdrotation oder durch das Relief ergeben. Die systembedingten Fehler werden bereits vom Verteiler der Satellitendaten behoben, bevor sie an den Endnutzer weitergegeben werden. (LÖFFLER, 1994:58f) Dazu zählt unter anderem eine, durch die ostwärts gerichtete Erdrotation bedingte, graduelle Verschiebung der Aufnahmestreifen in westliche Richtung. Einen weiteren systematischen Fehler stellt der durch Höhenunterschiede des Reliefs hervorgerufene Punktversatz dar. Da es sich beim Untersuchungsgebiet um ein relativ flaches Gelände handelt, bleibt der generierte Fehler bei einer Plattformflughöhe von 705km minimal und konnte vernachlässigt werden. (HILDEBRANDT, 1996:425)

Um die verbleibenden Verzerrungen auszugleichen und ein geometrisch korrektes Bild zu erhalten, müssen die Rohdaten in ein Koordinatensystem eingepaßt werden. Über diese Einbindung ist es möglich, die mathematische Lagebeziehung der Bildelemente in der geometrisch verzerrten Szene zum Referenzsystem eindeutig zu bestimmen. (RICHARDS, 1993:56f)

Bei der Georeferenzierung unterscheidet man zwei Vorgehensweisen; Zum einem kann eine topographische Karte als Vorlage dienen, zum andern kann eine Satellitenszene auch auf eine bereits entzerrte Szene georeferenziert werden (Bild-zu-Bild-Entzerrung). (RICHARDS, 1993:66ff) Da die TM-Szene vom 28.05.1992 bereits als sogenanntes „Master-Bild“ georeferenziert vorlag, wurde eine Bild-zu-Bild-Entzerrung durchgeführt. Der gesamte Prozeß der Entzerrung und der Georeferenzierung erfolgte in drei Teilschritten: Paßpunktfestlegung, Aufstellen der Transformationsgleichung und Resampling des Bildes. Für die Referenzierung der TM-Szene vom 30.04.1999 (Slave-Bild) wurden in einem ersten Schritt 20 Paßpunkte sowohl in der 1999er als auch in der 92er TM-Szene ermittelt. Als eindeutig definierbare Paßpunkte eignen sich besonders solche Punkte, die sich von ihrer Umgebung gut differenzieren lassen. Dies sind beispielsweise Straßenkreuzungen, Brüc

kenbegrenzungen oder markante Gebäude. Bei der Auswahl der Paßpunkte ist jedoch nicht nur die eindeutige Identifizierbarkeit, sondern auch eine zeitliche Konstanz von Bedeutung. Infolgedessen sind natürliche Begrenzungen, wie z.B. das Ufer eines Flusses, als Paßpunkte nicht geeignet. Eine gute Erfassung der Paßpunkte war über die Kanalkombination 4-5-3 (R-B-G) möglich. Bei einigen Paßpunkten, deren Lage durch Straßenkreuzungen bestimmt waren, wurden mit der Kanalkombination 3-2-1 (Echtfarbendarstellung) bessere Ergebnisse erzielt. Insgesamt wurde eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Paßpunkte über den gesamten Ausschnitt angestrebt. Aus diesem Grund wurden auch die Randbereiche des Satellitenbildes mit einbezogen, da so die Gefahr der Überschwingung von Abbildungspolynomen vermieden werden konnte.

Zwischen der geometrisch verzerrten Szene und den Referenzdaten besteht eine mathematische Lagebeziehung, so daß anhand der gesetzten Paßpunkte die Transformationsgleichung berechnet werden kann. Die Transformation stützt sich auf die folgenden Funktionen (HILDEBRANDT, 1996: 476, LILLESAND & KIEFER, 200: 475, LÖFFLER, 1994: 59):

$$x' = f_x(x, y)$$

**und**

$$y' = f_y(x, y),$$

wobei  $x, y$  = Spalten und Reihen des Eingabebildes

$X, Y$  = Kartenkoordinaten

$f_1, f_2$  = Transformationsgleichung

Sind die Funktionen  $f_x$  und  $f_y$  bekannt, kann für alle Punkte, deren Position im Referenzsystem ermittelt wurde, die Lage im Ausgangsbild bestimmt werden. Während des Transformationsvorganges wird jedem Pixel des entzerrten Bildes der zugehörige Grauwert des Originalbildes zugewiesen. Die Berechnung der Rasterpunkte erfolgte im Gauß-Krüger-Koordinatensystem (Bessel-Ellipsoid) über eine Transformation zweiten Grades, deren Funktionsgleichung sich wie folgt beschreiben läßt (RICHARDS 1993: 57):

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

**und**

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

Aus der Lagebeziehung der Paßpunkte im Slave- und Master-Bild können die Koeffizienten  $a_i$  und  $b_i$  ermittelt werden.

Als Resampling-Verfahren fand die Nearest-Neighbour-Methode Anwendung. Hierbei handelt es sich um ein indirektes Transformationsverfahren, da vom Ausgabebild in das Eingabebild zurück

gerechnet und somit jedem Pixel des Ausgabebildes der richtige Grauwert zugeordnet wird. (ALBERTZ, 1991: 94f) Bei der Berechnung wurden den Bildelementen der neu berechneten Matrix die Grauwerte des nächstgelegenen Bildelementes im Eingangsbild zugewiesen. Im Gegensatz zu anderen Resampling-Verfahren besteht der Vorteil der Nearest-Neighbor-Methode darin, daß die Grauwerte der Pixel nur gering verändert werden. Aus diesem Grund bietet sich die Wahl dieses Verfahrens an, wenn im Anschluß an die Georeferenzierung eine Klassifikation der Spektralsignale durchgeführt werden soll. (LILLESAND & KIEFER, 2000:475ff, RICHARDS, 1993: 58ff)

Da die Paßpunkte des Ausgabebildes nicht die gleiche Lage zueinander aufweisen wie im Bezugssystem, ergibt sich der durchschnittliche RMS-Fehler (Route Mean Square Error). Dieser hatte bei der Georeferenzierung der TM-Szene vom 30.04.1999 einen Wert von 0,41 und lag folglich im Subpixelbereich. Nach der Georeferenzierung war es möglich, die beiden TM-Szenen räumlich in Beziehung zu setzen, was sich für die weitere Bearbeitung der Daten als notwendig erwies.

## 6.2 Filteroperationen

Man unterscheidet zwischen optischen und digitalen Filtern. Während die optischen Filter die Energie nur in einem bestimmten Wellenlängenbereich durchlassen, werden die digitalen Filter dazu eingesetzt, erwünschte und unerwünschte Informationen von einander zu trennen. Die digitalen Filter basieren auf der räumlichen Frequenz der Bilddaten, d.h. auf dem Wechsel der Grauwerte von Pixel zu Pixel innerhalb einer Zeile einer Bildmatrix. Beim Filtervorgang werden die Werte der Pixel nicht einheitlich verändert, sondern in Abhängigkeit zu den sie umgebenden Pixeln. Aus diesem Grund werden diese Filteroperationen als Operationen im Ortsbereich bezeichnet. Alle Filteroperationen basieren auf sogenannten gleitenden Fenstern („Moving Window“). Diese laufen, vom Ursprung der Rastermatrix ausgehend, über das gesamte Bild und berechnen jeweils über Mittelwertbildung den Wert für das im Zentrum liegende Pixel. Die Fenstergröße kann 3x3, 5x5, 7x7 Pixel oder mehr Bildelemente betragen. Ziel dieser Filtertechniken ist es, bestimmte Strukturen hervorzuheben bzw. zu unterdrücken. Während mit Hilfe von Hochpaßfiltern Erscheinungen hervorgehoben werden, erfolgt durch den Einsatz von Tiefpaßfiltern die Glättung von Frequenzen. (ALBERTZ, 1991: 100ff)

Zur besseren Differenzierung der Bildinformation wurde in der vorliegenden Arbeit eine Hochpaßfilterung mit einer Filtermatrix von 3x3 Bildelementen für beide TM-Datensätze durchgeführt. Die Ergebnisse wurden jedoch nur für die rein visuelle Interpretation der Daten genutzt, weil *„sie für digitale Bildverarbeitungen mit anschließender statistischer Auswertung nicht anzuraten sind, da sie die Grundinformation des Datensatzes verfälschen“*. (HEINZ, 1999: 13)

### 6.3 Generierung künstlicher Kanäle

Künstliche Kanäle können das Unterscheiden von Objekten in Satellitenbildszenen wesentlich vereinfachen und eine bessere Interpretationsgrundlage schaffen. (HILDEBRANDT, 1996: 504) Als künstliche Kanäle können z.B. Vegetationsindizes dienen, die eine Form der Ratiobildung darstellen. (LILLESAND & KIEFER, 2000: 448) Sie eignen sich in erster Linie zur Unterscheidung von lebender und abgestorbener Vegetation oder vegetationslosen Flächen. Da Städte durch einen relativ engräumigen Wechsel von bebauten und begrünten Flächen gekennzeichnet sind, bieten sich Vegetationsindizes für die Unterscheidung von bebauten und unbebauten Flächen an. Infolgedessen wurde der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) zur besseren Erkennbarkeit der Landbedeckung des Verdichtungsraumes Halle-Leipzig als zusätzlicher Kanal berechnet. Der NDVI basiert auf den Kanälen des nahen Infrarot (Kanal 4) und des sichtbaren Rots (Kanal 3). In diesen Kanälen weist die Vegetation ein spezielles Reflexionsverhalten auf. Während im Bereich des sichtbaren Rots, aufgrund der hohen Absorption der eingestrahnten Energie durch das Chlorophyll, die Reflexionswerte sehr gering sind, steigen sie im Übergang zum nahen Infrarot an. Im Gegensatz zum Reflexionsverhalten der Vegetation weisen die bebauten Bereiche ein ähnliches Verhalten wie Böden auf. Dieses ist, im Vergleich zum Reflexionsverhalten der Vegetation, durch eine höhere Reflexion im Bereich des sichtbaren Rots und einer geringeren Reflexion im Bereich des nahen Infrarots charakterisiert. (ACHEN, 1993: 57f, LILLESAND & KIEFER, 2000: 29, VOGT, 1988: 85) (vgl. Kap. 3.1) Der NDVI berechnet sich über die Formel

$$NDVI = (\text{Infrarot} - \text{Rot}) / (\text{Infrarot} + \text{Rot}),$$

wobei der Wertebereich zwischen (-1) und (1) liegt. Um so höher der berechnete NDVI-Wert ist, umso größer ist der Anteil der Vegetation. Ab einem NDVI-Wert von < 0 kann von einer vegetationsfreien Fläche ausgegangen werden. (ACHEN, 1993: 61f, ERDAS, 1999: 174, LILLESAND & KIEFER, 2000: 448)

Der NDVI wurde aus den geocodierten Landsat-TM Szenen (Kanal 4 und Kanal 3) berechnet. Anschließend wurde der NDVI-Datensatz, mit dem Ziel, einen einheitlichen Datensatz mit einem Grauwertbereich von 0 bis 255 zu erhalten, in ein 8 Bit-Datenformat transformiert. Über die Analyse des NDVI-Bildes konnten bestimmte Strukturen innerhalb der Stadt- und Siedlungsbereiche besser erkannt und von einander differenziert werden. Neben der deutlicheren Erkennbarkeit des Straßennetzes, konnte eine bessere Abgrenzung der Ein- bis Zweifamilienhäuser gegenüber den Kleingärten erfolgen.

## 6.4 Visuelle Interpretation

Um einen ersten Überblick über die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Landschaftselemente zu bekommen, wurde eine visuelle Interpretation der Landsat-TM-Szenen durchgeführt. Für das Erkennen der Landschaftselemente spielen verschiedene Faktoren wie Helligkeit, Farbton, Form, Größe der Objekte, Objektmuster, Textur und die Erfahrung des Interpreten eine Rolle. (ALBERTZ, 1991: 107ff, LAUSCH, 2000: 50)

Zur Erfassung der städtischen Landschaftselemente erwies sich die Kanalkombination 4-3-5 als besonders gut geeignet. (HEINZ, 1998A: 38) Bei dieser Kombination wird dem Kanal 4 die Farbe Rot, dem Kanal 3 die Farbe Blau und dem Kanal 5 die Farbe Grün zugeordnet. Infolgedessen erscheinen die Flächen der Vegetation in roten Farbtönen, während die Siedlungsbereiche in Blautönen in Erscheinung treten. Die Inhomogenität der Innenstädte Halle und Leipzig trat bei dieser Kanalkombination durch eine Vielzahl an unterschiedlichen blauen und braunen Farbtönen in Erscheinung. Die geringe Homogenität der städtischen Bereiche wurde durch die relativ homogenen Vegetationsflächen des Umlandes verstärkt, so daß die bebauten Flächen visuell gut vom Umland getrennt werden konnten. Da die Außenbereiche der Städte Leipzig und Halle z.T. durch eine lockerere Bebauung (Ein- bis Zweifamilienhäuser) gekennzeichnet sind, konnte die Abgrenzung zwischen Stadt und Umland an diesen Stellen nur grob abgeschätzt werden. Über die unterschiedlichen Anteile der rötlichen Pixel innerhalb der Städte konnte ein erster Eindruck über den Grad der Verdichtung gewonnen werden. Hierbei stellte sich heraus, daß ein deutlicher Verdichtungsgradient von den verdichteten Kernstädten zum zunehmend locker besiedelten Umland ausgeht. In der TM-Szene von 1992 traten in den äußeren Zonen der Städte verstärkt hellblaue Pixel auf. Diese gaben einen Hinweis darauf, daß sich die Siedlungserweiterungen z.T. noch in der Bauphase befanden.

LAUSCH (2000) sieht in der visuellen Interpretation gegenüber der digitalen Klassifikation folgende vier Vorteile:

- Bei Landschaftsstrukturen, die ein komplexes Muster aufweisen, geraten automatische Verfahren aufgrund von begrenzter geometrischer, spektraler und radiometrischer Auflösung schnell an ihre Grenzen.
- Die visuelle Interpretation ist gegenüber radiometrischen Verfälschungen der Bilddaten weitgehend unempfindlich.
- Bei der Durchführung eines Monitorings können Fehlergrößen, die sich aus der Phänologie oder Nutzungsänderung landwirtschaftlicher Strukturen ergeben, reduziert werden.
- Es ist die Abgrenzung von zusätzlichen Klassen möglich, die unter der Anwendung automatischer Verfahren der Klassifikation nur im begrenzten Maße realisierbar ist. (LAUSCH, 2000: 50)

Die visuelle Interpretation hat bei der Ermittlung der landschaftsbeschreibenden Elemente den Nachteil, daß keine Möglichkeit besteht die vorhandenen Landschaftselemente in digitaler Form zu registrieren. Da die digitale Erfassung der Landschaftselemente für die Quantifizierung der Landschaftsstruktur eine wesentliche Voraussetzung darstellt, wurde, aufbauend auf den Erfahrungen der visuellen Interpretation, eine Klassifikation der Landsat-TM-Szenen durchgeführt.

## 7 Digitale Erfassung der Landschaftselemente

### 7.1 Grundlagen der Klassifikation

Zur Erfassung der Landschaftsstruktur und ihre Veränderung ist die Umwandlung der Satellitenbilder in einen thematischen Datensatz erforderlich. Die multispektrale Klassifikation, bei der die Zusammenfassung von Bildinhalten zu einheitlichen Klassen erfolgt, stellt das wichtigste Instrument für die Transformation der Satellitendaten in thematische Informationen dar. „*The overall objective of classification procedures is to automatically categorize all pixels in an image into land cover classes or themes*“. (LILLESAND & KIEFER, 2000: 532) Alle Klassifikationsmethoden beruhen auf der Annahme, daß die Elemente einer Klasse ein ähnliches spektrales Verhalten aufweisen. (CAMPELL, 1996: 313, HIKLDEBRAND, 1996: 526, JENSEN, 1996: 197ff) Im Rahmen der Klassifikation von Satellitenbildern kommt der Definition des Begriffs „Landnutzung“ (land-use) ein hoher Stellenwert zu. Unter Landnutzung wird die „*Inanspruchnahme von Grund und Boden durch die menschliche Gesellschaft*“ verstanden. (BASTIAN & SCHREIBER, 1994: 162) Bei der Erfassung der Oberflächenstrukturen aus Fernerkundungsdaten mit Hilfe von Klassifikationsverfahren wird jedoch nicht die Landnutzung, sondern vielmehr die Landbedeckung (land-cover) erfaßt. (LAUSCH & MENZ, 1999: 187) „*For example, a state park may be used for recreation but have a deciduous forest cover*“. (COWEN & JENSEN, 1999: 614) Da durch funktionale Flächennutzungsarten nicht die Flächennutzung, sondern die Landbedeckung erfaßt wird, ist die Verwendung des Begriffs „Landnutzung“ im Zusammenhang mit der Klassifikation der TM-Daten in der vorliegenden Arbeit immer im Sinne der Landbedeckung zu verstehen.

Grundsätzlich lassen sich die Verfahren der automatischen Klassifikation in zwei Gruppen einteilen; unüberwachten Verfahren stehen überwachte Klassifikationsmethoden gegenüber. Die unüberwachten Klassifikationen laufen ohne die Einflußnahme des Anwenders auf der Basis von mathematischen Beziehungen ab, d.h. die einzelnen Bildelemente werden den verschiedenen Spektralklassen mit Hilfe von Clusteranalysen zugewiesen. Der einer Clusteranalyse zugrunde liegende Algorithmus beinhaltet ein Abstandsmaß, anhand dessen die Zuordnung der Bildelemente zum nächstgelegenen Cluster erfolgt. Es ist Aufgabe des Anwenders, nach der durchgeführten Klassifikation den gebildeten Clustern eine Bedeutung zuzuordnen. Dieser Arbeitsschritt wird von einigen Autoren als Nachteil beschrieben. (HILDEBRANDT, 1996: 541f, RICHARDS, 1993: 231, VOGT, 1990: 102) Die unüberwachte Klassifikation bietet jedoch den Vorteil, das sie nicht vom Anwender manipuliert werden kann. (CAMPELL, 1996: 318) Eingesetzt werden unüberwachte Klassifikationen in der Regel nur dann, wenn keine Referenzdaten des Untersuchungsgebiets vorhanden sind. Darüber hinaus sind unüberwachte Klassifikationen häufig Bestandteil von komplexen Klassifikation mit mehreren Hierarchieebenen. (HILDEBRANDT, 1996: 541f) Innerhalb der

vorliegenden Arbeit wurde die unüberwachte Klassifikation dazu eingesetzt, die spektral sehr ähnlichen Klassen „Siedlungen mit geringer Verdichtung“, „Siedlungen mit mittlerer Verdichtung“ und die „städtischen Grünflächen“ von einander zutrennen. (vgl. Kap.7.2.3)

Im Gegensatz zur unüberwachten Klassifikationsmethoden hat der Anwender bei überwachten Methoden einen entscheidenden Einfluß auf die Erstellung der Landbedeckungsklassen. Zur Durchführung einer überwachten Klassifikation sind genaue Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet nötig, da die unterschiedlichen Bildelemente den verschiedenen Klassen zugeordnet werden müssen. Eine überwachte Klassifikation setzt sich aus folgenden Arbeitsschritten zusammen:

1. Erstellung eines Klassifikationsschlüssels
2. Auswahl der Trainingsgebiete für alle Klassen
3. Signaturanalyse der Musterklassen
4. Klassifikation des gesamten Bildes
5. Beurteilung der Ergebnisse

Bei der überwachten Klassifikation werden verschiedene Ansätze unterschieden, wie z.B. der Minimum-Distance-, Maximum Likelihood- oder Quader-Klassifikator. Der wesentliche Unterschied besteht in der Zuordnung der Bildelemente zu den verschiedenen Klassen. Diese kann entweder auf Grundlage von geometrischen Maßen oder über die größte Wahrscheinlichkeit anhand einer Verteilungsfunktion erfolgen. (KRAUS, 1990: 543ff, QUIEL, 1986: 27) Das am häufigsten eingesetzte Verfahren ist die Maximum-Likelihood-Klassifizierung. Diese Methode, die zwar einen erhöhten Rechenaufwand erfordert, hat den Vorteil „einer Minimierung des Zuordnungsfehlers auch in den Überschneidungsbereichen des Merkmalsraumes“. (VOGT, 1988: 106) Da der Maximum-Likelihood-Klassifikator auch in dieser Arbeit Anwendung fand, werden seine wesentlichen Merkmale im folgenden kurz charakterisiert. Auf eine genauere Darstellung der anderen Klassifikationsansätze wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Fachliteratur verwiesen. (z. B. HILDEBRANDT 1986: 533FF, LILLESAND & KIEFER 2000: 534FF)

Der Maximum-Likelihood-Klassifikator berechnet die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Bildelement einer bestimmten Klassen angehört, anhand der statistischen Beschreibung einer Stichprobe durch den Mittelwert und die Kovarianzmatrix. Für die Grundgesamtheit werden Mittelwert und Kovarianzmatrix aus der Stichprobe (Trainingsgebiete) geschätzt. Zur Schätzung der Grundgesamtheit wird von einer Normalverteilung der Spektralwerte der jeweiligen Klassen ausgegangen. Wie in Abbildung 9 ersichtlich, werden auf Grundlage der geschätzten Werte Linien gleicher Wahrscheinlichkeit um eine Klasse im Merkmalsraum gebildet. Anhand dieser Linien erfolgt die Zuordnung der Bildelemente zu der Klasse, der sie mit der größten Wahrscheinlichkeit angehören. (CAMPELL,

1996: 338f, HILDEBRAND, 1996: 540, JENSEN. 1996: 229ff, LILLESAND & KIEFER 2000: 541ff, MATHER, 1999: 181, QUIEL, 1986: 27, RICHARDS, 1993: 183, VOGT, 1988: 106)

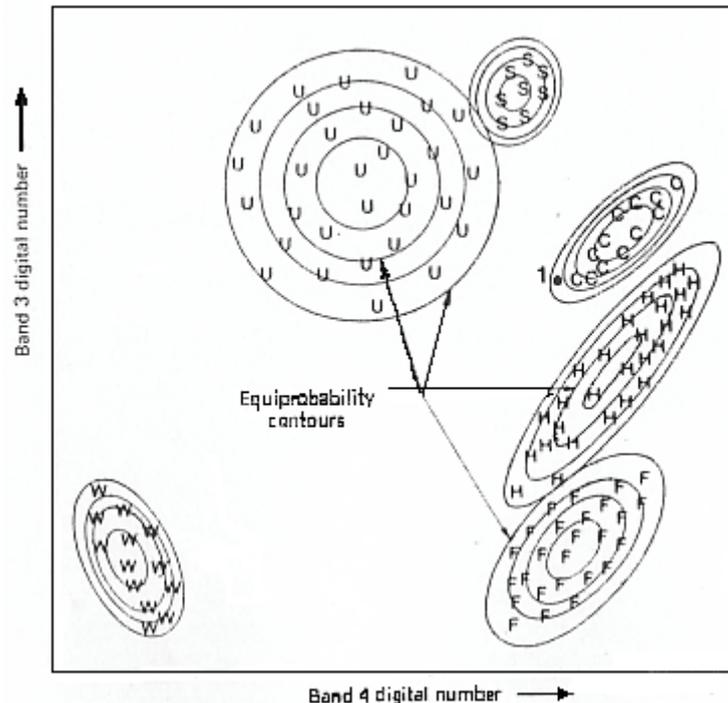


Abbildung 9: Equiprobability contours defined by a maximum-likelihood classifier

Quelle: LILLIENSAND & KIEFER, 2000: 543

## 7.2 Hierarchische Klassifikation der Landsat-TM-Szenen

### 7.2.1 Klassifikationsschlüssel

Der Klassifikationsschlüssel dient der Festlegung der Klassen, die in der Analyse der Landnutzung erfaßt werden sollen. Er stellt somit die Basis für die Umwandlung der Satellitendaten in thematische Informationen dar. Bei der Vergabe der Nomenklatur sollten folgende vier Grundsätze berücksichtigt werden:

- **Räumliche Kohärenz:** Die Nomenklatur muß, um Vergleiche zwischen den jeweils gewonnenen Ergebnissen ziehen zu können, auf unterschiedliche Regionen übertragbar sein..
- **Thematische Kohärenz:** Alle auftretenden Bodenbedeckungen sollten durch die Nomenklatur erfaßt und gleichzeitig Mehrfachbelegungen ausgeschlossen werden.

- **Zeitliche Kohärenz:** Das Ergebnisbild muß den derzeitigen Zustand erfassen und darf keine Übergangsklassen oder frühere bzw. spätere Zustände einbeziehen.
- **Konsistenz in der Gliederung:** Durch einen hierarchischen Aufbau der Nomenklatur wird die Möglichkeit einer späteren Zusammenfassung bzw. Untergliederung entsprechend neuen Fragestellungen, die sich in neuen Zusammenhängen ergeben können, geschaffen. (CESD-COMMUNAUTAIRE 1995: 3 zitiert nach ROßNER, 2000: 40 & SPITZER, 1996: 43)

Die Festlegung des Klassifikationsschlüssels dieser Arbeit erfolgte aufgrund folgender Überlegungen:

- Da der Schwerpunkt der Arbeit auf den Stadtstruktur und ihrer Veränderung zwischen 1992 und 1999 liegt, sollten vor allem Siedlungsflächenerweiterungen und Veränderungen der Grün- und Agrarflächen erfaßt werden.
- Der Klassifikationsschlüssel sollte einen möglichst einfachen Aufbau aufweisen, so daß sowohl die Klassifikation als auch die Interpretation der Landnutzung mit einem hohen Grad an Sicherheit durchgeführt werden kann. Deshalb wurde die Differenzierung der Siedlungsbereiche nur in Form von drei Abstufungen der Verdichtung vorgenommen.
- Da der Prozeß der Suburbanisierung zu Beginn der 1990er Jahre einsetzte, befanden sich einige Bauvorhaben zwischen 1992 und 1999 noch im Bauzustand. Aus diesem Grund wurde die Klasse „Flächen ohne Vegetation“ mit in den Klassifikationsschlüssel aufgenommen. Diese Klasse umfaßt neben den landwirtschaftlichen Brachflächen auch im Bau befindliche Grundstücke. (vgl. Tab. 5)

Der verwendete Klassifikationsschlüssel wurde in Anlehnung an eine bereits bestehende Klassifikation der Stadt Leipzig erstellt (HEINZ, 1999: 48ff), da die dort verwendeten Klassen den oben beschriebenen Anforderungen entsprachen. Auf eine gesonderte Ausweisung der Klasse „Großblockbebauung“ wurde jedoch verzichtet. Der Klassifikationsschlüssel weist einen hierarchischen Aufbau auf. Die Klassifikation basiert auf den Hauptklassen, so daß insgesamt neun verschiedene Landbedeckungsklassen ausgewiesen wurden. Die Begrenzung der Klassifikation auf einige wenige Hauptklassen findet ihre Begründung in dem räumlichen Auflösungsvermögen des TM-Sensors von 30m. Diese läßt eine detailliertere Erfassung von Subklassen nicht zu.

<i>Hauptklasse</i>	<i>Unterklasse 1</i>	<i>Unterklasse 2</i>
<b>1. Wasser</b>	Fließgewässer  stehende Gewässer	Flüsse Bäche Kanäle Teiche Weiher
<b>2. Waldflächen</b>	Naturnahe Wälder Laubholzforste Feldgehölze Lineare Gehölzstrukturen	
<b>3. Sonstige Grünflächen</b>	Wiesen Weiden städtische Grünanlagen	
<b>4. Acker- und Grünland</b>	Ackerflächen unterschiedlicher Anbaupflanzen Grünland Nutzgärten	
<b>5. Flächen ohne Vegetation</b>	Ruderale Kraut- und Staudenfluren Gehölzbestimmte Brachen Innerstädtische (bauliche) Brachflächen	
<b>6. Siedlung mit hoher Verdichtung</b>	Innenstadt (City) Ortskernbereiche Industrieflächen Blockbebauung	
<b>7. Siedlung mit mittlerer Verdichtung</b>	Blockrandbebauung Zeilenbebauung Gemischte Bauflächen	
<b>8. Siedlung mit geringer Verdichtung</b>	Einzelhausbebauung Villen mit parkartigen Gärten Dörfliche Siedlungsstrukturen Bauern- und Gutshöfe	
<b>9. Tagebaugebiete</b>		

Tabelle 5: Klassifikationsschlüssel

Quelle: eigener Entwurf

### 7.2.2 Trainingsgebietsauswahl

Die Auswahl der Trainingsgebiete hat einen entscheidenden Einfluß auf die Qualität der Klassifizierung und sollte folglich mit Sorgfalt durchgeführt werden. Bei der Festlegung der Trainingsgebiete sind nach SCHUMACHER (1991) im wesentlichen vier Kriterien zu beachten:

1. **Homogenität:** Die Trainingsgebiete sollten nur aus Pixel einer Klasse bestehen und bei Anwendung des Maximum-Likelihood-Klassifikators unimodal und normalverteilt sein.
2. **Repräsentativität:** Die Gesamtheit der in den Trainingsgebieten vereinigten Pixel soll die Klassen vollständig repräsentieren. Daher ist eine hinreichend große Anzahl von Trainingsgebieten erforderlich.
3. **Identifizierbarkeit/Trennbarkeit:** Die Daten einer Klasse sollen sich deutlich von anderen Klassen unterscheiden.
4. **Größe:** Die Anzahl der Pixel der Trainingsgebiete muß mindestens der Anzahl der verwendeten Kanäle + 1 entsprechen, damit die Pixel eines Trainingsgebietes im Spektralbereich linear unabhängig sind und keine singulären Kovarianzmatrizen entstehen. (SCHUMACHER, 1991: 39ff VGL. AUCH LILLESAND & KIEFER, 2000: 544ff, VOGT, 1988: 106)

Die Festlegung der Trainingsgebiete erfolgte über das in ERDAS IMAGINE implementierte „Region Growing Seed“ Tool. Dieses bietet dem Anwender die Möglichkeit ein Abstandsmaß festzulegen, mit dem die umliegenden Bildelemente eines ausgewählten Pixels auf ihre spektrale Eigenschaft überprüft werden. Die Verwendung dieses Tools gewährleistet eine möglichst homogene Zusammensetzung der Testgebiete. Deshalb muß von Seiten des Anwenders auf die Erfassung sämtlicher spektraler Variationen einer Landbedeckungsklasse geachtet werden.

Um sicher zu gehen, daß die ausgewählten Testflächen eine hinreichende Größe aufweisen, wurde eine Mindestgröße festgelegt. Über die „Eliminate-Funktion“ von ERDAS IMAGINE konnten die Flächen, die diese Mindestgröße nicht erreichten, eliminiert werden. Um eine realistische Abbildung der Trainingsgebiete zu erlangen, mußten die Mindestgrößen für die einzelnen Klassen gesondert festgelegt werden und konnte nicht für alle Klasse gleich definiert werden. Vor allem für die Klassen „Wald“, „Acker“, „Flächen ohne Vegetation“, „Tagebau“ und „Gewässer“ erwies sich eine Mindestgröße von 500 Pixeln als sinnvoll. Bei dieser Größe der Trainingsgebiete enthielten die Signaturen keine Übergangsklassen, so daß eine bessere Trennbarkeit der Klassen realisiert werden konnte. Aufgrund der kleinräumigen Strukturen der restlichen vier Klassen „sonstige Grünflächen“, „Siedlung mit hoher, mittlerer und geringer Verdichtung“ wurde mit einer kleineren Pixelanzahl von 100 Pixeln ein besseres Ergebnis erzielt. Über die geringere Pixelanzahl innerhalb der Trainingsgebiete dieser vier Klassen, sollte eine detailliertere Zuweisung der Klassen erreicht werden, und so die städtische Struktur so genau wie möglich erfaßt werden. Im weiteren Verlauf der Klassifikation zeigte sich, daß auch mit dieser geringen Pixelanzahl lediglich die Klasse „Siedlungsflächen mit hoher Verdichtung“ eindeutig klassifiziert werden konnte. Die restlichen drei Klassen wiesen so ähnliche spektrale Eigenschaften auf, daß eine Trennung anhand der Trainingsgebiete nur mit einem unbefriedigendem Ergebnis möglich war. Deshalb wurden diese Klasse gesondert einer unüberwachten Klassifikation unterzogen. Die Überprüfung der Ergebnisse anhand von Luftbildern zeigte deutlich bessere Ergebnisse. (vgl. Kap. 7.3) Ähnliche Resultate wurden auch von HEINZ bei einer Klassifikation einer Spot-XS Szene des Stadtbereichs von Leipzig erzielt. (HEINZ 1999: 48ff)

### 7.2.3 Signaturanalyse

Die Signaturen der Trainingsgebiete wurden zunächst in Hinblick auf ihre spektrale Verteilung überprüft. Da eine Maximum-Likelihood-Klassifikation durchgeführt werden sollte, wurde vor allem auf eine Normalverteilung der Spektralwerte geachtet. Ebenfalls wurden die Statistiken der einzelnen Trainingsgebiete untersucht. Die Auswertung basierte auf den Mittelwerten, den Standardabweichungen sowie dem Minimum und Maximum der Grauwerte. Die größte Streuung der Grauwerte war in den Kanälen 3 und 4 gegeben, was auf einen hohen Informationsgehalt dieser

Bänder hinwies. Innerhalb ERDAS IMAGINE besteht die Möglichkeit, die Verteilung der Grauwerte in Form von Signaturdiagrammen darzustellen. Über diese Verteilung kann eine erste Abschätzung vorgenommen werden, inwieweit bestimmte Klassen trennbar sind oder nicht. Anschließend wurden die Signaturen der einzelnen Landnutzungsklassen mit Hilfe der Ellipsendarstellung im Feature Space auf Überschneidungen analysiert. Schlecht gewählte Testgebiete konnten so ermittelt und eliminiert werden. In Abbildung 10 ist exemplarisch die Ellipsendarstellung, mit dreifacher Standardabweichung, für die Klassen „Wald“ und „Gewässer“ sowie für die Klassen „Siedlungen mit mittlerer Verdichtung“ und „Siedlungen mit geringer Verdichtung“ für die Kanäle 3(Rot) und 4 (Nahes Infrarot) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß die beiden Klassen „Wald“ und „Gewässer“ keine Überschneidungen aufweisen, wohingegen die Klassen „Siedlungsflächen mit mittlerer Verdichtung“ und „Siedlungsflächen mit geringer Verdichtung“ deutliche Überschneidungen aufweisen. Darüber hinaus stellt ERDAS IMAGINE unterschiedliche Trennbarkeitsanalysen zur Verfügung, die auf verschiedenen Distanzmaßen beruhen. In dieser Arbeit wurde die Jeffries-Matusita-Distanz gewählt, die zur Berechnung der Trennbarkeit sowohl die Mittelvektoren als auch die Kovarianzmatrix verwendet. (RICHARDS, 1993: 244f) Die Jeffries-Matusita-Distanz weist einen Wertebereich von 0 bis 1414 auf, wobei der Wert 0 eine Untrennbarkeit, der Wert 1414 eine maximale Trennbarkeit der spektralen Signaturen beschreibt. Die Trennbarkeitsmaße sind im Anhang (Kap. 13.1) für alle Klassifikationsstufen dargestellt. Über die Analyse der Überschneidungen im Feature Space und die Trennbarkeitsanalyse wurden die eindeutig trennbaren Klassen ermittelt und ausmaskiert. (vgl. Kap. 7.2.3)

## Darstellung der Trennbarkeit im Feature Space

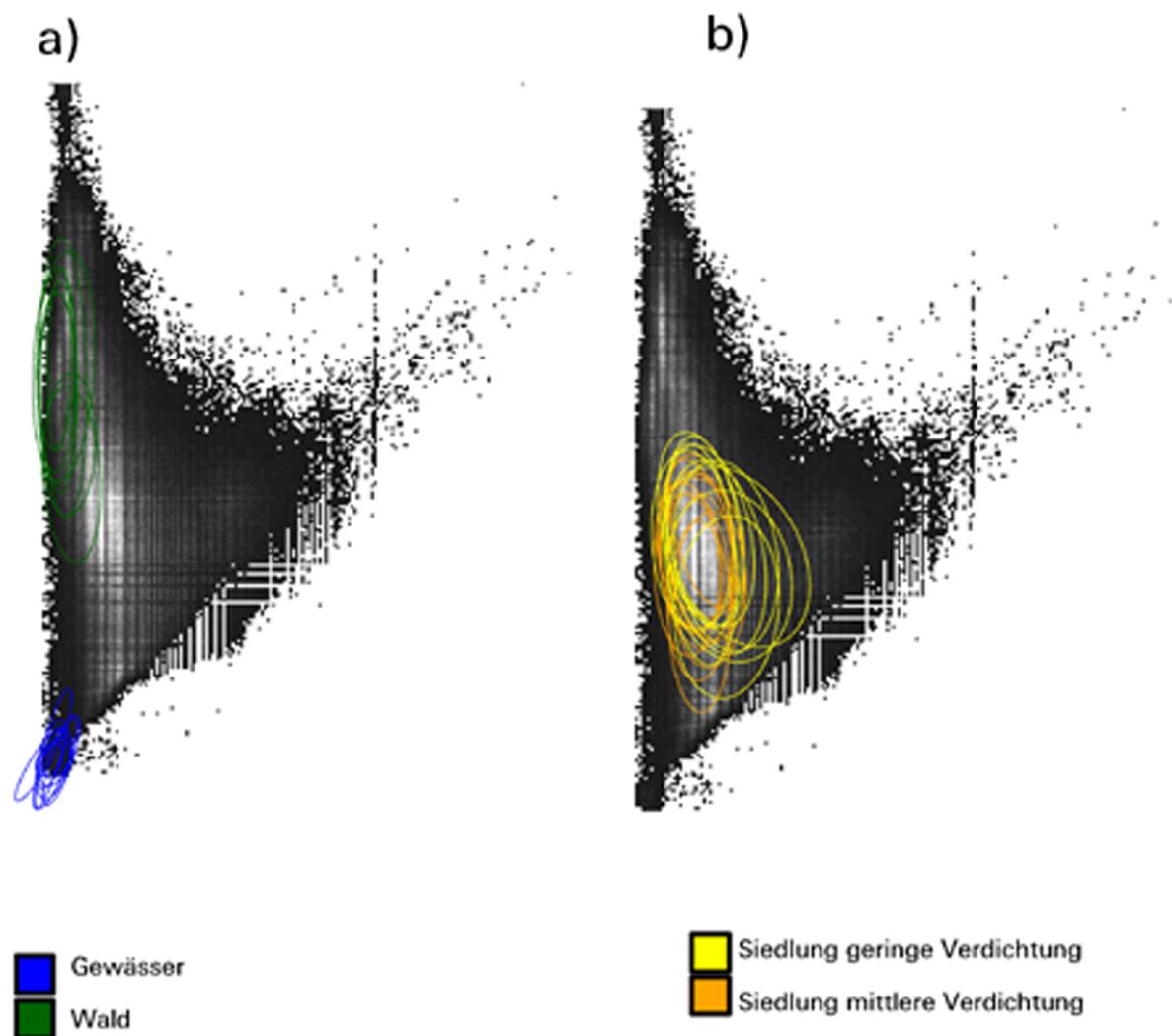


Abbildung 10: Darstellung der Trennbarkeit im Feature Space  
Quelle: eigener Entwurf

#### 7.2.4 Durchführung der hierarchischen Klassifikation

Für die Durchführung der Klassifikation wurde eine hierarchische Vorgehensweise gewählt, da diese bereits von anderen Autoren (VGL. HEINZ, 1996: 11, HEINZ, 1999: 28, LAUSCH, 2000:36) als bestes Klassifikationsverfahren für den Untersuchungsraum ermittelt wurde. Die Zuordnung der Klassen erfolgt bei einer hierarchisch strukturierten Klassifikation nicht in einem Klassifikationsschritt, sondern basiert auf mehreren Einzelentscheidungen. Sie kann deshalb als ein interaktiver und stufenweise ablaufender Prozeß beschrieben werden. (ALBERTZ, 1991:146, HILDEBRANDT 1996: 543ff)

Nach LAUSCH (2000) zeichnen sich die Vorteile dieser Vorgehensweise durch folgende vier Punkte aus:

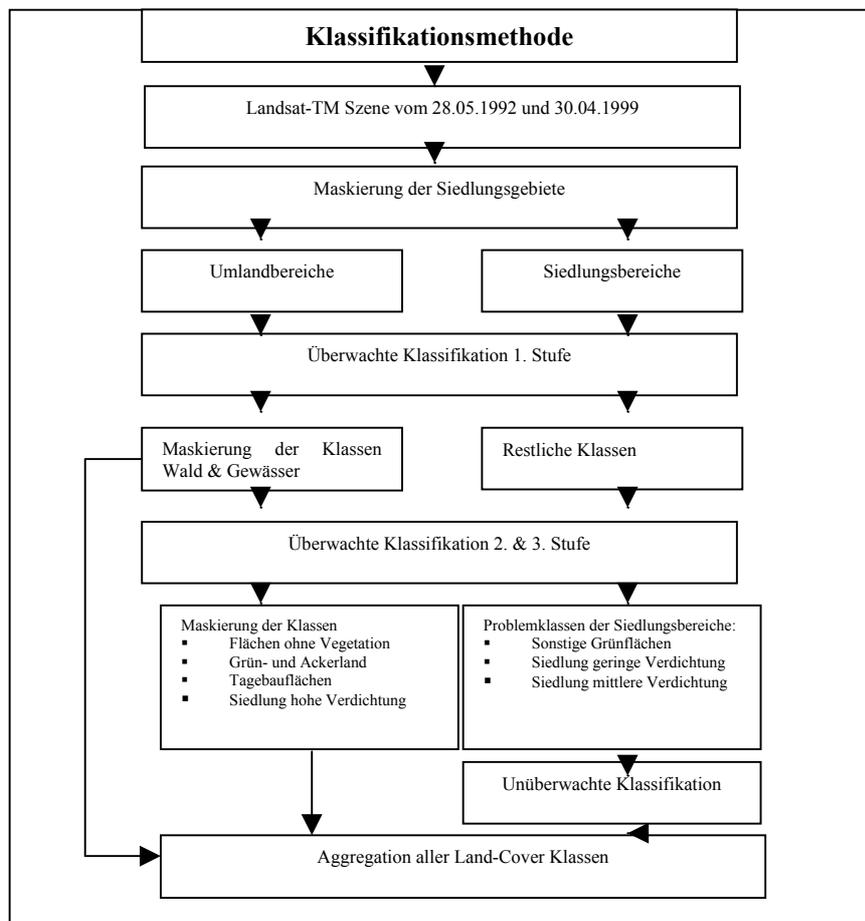
- Das Verfahren ist im Vergleich zu anderen Vorgehensweisen sehr flexibel, da für jede Einzelentscheidung die günstigste Kanalkombination gewählt werden kann.
- Die verbleibenden Grauwerte einer Klasse werden neu aufgespreizt (Stretch), was eine leichtere Differenzierung der Landnutzungsklassen ermöglicht.
- Fehlzuzuweisungen der Klassen können durch Maskierung und erneutes Aufspreizen der restlichen Grauwerte selektiv erkannt werden.
- Die Erfahrung des Anwenders kann bei der Erfassung der Klassen besser eingebracht werden. (LAUSCH, 2000: 37)

Bei der Klassifikation des Untersuchungsgebietes wurden mehrere überwachte und unüberwachte Klassifikationsschritte miteinander verbunden. Da die Siedlungsklassen ähnliche spektrale Eigenschaften wie die Tagebaugebiete aufwiesen, bot es sich an, mit Hilfe einer vektoriellen Abgrenzung die Siedlungsbereiche vom Umland zu trennen und die für die Klassifikation störenden Konkurrenzobjekte getrennt zu klassifizieren. Die vektorielle Maskierung der Siedlungsbereiche erfolgte auf der Grundlage der TM-Szene vom 30.04.1999. Die Bebauungsmaske und die Umlandmaske wurden mit der Vektor-zu-Raster-Transformation erstellt und im Anschluß getrennt von einander klassifiziert. In einem ersten Schritt wurden die Landnutzungsklassen klassifiziert, die sich in ihren spektralen Eigenschaften eindeutig voneinander trennen ließen. So konnten sowohl für die Siedlungs- als auch für die Umlandbereiche die Klassen „Wald“ und „Wasser“ eindeutig von einander getrennt werden. Für die weitere Analyse wurden diese von den restlichen Klassen ausmaskiert, so daß nur die sogenannten Problemklassen in den nächsten Klassifikationsschritt einbezogen wurden.

Aus Anhang 13.1 geht eindeutig hervor, daß die Klassen „sonstige Grünflächen“ und „Siedlungsbereiche mit mittlerer und geringer Verdichtung“ sehr ähnlich spektrale Eigenschaften aufweisen. Infolgedessen konnte eine zufriedenstellende Klassifikation anhand der überwachten Methode

nicht erreicht werden. Aus diesem Grund wurden die drei verbleibenden Klassen einer unüberwachten Klassifikation unterzogen. Hierbei wurden zunächst neun Klassen ausgewiesen. Diese wurden über den Vergleich mit den Referenzdaten zu den drei gewünschten Klassen zusammengefaßt. Nach HEINZ (1999) wird durch diese Vorgehensweise „ein Maximum an Information unterschiedlicher, für das Erkennen von Urbanisierungsprozessen relevanter Oberflächenbedeckungen bei der Klassifikation aus den Rohdaten extrahiert“. (HEINZ, 1999: 28)

Zusammenfassend ist die Methodik der Klassifikation noch einmal in Abbildung 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Klassifikationsmethode**

Quelle: eigener Entwurf

### 7.2.5 Überprüfung und Beurteilung der Klassifikationsergebnisse

Der Klassifikation folgte eine Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit. Zur Bestimmung der Güte der Gesamtklassifikation werden im allgemeinen stichprobenartige Überprüfungen vorgenommen, wobei man generell zwischen zwei Methoden unterscheidet. Die erste Verfahren beruht

auf der richtigen Zuweisung der Trainingsgebiete zu den verschiedenen Landbedeckungsklassen. Aus dieser Vorgehensweise resultiert jedoch eine unrealistisch hohe Genauigkeit. In der vorliegenden Arbeit wurde die zweite Methode angewandt, welche die Klassifikationsgenauigkeit mit Hilfe von Zufallspunkten beurteilt. (CAMPELL, 1996: 375ff, HILDEBRANDT, 1996: 553ff, LILLESAND & KIEFER, 2000: 568ff)

Im Programm ERDAS IMAGINE stehen zur Festlegung der Zufallspunkte drei Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen können die Punkte zufällig, d.h. ohne Anwendung einer Regel ermittelt werden. Bei der zweiten Zuordnung entspricht die Anzahl der Zufallspunkte dem jeweiligen Flächenanteil der unterschiedlichen Klassen, und bei der letzten Möglichkeit erhält jede Klasse die gleiche Anzahl an Zufallspunkten. Für die Beurteilung der Klassifikationsergebnisse wurde, um eine rein zufällige Verteilung der Punkte zu erzielen die erstgenannte Möglichkeit gewählt. Für beide Klassifikationen wurden 152 Punkte gesetzt, deren wirkliche Nutzung dann anhand von topographischen Karten, Luftbildern und den Biotoptypenkartierungen der beiden Bundesländern Sachsen und Sachsen-Anhalt überprüft wurden. Das Ergebnis kann im Anschluß in Form einer Error-Matrix dargestellt werden. (vgl. Anhang (Kap. 13.3))

Über die ermittelte Error-Matrix kann ein „*Accuracy-Report*“ mit Hersteller- und Nutzergenauigkeit abgeleitet werden. Die Herstellergenauigkeit gibt das Verhältnis der Anzahl der zwischen Referenzdaten und Klassifikation übereinstimmenden Punkten einer Klasse zur Gesamtanzahl der für diese Klasse gesetzten Punkte an. Im Gegensatz hierzu berechnet sich die Nutzergenauigkeit aus dem Verhältnis der Anzahl der richtig klassifizierten Punkte zur Spaltensumme, d.h. der Gesamtanzahl der Referenzdaten dieser Klasse. Die Nutzergenauigkeit spielt für den Anwender eine größere Rolle, da sie anzeigt zu welchem Prozentsatz die einzelnen Klassen richtig klassifiziert wurden. Ebenso gibt die Nutzergenauigkeit die Prozentzahl der falsch zugewiesenen Klassen an. Schließlich ergibt sich die Gesamtgenauigkeit der Klassifikation aus dem Verhältnis der korrekt klassifizierten Punkte zur Gesamtanzahl der gesetzten Punkte. (LILLESAND & KIEFER, 2000: 569, VOGT, 1990: 112)

Wie in Tabelle 6 ersichtlich, wurde bei beiden Klassifikationen eine gute bis sehr gute Genauigkeit erzielt. Betrachtet man die Nutzergenauigkeit, so fällt auf, daß es vor allem bei der Klasse „sonstige Grünflächen“ zu Fehlzuweisungen gekommen ist. Bezieht man die Error-Matrix zusätzlich in die Analyse mit ein, so zeigt sich, daß Grünflächen häufig als Ackerflächen klassifiziert wurden. Die Ursache für diese Fehlzuweisungen liegt in ähnlichen Spektraleigenschaften der beiden Vegetationsklassen. Diese ist vor allem durch den Aufnahmezeitpunkt Ende April / Anfang Mai zu erklären. Zu dieser Jahreszeit weisen die landwirtschaftlichen Flächen bereits einen hohen Grünanteil auf. Auch bestehen einige Fehlzuweisungen zwischen den Klassen „Siedlungsbereiche mit geringer

Verdichtung“ und „Siedlungsbereiche mit mittlerer Verdichtung“, die auch durch die Durchführung der unüberwachten Klassifikation nicht vollständig behoben werden konnten.

<b>Klasse</b>	<b>Klassifikation 1992: Herstellergenauigkeit In %</b>	<b>Klassifikation 1992: Nutzergenauigkeit in %</b>	<b>Klassifikation 1999: Herstellergenauigkeit in %</b>	<b>Klassifikation 1999: Nutzergenauigkeit in %</b>
Wald	88,88	88,88	100,00	80,00
Gewässer	/	/	100,00	100,00
Tagebau	100,00	100,00	100,00	80,00
Grün- und Ackerland	97,4%	87,50	85,06	86,20
Flächen ohne Vegetation	78,57	85,71	96,15	96,30
Sonstige Grünflächen	52,38	61,90	71,43	43,75
Siedlungen mit hoher Verdichtung	100,00	100,00	100,00	100,00
Siedlung mit mittlerer Verdichtung	87,50	100,00	75,00	91,66
Siedlung mit geringer Verdichtung	88,88	100,00	71,43	87,50
<b>Gesamtgenauigkeit</b>	<b>88,16%</b>		<b>86,18%</b>	

**Tabelle 6: Klassifikationsgenauigkeit der Landsat-TM Szenen vom 28.05.1992 und 30.4.1999**

Quelle: eigener Entwurf

## 7.2.6 Interpretation der Klassifikationsergebnisse

Eine erste visuelle Betrachtung der Klassifikationsergebnisse zeigt eine sternförmige Ausbreitung der Städte Halle und Leipzig. (vgl. Karte 1 und 2, Kap. 13.2) Die innerhalb der Städte differenzierten Bereiche unterschiedlicher Verdichtung lassen einen von den Zentren ausgehenden Verdichtungs- bzw. Nutzungsgradienten erkennen. Während sich die „Flächen mit hoher Verdichtung“ in erster Linie innerhalb der Innenstädte von Halle und Leipzig befinden, dominieren im Umland landwirtschaftliche Flächen. Ein visueller Vergleich zwischen den beiden Klassifikationen zeigt, daß zwischen 1992 und 1999 die Klasse „Siedlungen mit hoher Verdichtung“ zugenommen hat. Ebenfalls haben sich im Umland die „Siedlungsbereiche mit mittlerer und geringer Verdichtung“, aufgrund der Suburbanisierungsprozessen, ausgeweitet. Vor allem fällt die Entwicklungsachse zwischen Halle und Leipzig deutlich ins Auge. Der rein visuelle Vergleich der beiden Klassifikationen läßt eine Abnahme der Grünflächen vermuten, die aus der zunehmenden Bebauung resultiert.

## 8 Berechnung der Landschaftsstrukturmaße

### 8.1 *Einflußfaktoren der Erfassung und Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen*

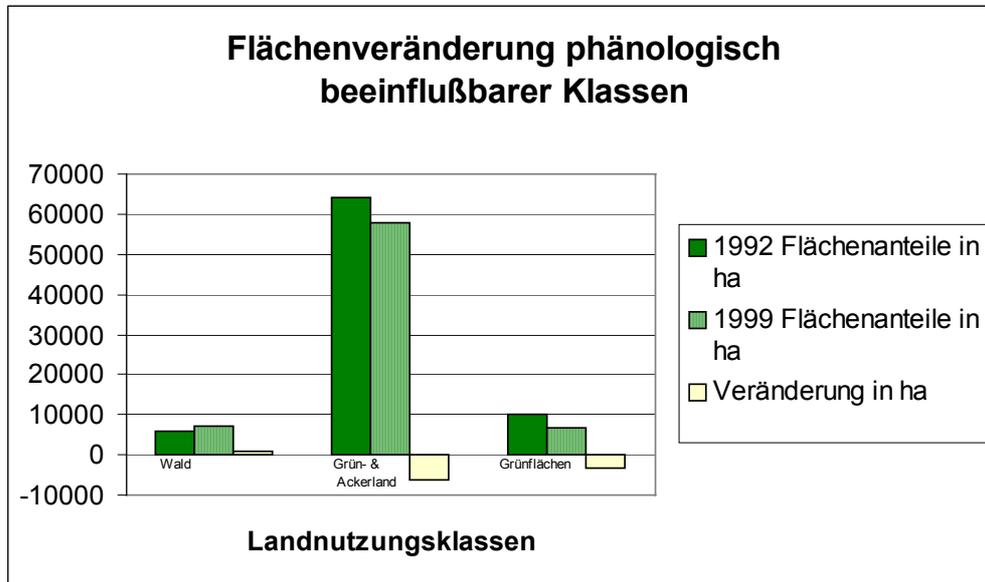
Der Einsatz von LSM zur quantitativen Erfassung der Landschaftsstruktur wird von verschiedenen Faktoren eingeschränkt. LSM reagieren beispielsweise in hohem Maße sensitiv gegenüber der Qualität der Ausgangsdaten. (ANTROP & VAN EETVEDE, 2000: 43) Eine ungenaue Erfassung der Landoberfläche führt zu einer fehlerhaften Bewertung der Landschaftsstruktur. Infolgedessen ist die Genauigkeit der klassifizierten Daten für die Güte der LSM von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund wurde vor der Berechnung der verschiedenen LSM geprüft, ob die Realität durch die Klassifikation der Fernerkundungsdaten in sinnvoller Weise abgebildet wird.

#### 8.1.1 Abschätzung des Einflusses der Phänologie auf die Veränderung der Flächennutzung

Obwohl beide Satellitenbilder an ähnlichen Aufnahmezeitpunkte entstanden sind, kann ein Einfluß der Phänologie auf die Veränderung der Landbedeckung nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wurde, trotz der guten Ergebnisse bei der Validierung der Klassifikationsergebnisse, kontrolliert, inwieweit die Phänologie einen Einfluß auf die Veränderungen der einzelnen Land-Cover-Klassen ausübt.

In einem ersten Schritt wurde geprüft, welche der neun Land-Cover-Klassen durch phänologische Veränderungen im Jahresablauf betroffen sein können. Dies sind vor allem die Klassen „Wald“, „sonstige Grünflächen“ und „Grün- und Ackerflächen“. Deshalb wurden diese drei Klassen einer genaueren Analyse unterzogen. Zu diesem Zweck wurde aus den beiden thematischen Datensätzen von 1992 und 1999 ein Matrixbild berechnet. (vgl. Anhang, Kap.13.4) Diese Methode hat im Gegensatz zu anderen „Change-Detection-Methoden“, wie Addition oder Subtraktion, den Vorteil, daß genau nachvollzogen werden kann, welche Klasse welche Art von Nutzungsänderung erfahren hat. Hierzu werden alle klassifizierten Bildelemente auf Veränderungen untersucht und die Häufigkeit für jede mögliche Kombination der Klassennutzungsänderung angezeigt. Darüber hinaus erfolgt auch eine Ausweisung der Bildelemente, die über den betrachteten Zeitraum der gleichen Klassen angehörten. (JENSEN, 1996: 269f)

Aus Abbildung 12 geht hervor, daß die Klassen „Grün- und Ackerflächen“ und „sonstige Grünflächen“ zwischen 1992 und 1999 einen Flächenrückgang verzeichnen, während sich die Anteile der Waldflächen innerhalb des Untersuchungsgebiets erhöht haben.



**Abbildung 12: Flächenveränderung phänologisch beeinflussbarer Klassen**

Quelle: eigener Entwurf

Die Werte der Veränderungsmatrix zeigen, daß sich die Waldanteile in erster Linie auf Kosten der Grün- und Ackerflächen und der Brachflächen erhöht haben. Im Gegensatz hierzu, haben die Grün- und Ackerflächen zugunsten der Klassen „Wald“, „Brache“, „sonstige Grünflächen“ und der „Siedlungsbereiche mit geringer und mittlerer Verdichtung“ im Betrachtungszeitraum eine Reduzierung erfahren. Schließlich geht die Verringerungen der Flächenanteile der Klasse „sonstige Grünflächen“ in erster Linie auf die Ausweitung der Siedlungsbereiche zurück. (vgl. Anhang; Kap. 13. 5)

Die Einschätzung, ob diese Veränderungen nur durch eine veränderte Phänologie hervorgerufen wurden, oder ob es sich um tatsächliche Landnutzungsänderungen handelt, erfolgte mit Hilfe der amtlichen Statistiken der Städte Leipzig und Halle sowie der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß auch die Zahlen der amtlichen Statistik nicht in der Lage sind, die Realität mit absolutem Wahrheitsgehalt abzubilden. Weiterhin sei darauf verwiesen, daß sich das Untersuchungsgebiet über die Landesgrenze der Länder Sachsens und Sachsen-Anhalts erstreckt und sich nicht an administrativen Einheiten orientiert. Für das Untersuchungsgebiet stehen aus diesem Grund keine absoluten Werte der Flächennutzung und -veränderung zur Verfügung. Daher wurden die Veränderungen, wie sie sich im Matrixbild darstellen, rein deskriptiv mit den

Veränderungen der amtlichen Statistik verglichen, um festzustellen, ob sich ähnliche Tendenzen aufzeigen lassen, oder ob die Veränderungen der Vegetationsklassen in erster Linie durch die Phänologie hervorgerufen wurden.

Für die Klasse „Wald“ zeigen die amtlichen Statistiken sowohl für die beiden Stadtgebiete als auch auf Landesebene eine eindeutig Zunahme der Flächenanteile (vgl. Kap. 13.5). Die Stadt Leipzig z.B. ist, aufgrund der geringen Ausstattung mit Wald- und Grünflächen, seit der Auflösung des Staatlichen Fortwirtschaftsbetriebes Grimma am 31.12.1990 und der Übernahme des Waldes durch die Stadtforstverwaltung am 01.03.1991 bemüht, den Wald kontinuierlich durch Aufforstungen zu erweitern. So wurde in den Umweltqualitätszielen der Stadt Leipzig festgelegt, den Waldanteil von 8% der gesamten Fläche des Stadtgebietes (1991) auf mindestens 10% zu erweitern. Da im dicht besiedelten Stadtgebiet von Leipzig nur geringe Möglichkeiten zur Ausweitung der Waldfläche bestehen, fanden die Ausweitungen in erster Linie am Stadtrand auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen statt. (WWW.LEIPZIG.DE)

Die berechnete Veränderungsmatrix weist, trotz der gesamten Erhöhung der Waldfläche, auf einen relativen Rückgang der Waldflächen zugunsten der Klasse „sonstigen Grünflächen“ hin. Da dieser Rückgang mit der amtlichen Statistik nicht belegt werden konnte, wurden zusätzlich Echtfarben-Luftbilder vom 26.06.1992 (Maßstab 1:25000) und CIR-Luftbilder vom 12.08.1997 (Maßstab 1:5000) herangezogen. Über die Analyse der Bilder konnte der Rückgang der Waldflächen zugunsten der Klasse „sonstige Grünflächen“ jedoch nicht bestätigt werden. Aus diesem Grund muß davon ausgegangen werden, daß die Modifikationen durch eine veränderte Phänologie hervorgerufen wurden.

Für die Klasse „Grün- und Ackerflächen“ wurde über die Berechnung des Matrixbildes ein Flächenrückgang festgestellt, der über die Analyse der verschiedenen Statistiken bestätigt werden konnte. (vgl. Kap. 13.5) Die Ursachen für den Rückgang der agrarisch genutzten Flächen müssen in der Neugestaltung der Landwirtschaft in den neuen Bundesländern gesehen werden. Durch die Wiedervereinigung änderte sich die Situation im agrarischen Bereich schlagartig. Da vertragliche Verpflichtungen zwischen den Produzenten und der verarbeitenden Industrie nicht mehr eingehalten wurden und zusätzlich westdeutsche Handelsvertreter auf den Markt drängten, waren landwirtschaftliche Produkte im Überfluß vorhanden. Aus diesem Grund wurde 1990 mit einem Volkskammerbeschluß die staatlich geförderte Flächenstilllegung von Ackerflächen beschlossen. Wie in den übrigen EG-Ländern, sollte auch in der ehemaligen DDR auf diesem Wege die Überproduktion eingedämmt werden. Außerdem sollte ein Beitrag zum Umwelt- und Naturschutz geleistet werden, indem die Flächenstilllegungsprogramme mit einer Aufforstungsprämie ergänzt wurden. (ECKART, 1998: 378ff, WAGNER, 1995: 472ff) Infolgedessen kann der Rückgang des Flächenanteils der Klas

se „Grün- und Ackerflächen“ zum einem mit den Flächenstillegungen erklärt werden. Diese Tatsache spiegelt sich neben der Flächenausdehnung der Landnutzungs Klasse „Wald“ auch in der Zunahme der Brachflächen wieder. Zum anderen ist der Rückgang der landwirtschaftlichen Flächen in der, seit Anfang der 1990er Jahre einsetzenden Suburbanisierung im Großraumes Leipzig/Halle zu sehen. In über 90% der Fällen wurden die Bauvorhaben auf ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen geplant und umgesetzt. (BANSE, SCHMIDT & WIRTH, 1993: 22)

Vergleicht man die Flächenänderung der Klasse „sonstige Grünflächen“ mit den Daten aus der amtlichen Statistik der Stadt Leipzig, so fällt auch hier ein übereinstimmender Trend auf. Der Rückgang der Grünflächen kann in erster Linie mit der zunehmenden Suburbanisierung erklärt werden. In Karte 3 (Kap. 13.4) ist deutlich zu erkennen, daß ein großer Teil der ehemaligen Grünflächen z.B. im unmittelbaren Umland von Leipzig auf Kosten von Bebauungsmaßnahmen verschwunden ist. Der Flächenverbrauch ist zudem als sehr hoch einzustufen, da im Umland der Städte Halle und Leipzig vor allem eine Bebauung mit Ein- und Zweifamilienhäusern sowie mit großflächigen Gewerbebetrieben stattfand. Allein im Umland der Stadt Leipzig betrug der zusätzliche Flächenverbrauch durch den Prozeß der Suburbanisierung bis zum Jahre 1995 bereits 16 000ha. (BREUSTE, 1995A: 180) (s. auch Kap.5)

Trotz des absoluten Rückgangs der Grünflächenanteile, weisen diese einen relativen Gewinn auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen auf. In Karte 4 (Kap.13.4) tritt diese Zunahme in erster Linie entlang der B181 zwischen Leipzig und Merseburg in Erscheinung. Da auch dieser Trend nicht anhand der amtlichen Statistik bestätigt werden konnte, wurden zur Überprüfung zusätzlich Luftbilder analysiert. Der Vergleich der Luftbilder zeigt, daß im Zeitraum zwischen 1992 und 1997 entlang der B181 landwirtschaftliche Flächen aufgegeben wurden. Entlang dieser Achse entstanden neben dem großflächigen Einzelhandel auch eine Vielzahl an Ein- bis Zweifamilienhäuser mit Gärten, was die erhöhten Flächenanteile der Klasse „sonstige Grünflächen“ erklärt. Darüber hinaus haben Projekte des „Grünen Ringes Leipzig“ dazu beigetragen, daß sich der Grünanteil innerhalb dieses Gebietes erhöht hat. Ein Projekt beschäftigt sich z.B. mit der Umwandlung von ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen in Grünflächen im westlichen Umland von Leipzig. Ziel ist es, einzelne Grünflächen miteinander zu vernetzen und das Erholungspotential dieses Raumes zu erhöhen. (GRÜNER RING, 1998: 14ff, STADT LEIPZIG, 1996: 26ff)

Insgesamt zeigt die Analyse der Flächenveränderungen und der Vergleich mit den amtlichen Statistiken und den Luftbildern, daß die Veränderungen der Vegetationsklassen vorwiegend nur durch geringe phänologische Veränderungen innerhalb des Jahresablaufes bestimmt sind. Eine Ausnahme stellen die rückläufigen Flächenanteile der Klasse „Wald“ zugunsten der Klasse „sonstige Grünflächen“ dar. Da der Rückgang weder anhand der amtlichen Statistik noch mit Hilfe der Analyse der

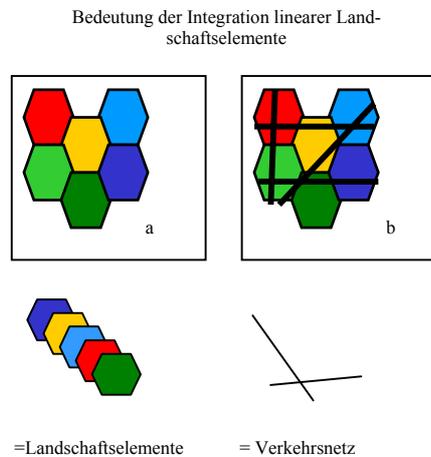
Luftbilder belegt werden kann, liegt die Annahme nahe, daß es sich nicht um Umwidmungen der Waldflächen handelt.

### 8.1.2 Bedeutung der Integration linearer Elemente

Eine weitere Ungenauigkeit bei der Klassifikation der Landsat TM-Daten wird durch die geometrische Auflösung der multispektralen Landsat-TM Daten von 30m hervorgerufen. Vor allem kleine sowie lineare Landschaftselemente liegen nur in Form von Mischpixeln vor. Infolgedessen können Landschaftselemente, wie z.B. Autobahnen, zwar visuell wahrgenommen werden, eine digitale Erfassung ist jedoch unmöglich. Nach HABERÄCKER (1987) müssen Landschaftselemente zur eindeutigen, digitalen Erfassung eine Mindestausdehnung vom Doppelten der Länge der Diagonalen eines Pixels aufweisen. (HABERÄCKER, 1987, ZITIERT AUS LAUSCH & MENZ, 1999: 191) Da die multispektralen Landsat-TM-Daten eine Rasterzellgröße von 30 Metern aufweisen, beträgt die Mindestgröße zur digitalen Erfassung 84 Meter. Ferner wird von WELCH (1982) zur digitalen Erfassung urbaner Strukturen eine Auflösung kleiner 10m gefordert. (WELCH, 1982: 146) (vgl. 3.1.2)

Lineare Landschaftselemente, wie z.B. das Verkehrsnetz, stellen jedoch wichtige Daten zur Analyse des Fragmentierungsgrades der Landoberfläche dar. (FISCHBACHER, 1995: 5) Darüber hinaus haben LAUSCH & MENZ (1999) am Beispiel des Shape Indizes dargestellt, daß die Integration von Straßendaten in die klassifizierten Ausgangsdaten von entscheidender Relevanz ist. So wies der Wert dieses Indizes ohne die Integration des Verkehrsnetzes ungewöhnlich hohe Werte auf, weil eine Aggregation von Landschaftselementen der gleichen Klasse erfolgte. Durch die Verschneidung der klassifizierten Bilder mit zusätzlichen Straßendaten wurde die Voraussetzung geschaffen, die Zerschneidung einzelner Patches anhand von Strukturmaßen zu erfassen. (LAUSCH & MENZ, 1999: 190f, LAUSCH, 2000: 60ff)

Die Bedeutung der Integration linearer Elemente ist in Abbildung 13 schematisch dargestellt. In Abbildung 13a sind einige Landschaftselemente noch zu größeren Patches aggregiert, wohingegen die Verschneidung der Straßendaten zu einer stärkeren Fragmentierung dieser Patches führt (Abbildung 13b).



**Abbildung 13: Bedeutung der Integration linearer Elemente**

Quelle: eigener Entwurf

In der vorliegenden Arbeit erfolgte ebenfalls die Einbindung der Landbedeckungsklasse „Straßen“. Hierzu wurde aus den Biotoptypenkartierungen der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Sachsen das Verkehrsnetz selektiert und auf eine Rasterzellgröße von 25 Metern transformiert. Im Anschluß wurden der gewonnene Datensatz mit Straßenkarten des ADAC-Stadtatlas von 1997 (s. Kap. 4) verglichen und durch den Rasterprozeß entstandene Fehler behoben. Abschließend wurde der Datensatz den klassifizierten Bilddaten überlagert. Da die Biotoptypenkartierungen Anfang der 1990er Jahre durchgeführt wurden, muß berücksichtigt werden, daß über die Integration dieser Daten, keine strukturellen Veränderungen des Verkehrsnetzes berücksichtigt werden können. Insgesamt erweist sich die Integration des Verkehrsnetzes jedoch positiv auf die Berechnung der LSM aus, da eine realistischere Abbildung der Landoberfläche erreicht wird.

## 8.2 Ausgewählte Landschaftsstrukturmaße zur Quantifizierung der Stadtstruktur

Das Programm FRAGSTATS, das zur Berechnung der LSM genutzt wurde, berechnet auf den drei Ebenen Patch, Klasse und Landschaft eine Vielzahl verschiedener LSM. In einem ersten Schritt mußte daher eine Auswahl aus den zur Verfügung stehenden Strukturmaßen getroffen werden. Diese müssen zum einem sensibel genug sein, um unterschiedliche urbane Strukturen sowie Veränderungen dieser Strukturen im Zeitverlauf zu erfassen. Zum anderen sollten die Maße robust sein, damit sie nicht durch geringe Schwankungen verändert werden. Da in Hinblick auf die Anwendbarkeit dieser Methode innerhalb der Stadtplanung ein einfach zu handhabender Satz an Indi

zes benötigt wird, sollte die Erfassung der urbanen Struktur mittels einer überschaubaren Menge an Strukturmaßen erfolgen. (s. 6.3, 6.4.1 und 6.4.2)

Da einige LSM redundante Informationen enthalten, wird in einigen Arbeiten die Unabhängigkeit der LSM untereinander gefordert. (O'NEILL ET AL., 1988, 158ff, O'NEILL ET AL., 1996: 171, RITTERS ET AL., 1995: 24) Für die Entwicklung neuer Strukturmaßen scheint diese Forderung sinnvoll, da das breite Angebot an LSM nicht unnötig durch Redundanz überfrachtet wird, denn es existieren heute bereits mehrere Indizes, die zu ähnlichen Aussagen führen. Aber bei der Auswahl eines Sets an Strukturmaßen, anhand derer verschiedene urbane Landnutzungsstrukturen sowie Veränderungen dieser Strukturen erfaßt werden sollen, ist die Unabhängigkeit der einzelnen Maße nicht zwingend erforderlich, denn *„eine gewisse Redundanz kann zur gegenseitigen Überprüfung der LSM und zur Stabilisierung der Ergebnisse als hilfreich angesehen werden.“* (ROBNER, 2000: 64)

Nach ersten Prüfungen wurden aus den zur Verfügung stehenden LSM elf ausgewählt. Diese beziehen sich sowohl auf die Fläche, die Größe, die Form und die Kanten der einzelnen Patches als auch auf die Distanzen zwischen benachbarten Patches und ihre Verteilung über die Fläche, so daß die wesentlichen Merkmale der urbanen Landschaftsmuster erfaßt werden.

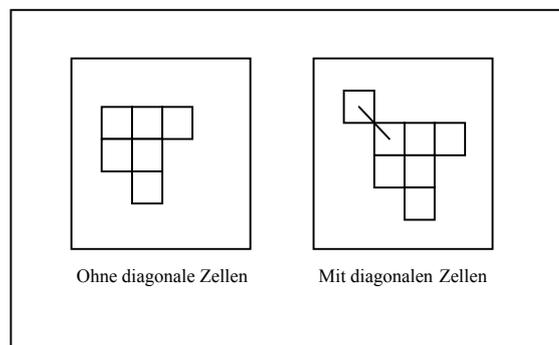
Die Berechnung der verschiedenen LSM erfolgt für die Klassen- und Landschaftsebene. Die Indizes der Klassen- und Landschaftsebene ergeben sich in der Regel durch Summieren oder Mittelwertbildung aller Patches bzw. Klassen. Während die Klassenindizes das räumliche Muster von unterschiedlichen Klassen einer Landschaft erfassen, stellen die Landschaftsindizes das räumliche Muster ganzer Landschaften dar. (vgl. Kap. 3.2)

Vor der Berechnung der einzelnen Strukturmaße obliegt es dem Bearbeiter im Eingabemenü folgende Parameter einzustellen:

- Hintergrundwert: Jede Abbildung kann einen Hintergrundwert enthalten, der in Form der Landschaftsgrenze den Umfang der gesamten Landschaft definiert. Bei der Berechnung der Strukturmaße kann dieser Hintergrundwert ignoriert werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Klasse 0 als Hintergrund angegeben. Diese Klasse umgrenzt das Untersuchungsgebiet in Form eines schwarzen Randstreifens und darf infolgedessen nicht in die Berechnung integriert werden.
- Festlegen einer Matrix: Es besteht die Möglichkeit eine Matrix zu bestimmen, die ebenfalls nicht in die Berechnung einbezogen wird. Die Definition einer Matrix empfiehlt sich vor allem dann, wenn innerhalb der betrachteten Landschaft eine Klasse dominiert und sich somit die restlichen Klassen aufgrund ihrer geringen Größe in den Werten der LSM kaum niederschla

gen. Durch die Festlegung einer Matrix werden die restlichen Klassen stärker gewichtet. Da sich das Untersuchungsgebiet durch eine sehr heterogene Struktur kennzeichnen läßt, wurde von der Festlegung einer Matrix abgesehen.

- Bestimmung der maximal möglichen Klassenanzahl: Die maximal mögliche Anzahl wurde auf die Klassenanzahl der durchgeführten Klassifikationen der Landsat TM Daten abgestimmt. Durch die Integration der Klasse „Straßen“ werden zehn Klassen betrachtet.
- Festlegung der Patches: Wie bereits beschrieben, wird unter einem Patch oder Landschaftselement die Aggregation von Pixeln mit der selben Flächennutzung verstanden. (vgl. Kap.3.2.1) Wie in Abbildung 14 ersichtlich, kann über das Eingabemenü bestimmt werden, ob zur Definition der Patches neben den vertikal und horizontal benachbarten Zellen auch die diagonal angrenzenden Zellen einbezogen werden sollen. In der vorliegenden Arbeit wurden zur Ermittlung der Patches auch die diagonal angrenzenden Zellen mit berücksichtigt.



**Abbildung 14: Definition der Patches**

Quelle: verändert nach EHRIG, 1998: 38

- Kernflächen: Für die ökologische Untersuchung von Landschaften zur Habitateignung bietet es sich an, bestimmte Kernflächen zu bestimmen. Hierzu ist die Festlegung einer Pufferbreite notwendig. Da in dieser Arbeit keine Spezies untersucht wurden, wurde die Angabe zur Pufferbreite unterlassen.
- Gewichtung von Kantenkontraste: Ebenfalls wurde auf die Gewichtung von Kantenkontrasten verzichtet. Der Einsatz von Kantenkontrasten erfährt vor allem bei ökologischen Fragestellungen eine große Bedeutung, da über sie Aussagen über den Kantenkontrast zwei benachbarter Klassen berechnet werden können und somit Aussagen über Kontakt- oder Barrierewirkungen der Kanten für bestimmte Organismen abgeleitet werden können.
- Suchradius: Der Vollständigkeit halber sei noch auf die mögliche Einstellung eines Suchradius hingewiesen. Dieser eignet sich ebenfalls für ökologische Fragestellungen, wie z.B. für Untersuchungen zum Aktionsradius bestimmter Tierarten.

Im folgenden werden die verschiedenen Landschaftsstrukturmaß anhand ihrer mathematischen Definitionen charakterisiert. Die Bedeutung der verwendeten Symbole kann der Tabelle 7 entnommen werden.

A =	Gesamtfläche der Landschaft
i =	1, . . . , m oder m' Patchtypen (Klassen)
j =	1, . . . , n Patchtyp
k =	1, . . . ,m oder m' Patchtypen (Klassen)
p <sub>i</sub> =	Anteil von einem Patchtyp i (Klasse) an der Landschaft
a <sub>ij</sub> =	Fläche eines Patches ij in Quadratmetern
p <sub>ij</sub> =	Umfang eines Patches in Metern
e <sub>ik</sub> =	Gesamtlänge der Kanten in der Landschaft zwischen Patchtypen (Klassen) i und k in Metern
g <sub>ik</sub> =	Anzahl der Nachbarschaften zwischen Bildelementen von Patchtypen (Klassen) i und k
h <sub>ij</sub> =	Entfernung vom Patch ij zum nächsten benachbarten Patch vom gleichen Patchtyp (Klasse), basierend auf Kante-zu-Kante-Entfernung, in Metern
n = n <sub>i</sub> =	Anzahl der Patches Patches in der Landschaft von Patchtyp (Klasse) i
m =	Anzahl der in der Landschaft vorhandenen Patchtypen (Klassen); ausgeschlossen wird, falls vorhanden, die äußere Landschaftsgrenze
m' =	Anzahl der in der Landschaft vorhandenen Patchtypen (Klassen); eingeschlossen wird, falls vorhanden, die äußere Landschaftsgrenze
N =	Gesamtzahl der Patches in der Landschaft, ohne Hintergrund-Patches
N' =	Gesamtzahl der Patches in der Landschaft, die ein Nachbar-Patch vom gleichen Typ haben
E =	Gesamtlänge der Kanten in der Landschaft

**Tabelle 7: Symbole der Berechnungsformeln der verwendeten Landschaftsstrukturmaße**

Quelle: eigener Entwurf

### 8.2.1 Flächenmaße

Die „*Fläche ist das naheliegenste und zugleich bedeutenste Maß der Landschaftselemente.*“ (BLASCHKE, 1999: 14) Über die Flächenmaße können Aussagen über die Zusammensetzung der Landschaft abgeleitet werden. Das einfachste Strukturmaß stellt die Class Area (CA) dar. Über dieses Maß werden die unterschiedlichen Flächen der Patches der verschiedenen Landnutzungs-klassen berechnet. Die Angabe dieses Indizes erfolgt in Hektar. Da anhand dieser Werte jedoch keine unterschiedlich großen Untersuchungsgebiet mit einander verglichen werden können, wurde anstatt CA der prozentuale Flächenanteil (%LAND) ausgewählt und berechnet. Da dieser Index Auskunft über den prozentualen Anteil der unterschiedlichen Klassen an der Gesamtfläche gibt, besteht die Möglichkeit des Vergleichs unterschiedlich großer Teilgebiete.

$$\%Land = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100) \quad (8.1)$$

Prozentuale Flächenanteile (%Land\_Class)

### 8.2.2 Patchmaße

Die zweite Kategorie der Strukturmaße bezieht sich auf die Charakteristiken der, die Landschaft aufbauenden Patches. Der Index Patchdichte (PD) gibt Auskunft über die Anzahl der Patches einer Klasse bzw. an der gesamten Landschaft. Um auch hier eine Vergleichbarkeit der Werte für unterschiedliche große Untersuchungsgebiete zu garantieren, wurde nicht die absolute Anzahl der Patches, sondern bedingt durch das Strukturmaß der Patchdichte (PD), die mittlere Anzahl der Patches für eine Flächeneinheit von 100ha berechnet. Dieser Index wird für die Klassen- und Landschaftsebene aus folgenden Formeln berechnet:

$$PD = \frac{n_i}{A} * 10000 * 100 \qquad PD = \frac{N}{A} * 10000 * 100 \quad (8.2)$$

*Patch density (PD\_Class)* *Patch density (PD\_Land)*

Des weiteren wurde der Index Mean Patch Size (MPS) berechnet. Wie auch die Patchdichte kann dieser Index relativ einfach berechnet werden. Dieses Strukturmaß bietet eine gute Aussagequalität zur Charakterisierung der Landschaftsstruktur. Über veränderte Werte kann ferner eine schnelle Einschätzung der allgemeinen Entwicklung gewonnen werden. So zeigte z.B. LAUSCH (2000: 102ff) das sich der Einsatz des Strukturmaße MPS innerhalb des Landschaftsmonitorings der Tagelbaugebiete südlich von Leipzig eignet. Bei der Erfassung verschiedener urbaner Strukturen wird die Interpretation dieses Indizes dadurch erschwert, daß die urbane Landschaft sich allgemein durch eine sehr kleinräumige Struktur auszeichnet. Neben sehr vielen kleinen Patches treten in urbanen Landschaften relativ wenige größere Landschaftselemente auf. Größere Patches sind innerhalb der urbanen Landschaft vor allem durch Patches der Klasse „Wasser“ vorhanden, da dieser keiner Fragmentierung durch das Straßennetz unterworfen sind. Die Berechnung der mittleren Patchgröße erfolgt über folgende Formeln:

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left( \frac{1}{10,000} \right) \qquad MPS = \frac{A}{N} \left( \frac{1}{10,000} \right) (8.3)$$

*Mean patch size (MPS\_Class)* *Mean patch size (MPS\_Land)*

Der Index der mittleren Patchgröße gehört zur Klasse der skalenabhängigen Strukturmaßen. Infolgedessen werden für dieses Strukturmaß unterschiedliche Werte ermittelt, wenn durch die Wahl unterschiedlicher Skalen die Patchgröße beeinflusst wird. Der Einsatz innerhalb des Landschaftsmonitorings wird aus diesem Grund z.T. kritisch betrachtet. (BLASCHKE & PETCH, 1999: 78ff)

Der Index der Patch Size Standard Deviation (PSSD) gibt einen Überblick über die Homogenität der Flächengröße der einzelnen Patches einer Klasse bzw. einer Landschaft. Je höhere Werte dieses Maß aufweist, desto unterschiedlicher fallen die Größen der verschiedenen Landschaftselemente aus.

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \frac{\left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \right)}{n_i} \right]^2}{n_i}} \left( \frac{1}{10000} \right) \qquad PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}} \left( \frac{1}{10000} \right) \quad (8.4)$$

*Patch size standard deviation (PSSD\_Class)*

*Patch size standard deviation (PSSD\_Land)*

### 8.2.3 Kantenmaße

Mit der Zunahme des menschlichen Einflusses auf die Gestaltung der Landoberfläche steigt der Grad der Fragmentierung der Landnutzungsklassen und somit die Anzahl, der die einzelnen Patches begrenzenden Kanten. (MILLER ET AL., 1997: 147) Kanten wirken wie selektive Filter, die z.T. den Austausch und Transfer von Energie oder Materie zwischen zwei Landschaftselementen verhindern bzw. unterbinden können. (MUSICK & GROVER, 1991: 86) Für die Charakterisierung und Beschreibung unterschiedlicher Landschaftsstrukturen sind daher die verschiedenen Kantenlängen der Patches von Bedeutung. In der Mehrzahl der Arbeiten erfolgt der Einsatz von Kantenmaßen im Zusammenhang mit Populationsstudien verschiedener Pflanzen- und Tierarten. So haben HAWROT & NIEMI (1996: 590ff) dokumentiert, daß zwischen dem Auftreten von Vogelpopulationen und den Kanten zwischen den Habitatpatches eine Beziehung besteht.

Das einfachste Kantenmaß, Total Edge (TE), berechnet die Gesamtkantenlänge sowohl für jede Landnutzungsklasse als auch für alle Landschaftselemente. Für den Vergleich von Untersuchungsgebieten unterschiedlicher Flächenausdehnung empfiehlt es sich, dem Index TE das Strukturmaß Edge Density (ED) vorzuziehen. Vergleichbar mit der Patchdichte wird bei der Berechnung der Kantendichte, die Kantenlänge auf eine Einheitsfläche von 100ha bezogen.

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000) \qquad ED = \frac{E}{A} (10,000) \quad (8.5)$$

*Edge density (ED\_Class)*

*Edge density (ED\_Land)*

Der Index der Kantendichte wird durch die Auflösung der zugrundeliegenden Daten beeinflusst. Es gilt, je feiner die Auflösung ist, desto länger ist die Kantenlänge. Während bei einer groben Auflösung Kanten als relativ gerade Linien erscheinen, können sich diese bei einer feineren Auflösung in Form von gewundenen Linien abbilden. (MC GARIGAL & MARKS, 1994: 34) (s. auch 7.2.4)

#### 8.2.4 Formmaße

Über die Berechnung verschiedener Formmaße besteht die Möglichkeit, die Komplexität der Patchformen zu erfassen. In einer Vielzahl der landschaftsökologischen Arbeiten wird der Zusammenhang zwischen der Formkomplexität und der Art der Nutzung beschrieben. Beispielsweise besitzen naturnahe Wälder eine höhere Formkomplexität als landwirtschaftliche Flächen. (FROHN, 1998: 14) Dieses Beispiel deutet auf den Zusammenhang zwischen der Höhe der Formkomplexität und der Stärke der anthropogenen Überprägung der Landschaft hin. Prinzipiell nimmt mit zunehmendem menschlichen Einfluß die Formkomplexität der Landschaftselemente ab. (KRUMMEL ET AL., 1987: 321ff, LAUSCH, 2000: 110, MENZ 1998: 109, O'NEILL ET AL., 1988: 153, HULSHOFF, 1995: 107)

Die berechneten Formmaße basieren auf einer Umfang-zu-Fläche-Beziehung. Generell werden die Formmaße in zwei Grundtypen unterteilt. Während der erste Grundtyp die Patchform mit einer euklidischen Standardform vergleicht, basiert der andere Typ auf den Grundlagen der Fraktalen Geometrie.

Der Mean Shape Index (MSI) läßt sich dem ersten Grundtyp zuordnen. Insofern mißt dieser Index das Verhältnis von Umfang zu Fläche und vergleicht die Patchform mit einer Standardform, die in der Rasterversion durch ein Quadrat beschrieben wird. Entspricht die betrachtete Form dieser Standardform, so ergibt sich ein Wert von 1. Mit zunehmender Abweichung von der quadratischen Grundform nimmt die Formkomplexität der Landschaftselemente zu und der Index weist einen höheren Wert auf. Der Wertebereich des MSI liegt somit zwischen 1 und unendlich.

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}}{n_i} \qquad MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right]}{N} \quad (8.6)$$

*Mean Shape Index (MSI\_Class)* *Mean Shape Index (MSI\_Land)*

Der zweite Grundtyp der Formmaße, die Fraktale Dimension, basiert auf den Arbeiten des Mathematikers BENOIT B. MANDELBROT. Im Gegensatz zur euklidischen und topologischen Dimension kann die fraktale Dimension gebrochene Werte annehmen. Während beispielsweise bei der euklidischen Dimension dem Punkt die Nulldimension zugewiesen wird, die Linie als eindimensional, die Fläche als zweidimensional und ein Körper als dreidimensional beschrieben wird, lassen sich über die fraktale Dimension Übergänge zwischen diesen euklidischen Dimensionen erfassen. MANDELBROT (1991) beschreibt das Wesen der fraktalen Dimension am Beispiel der Küstenlänge Großbritanniens. (MANDELBROT, 1991: 37ff) Die Gesamtlänge der Küste variiert mit der Eichlänge mit der die Küste vermessen wird. Umso größer die gewählte Eichlänge ist, umso mehr bleiben Buchten und Windungen im Küstenverlauf unberücksichtigt. Umgekehrt werden umso mehr Unebenheiten und Krümmungen im Verlauf der Küste erfaßt, je kleiner die Eichlänge ist. Nur an einer völlig geraden Küste wäre die Gesamtlänge unabhängig von der Eichlänge. (AHNERT, 1996: 356f) Im Gegensatz zu einer Geraden, kann eine fraktale Kurve mit unendlich vielen Krümmungen nicht eindimensional erfaßt werden, da diese Kurve nie einem Grenzwert zustrebt. *„Anders ausgedrückt: Beim „Hereinzoomen“ in eine fraktale Kurve eröffnen sich immer neue Details, unabhängig von der Wahl des Zoomfaktors; nimmt man hingegen ein Objekt der euklidischen Geometrie, so lassen sich ab einem bestimmten Punkt keine weiteren Details erkennen.“* (RAMI; 1997: 20) Eine wesentliche Grundannahme der Theorie der fraktalen Dimension stellt zudem das Prinzip der Selbstähnlichkeit dar. Dieses Prinzip besagt, daß alle Formen der Landschaft in verschiedenen Maßstabsebenen eine ähnliche Form aufweisen. Bei einer exakten Selbstähnlichkeit setzen sich Formen aus verkleinerten Kopien von sich selbst zusammen. Da diese Bedingung für die Mehrzahl der Landoberflächenformen nicht zutrifft, werden diese auch als statistisch selbstähnlich bezeichnet. (MANDELBROT, 1991:60ff)

Die Formel der Fraktalen Dimension (DFLD) lautet:

$$DLFD = \frac{2}{\frac{\left[ n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} * \ln a_{ij}) \right] - \left[ \left( \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left( \sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right]}{\left( n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) - \left( \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2}}$$

Fraktale Dimension (DLFD)

$$DLFD = \frac{2}{\frac{\left[ N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} * \ln a_{ij}) \right] - \left[ \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right]}{\left( N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2}} \quad (8.7)$$

Fraktale Dimension (DLFD\_Land)

Der Wertebereich dieses Strukturmaß liegt zwischen eins und zwei. Es gilt, je größer der Wert wird, umso größer ist die Komplexität der betrachteten Form.

### 8.2.5 Distanzmaße

Anhand der verschiedenen Distanzmaße können Aussagen über die Konfiguration der Landschaftselemente abgeleitet werden. Der Index der Mean Nearest Neighbor Distance (MNN) berechnet die mittlere Entfernung von benachbarten Patches, die der gleichen Klasse angehören und wird über die nachfolgende Formel berechnet:

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i} \qquad MNN = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{n'_i} \quad (8.8)$$

Mean nearest-neighbor distance (MNN\_Class)

Mean nearest-neighbor distance (MNN\_Land)

Die Berechnung der Entfernung wird von Kante zu Kante gemessen. Über das Strukturmaß der Nearest Neighbor Standard Deviation (NNSD) kann ein Eindruck über die Gleichmäßigkeit der mittleren Distanz gewonnen werden. Hierbei gilt, wie bei der PSSD, daß mit zunehmenden Werten

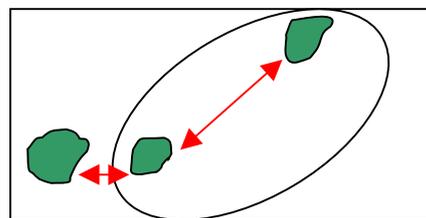
eine größere Heterogenität der unterschiedlichen Entfernungen zwischen den benachbarten Patches einer Klasse vorliegt.

$$\begin{aligned}
 NNSD &= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n'} \left[ h_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i} \right]^2}{n'_i}} \\
 NNSD &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ h_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N'} \right]^2}{N'}} \quad (8.9)
 \end{aligned}$$

Nearest-neighbor standard deviation  
(NNSD\_Class)

Nearest-neighbor standard deviation  
(NNSD\_Land)

Wie alle LSM unterliegen auch die Distanzmaße der Beschränkung, daß nur die Patches in die Berechnung einfließen, die sich innerhalb der untersuchten Teillandschaft befinden. Somit ergibt sich das Problem, daß die Entfernung zu Landschaftselementen, die sich außerhalb der Landschaftsgrenze befinden, nicht berücksichtigt werden können. Infolgedessen kann der Fall eintreten, daß innerhalb der gewählten Landschaftsgrenze die Entfernung zum nächsten Nachbar sehr groß ausfällt, obwohl sich unmittelbar hinter der Landschaftsgrenze ein Patch der gleichen Klasse befindet. (MCGARIGAL & MARKS, 1994: 52) Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Abbildung 15 dargestellt.



**Abbildung 15: Einfluß von Landschaftsgrenzen auf den MNNWert**

Quelle: eigener Entwurf

### 8.2.6 Maße der räumlichen Verteilung

Es wurden zwei Strukturmaße bezüglich der Verteilung der einzelnen Patches und der Nachbarschaftsbeziehungen der Landschaftselemente berechnet. Über die beiden Indizes, Contagion Index (CONTAG) und Interspersion and Juxtaposition Index (IJI), kann die Landschaftskonfiguration quantifiziert werden. (MCGARIGAL & MARKS, 1994: 57)

Der Contagion Index wurde 1988 von O'NEILL in die Landschaftsstrukturanalyse eingeführt. Der Index basiert auf den Grundlagen der Informationstheorie. (O'NEILL, 1988: 154) Der ursprüngliche

Index wies jedoch Defizite auf, da er sich nur als sensitiv gegenüber der Landschaftskomposition, d.h. der Anzahl der vorhandenen Landnutzungsklassen eines Gebietes, erwies, nicht aber in bezug auf die Konfiguration der Patches einer Landschaft. Weil die räumliche Anordnung der Patches innerhalb landschaftsökologischer Fragestellungen einen hohen Stellenwert einnimmt, wurde der ursprüngliche Contagion Index von LI UND REYNOLDS (1993) modifiziert. „*We introduce an alternative contagion index that corrects this error and tends to distinguish between landscape composition and configuration*“ (LI & REYNOLDS, 1993: 155f) In FRAGSTATS ist der veränderte Contagion Index implementiert. Seine Berechnungsformel lautet:

$$CONTAG = 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n \left[ (P_i) \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) * \ln \left( P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right) \right]}{2 \ln(m)} \quad (100) \quad (8.10)$$

*Contagion Index (CONTAG Land)*

Die Berechnung des Contagion Indizes ist nur für Rasterbilder sowie für die Landschaftsebene möglich. Die Berechnungsgrundlage dieses Indizes stellen die einzelnen Pixel der Landschaft dar. Über die Berechnung dieses Indizes besteht die Möglichkeit, den Grad der Aggregation der Landschaftselemente zu bestimmen. Die Berechnung erfolgt auf der Annahme zweier Wahrscheinlichkeiten:

1. Der Wahrscheinlichkeit, daß eine willkürlich gewählte Zelle zu der Klasse i gehört. Geschätzt wird diese Wahrscheinlichkeit über die proportionale Fülle der Klassen i.
2. Der Wahrscheinlichkeit, daß eine gegebene Zelle der Klassen i eine Nachbarschaft zu einer Zelle der Klasse j besitzt.

Aus dem Produkt dieser beiden Wahrscheinlichkeiten ergibt sich die Möglichkeit, daß zwei willkürlich gewählte Zellen zu den Klassen i und j gehören. (MCGARIGAL & MARKS, 1994: 57) Der Contagion Index mißt infolgedessen sowohl die Verteilung der Patches, als auch die Patchzerstreuung. Angegeben werden die Werte in Prozent, so daß der Wertebereich zwischen 0 und 100% liegt. Umso gleichmäßiger die Verteilung der Nachbarschaften ist, umso höhere Werte werden erreicht. Im Gegensatz hierzu tendiert der Wert gegen Null, wenn eine ungleichmäßige Verteilung vorliegt.

Da die Berechnung des Contagion Indizes auf der Grundlage der einzelnen Pixel erfolgt, wird dieses Strukturmaß stark von der Rasterzellgröße beeinflusst. Beispielsweise führt eine kleinere Zell

größe zu einer höheren Anzahl von Rasterzellen der gleichen Klasse. Da hieraus eine Erhöhung der Nachbarschaften resultiert, weist der Contagion Index einen umso höheren Wert auf, je kleiner die Größe der Rasterzellen ist. Da sich in der vorliegenden Arbeit keine Änderungen der räumlichen Auflösung ergeben, wurde der Contagion Index in die Analyse der urbanen Strukturen miteinbezogen. Primär soll geprüft werden, ob sich dieser Index zur Differenzierung der verschiedenen urbanen Teillandschaften eignet.

Im Kontrast zum Contagion Index basiert der Interspersion and Juxtaposition Index (IJI) nicht auf der Nachbarschaft von Rasterzellen, sondern auf der Nachbarschaft von Patches. Die Berechnung dieses Strukturmaßes erfolgt von Patchkante zu Patchkante. Insofern ist der IJI unabhängig von der Rasterzellgröße und kann aus diesem Grund auch für Vektordaten berechnet werden. Im Gegensatz zum Contagion Index bezieht sich der IJI nur auf die Verteilung der Patches, nicht aber auf ihrer Zerstreuung. Wie auch der Contagion Index stellt der IJI ein relatives Strukturmaß dar, so daß die ermittelte Verteilung in Prozent angegeben wird. Es gilt, je höher der IJI-Wert, umso besser sind die unterschiedlichen Patches über die Landschaft verteilt. Ein weiterer Unterschied zum Contagion Index ist der, daß der IJI nicht nur für die Landschafts-, sondern auch für die Klassenebene berechnet werden kann. (MC GARIGAL & MARKS, 1994: 58)

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^{m'} \sum_{k=1+1}^{m'} \left[ \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \ln \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(1/2[m'-1])} \quad (100)$$

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^{m'} \left[ \left( \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}} \right) \ln \left( \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m'-1)} \quad (100) \quad (8.11)$$

*Interspersion and Juxtaposition index (IJI)*

*Interspersion and Juxtaposition index (IJI\_Land)*

### 8.3 Bezugsräume der Berechnung der Landschaftsstrukturmaße

Die Anwendbarkeit des Programms FRAGSTATS ist aufgrund arbeitsspeicherintensiver Rechenprozesse begrenzt. Das Programm stößt zum heutigen Zeitpunkt an seine Grenzen, wenn große Landschaftsausschnitte mit einer Vielzahl an Patches berechnet werden sollen. Große Untersuchungsgebiete müssen daher vor der Berechnung der Strukturmaße in mehrere Teillandschaften gegliedert werden. Bei der Festlegung und Definition dieser Teilräume sind einige Grundsätze zu berücksichtigen:

- Die Mehrzahl der Teillandschaften sollte so groß sein, daß für die Berechnung von statistischen Klassenparametern, wie z.B. die mittlere Flächengröße, eine ausreichende Anzahl von Patches pro Klasse vorhanden sind. Sind die Teillandschaften so klein, daß vielfach nur noch ein Patch

einer Klasse vorkommt, tritt nicht die Verteilung der mittleren Eigenschaften dieser Patch-Klasse, sondern vielmehr die gesamte Variabilität der Patches der betrachteten Klasse in den Vordergrund.

- Bei der Wahl der Teillandschaften ist zudem darauf zu achten, daß einzelne Patches nicht zusätzlich zerschnitten werden.
- Je größer die Anzahl der einzelnen Klassen einer Teillandschaft ist, um so geringer ist der Einfluß von Randproblemen auf die Patch-Klassen-Statistik.
- Weisen die einzelnen Teillandschaften eine unterschiedliche Größe auf, ist ein Vergleich absoluter LSM, wie z.B. die Gesamtfläche einer Patch-Klasse unzulässig. (KIESOW, 2000: 19, WERDER, 1999: 201)

Für die Wahl der Teilflächen stehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Zum einen kann eine unregelmäßige Abgrenzung der Teillandschaften erfolgen. Die Grundlage einer unregelmäßigen Abgrenzung stellen in der Regel Datenebene wie z.B. administrative Grenzen oder naturräumliche Gliederungen dar. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß vorhandene Datenebene Verwendung finden können, die inhaltlich für die Fragestellung der Landschaftsstrukturanalyse von Bedeutung sind. Als nachteilig erweist sich jedoch die divergierende Flächengröße der verschiedenen Teillandschaften, da sie die Vergleichbarkeit absoluter LSM einschränkt. Zum anderen kann eine regelmäßige Abgrenzung der Teillandschaften vollzogen werden. Als Grundlage dienen hierbei regelmäßige Gitter, wie z.B. Blattschnittgitter topographischer Karten. Da bei dieser Vorgehensweise sämtliche Teilgebiete die gleiche Größe aufweisen, ist der Vergleich von absoluten LSM möglich. Diese Methode besitzt zudem den Vorteil, frei von sämtlichen subjektiven Einflußparametern zu sein. (WALZ, 1999: 6) Bei der Zerlegung der Landschaft in mehrere Teillandschaften muß in den Randbereichen der Abgrenzungseinheiten mit einer Veränderung der Patch-Geometrie gerechnet werden, was zu einer Beeinflussung der Statistik führt. (KIESOW, 2000: 19f)

Im Kapitel „Problemstellung und Zielsetzung“ wurden die Ziele dieser Arbeit definiert. Zur Bearbeitung der Fragestellung, ob sich unterschiedliche Nutzungen des urbanen Raumes sowie die strukturellen Veränderungen zwischen 1992 und 1999 in den LSM widerspiegeln, bietet sich als Abgrenzungskriterium die unregelmäßige Methode an. Diese stützt sich in der vorliegenden Arbeit auf administrative Grenzen verschiedener Stadtteile der Städte Halle und Leipzig. Die ausgewählten Teillandschaften setzen sich aus einem oder mehreren Stadtteilen zusammen. (vgl. Abb.16a und Tab. 8). Der wesentliche Unterschied zwischen den verschiedenen Teillandschaften besteht darin, daß sie durch den Menschen unterschiedlich genutzt werden und somit verschiedene Funktionen erfüllen. Die verschiedenen Funktionen der Stadtteile sind in Tabelle 8 zusammenfassend dargestellt. Für jeden Stadtteiltyp wurde ein Beispiel aus Leipzig und ein Beispiel aus Halle ausgewählt.

<i>Analysierte Stadtteile</i>	<i>Nutzung</i>	<i>Bezeichnung im fortlaufenden Text</i>
<b>Leipzig</b>		
Zentrum-Ost, Zentrum-Süd, Zentrum-West, Zentrum-Nordwest	Tertiärer Sektor: Einzelhandel, Banken, Versicherungen etc.	City Leipzig
Gohlis-Nord, Gohlis-Mitte, Gohlis-Süd, Eutritsch	Wohngebiet (gründerzeitlich)	Gohlis
Grünau-Ost, Grünau-Mitte, Grünau-Siedlung, Grünau-Nord, Lausen-Grünau	Wohngebiet (Plattenbau)	Grünau
Plagwitz, Schleußig, Kleinzschocher	Wohnen, Gewerbe und Industrie (Mischgebiet)	Plagwitz
<b>Halle</b>		
Altstadt, Nördliche Innenstadt	Tertiärer Sektor: Einzelhandel, Banken, Versicherungen etc.	City Halle
Südl. Innenstadt	Wohngebiet (gründerzeitlich)	Südliche Innenstadt
Halle Neustadt (nördlicher, südlicher und westlicher Teil)	Wohngebiet (Plattenbau)	Halle-Neustadt
Freiimfelde, Diemitz, Büschdorf	Wohnen, Gewerbe und Industrie (Mischgebiet)	Freiimfelde

**Tabelle 8: Überblick über die Testgebiete**

Quelle: eigener Entwurf

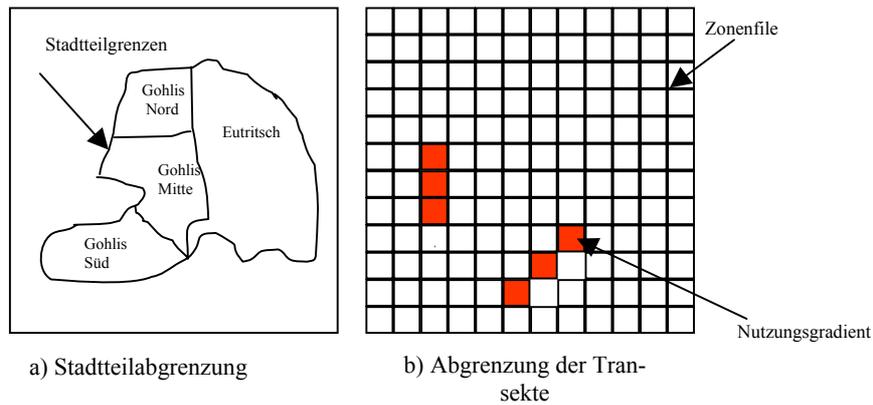
Wie in Kapitel 5 beschrieben ist vor allem das Umland seit der politischen Wende 1989 durch den gravierenden Strukturwandel betroffen. Aus diesem Grund sollte auch die Landschaftsstruktur des Umlandes quantitativ erfaßt werden. Hierzu wurde über die Berechnung eines Zonenfiles in Arc Info die regelmäßige Erzeugung von Teillandschaften angewandt. Als Ausgangspunkt der Berechnung dieses Zonenfiles diente die linke obere Ecke der Klassifikationsbilder. Von diesem Ansatzpunkt ausgehend, erfolgte eine systematische Erstellung eines Gitternetzes, welches das gesamte Untersuchungsgebiet abdeckt. Die Größe der einzelnen Zonen beträgt 2.000x2.000m, so daß sich für das gesamte Gebiet 258 Zonen ergeben. Bei der Berechnung des Zonenfiles wurde darauf geachtet, daß dieses mit dem bereits bestehenden Gitternetz der Brutvogelkartierung im Stadtgebiet Leipzig übereinstimmt, um nachfolgende Untersuchungen von Zusammenhängen zwischen urbanen Strukturmustern und dem Auftreten bestimmter Vogelarten zu ermöglichen. Dieser Zusammenhang ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Wie die visuelle Interpretation der klassifizierten Bilder gezeigt hat, nimmt mit zunehmender Entfernung von den beiden Oberzentren die Intensität der Verdichtung und der Grad der anthropogenen Nutzung ab. Im folgenden soll daher geprüft werden, ob diese Abnahme der Nutzungsintensität anhand der Strukturmaße quantitativ erfaßt werden kann. Aus diesem Grund wurden in einem weiteren Arbeitsschritt zwei charakteristische Nutzungsgradienten ausgewählt. Diese befinden sich zwischen Halle und Merseburg und zwischen Leipzig und Markranstädt. (vgl. Abb. 16b)

Durch die politische Wende und den daraus folgenden Strukturwandel fanden urbane Wachstumsprozesse vor allem im nahen Umland der ostdeutschen Großstädte statt. Aus diesem Grund wird

über den temporalen Vergleich geprüft, ob sich die urbanen Wachstumsprozesse in den Strukturmaßen niederschlagen.

Die Angrenzungsmodalitäten der Teillandschaften sind in Abbildung 16 schematisch dargestellt.



**Abbildung 16: Abgrenzung der Stadtteile und der Nutzungsgradienten**

Quelle: eigener Entwurf

Die berechneten LSM wurden hinsichtlich der in Kapitel 2 vorgestellten Fragestellungen ausgewertet. Die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse werden im folgenden Kapitel aufgezeigt.

## 9 Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse

### 9.1 *Landschaftsstrukturmaße zur Erfassung urbaner Landnutzungsmuster*

Die Interpretation der LSM erfolgt unter zwei Gesichtspunkten. In einem ersten Arbeitsschritt wird untersucht, ob es möglich ist, mit Hilfe der LSM eine Differenzierung der unterschiedlichen urbanen Nutzungsstrukturen durchzuführen. Darauf aufbauend sollen Veränderung der städtischen Strukturen (Monitoring) analysiert werden. (vgl. Kap. 2)

Der Analyse der räumlichen urbanen Landnutzungsmuster liegt die Annahme zugrunde, daß sich die unterschiedliche Nutzung der Stadtviertel in der Struktur der jeweiligen Viertel niederschlägt. Die Untersuchung der räumlichen Struktur erfolgt für die acht Stadtteile (s. Tabelle 8) auf der Grundlage der TM-Klassifikation des Jahres 1999.

Als die wichtigsten strukturbildenden Kräfte des urbanen Raumes gelten das Bodenpreisgefüge und seine Dynamik, die Gebäudekapazität für bestimmte Nutzungen, selektive Wanderungsströme, die sich ständig verändernde Technologie sowie die Funktionstrennung und die unterschiedlichen Funktionalitätsansprüchen, wie z.B. der Wohn- oder Arbeits- und Transportfunktion. (HOFMEISTER, 1997: 144) (s. auch 7.3) Aufgrund dieser strukturbildenden Kräfte sind in Tabelle 9 einige Hypothesen über die Kennzeichen der unterschiedlichen Stadtteiltypen zusammengestellt.

Im folgenden soll überprüft werden, ob sich diese Hypothesen mit Hilfe der verschiedenen LSM bestätigen lassen und ob eine Differenzierung der unterschiedlichen Strukturen erfolgen kann. Die Interpretation der verschiedenen Strukturindizes erfolgt zunächst anhand der Landschaftsmaße und wird durch Werte der Klassenebenen ergänzt.

<i>Hypothese</i>	<i>Begründung</i>	<i>Erfaßbar über LSM<sup>15</sup></i>
1. Die vier Stadtteiltyten sind durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der Landschaftselemente gekennzeichnet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterschiedliche Nutzung</li> <li>▪ Unterschiedliche Bodenrente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> <li>▪ PD</li> </ul>
2. Die Citybereiche weisen die höchste Bebauungsdichte auf.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bereich der höchsten Bodenrente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> <li>▪ PD</li> </ul>
3. Die gründerzeitlichen Wohngebiete weisen eine höhere Bebauungsdichte als die Plattenbausiedlungen auf.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plattenbausiedlungen sind dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen den einzelnen Wohnblöcken Grünflächen befinden, was bei zweidimensionaler Betrachtung zu einer geringeren Bebauungsdichte führt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> <li>▪ PD</li> </ul>
4. Die vier Stadtteiltyten sind durch unterschiedliche Fragmentierungsgrade gekennzeichnet. Innerhalb der Citybereiche und der gründerzeitlichen Wohngebiete ist der Grad der Fragmentierung höher als innerhalb der Mischgebiete und der Plattenbausiedlungen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gründerzeitliche Wohngebiete verfügen über eine kleinräumigere Struktur, z.T. durchdringen trotz der dichten Bebauung Gärten die bebauten Bereiche</li> <li>▪ Sowohl die gründerzeitlichen Wohngebiete als auch die Citybereiche weisen ein dichtes Straßennetz auf</li> <li>▪ Durch die Industrieflächen innerhalb der Mischgebiete sind diese Stadtteile durch weitläufigere Strukturen gekennzeichnet</li> <li>▪ Die gröbere Struktur der Plattenbausiedlungen kommt durch die Großblockbebauung zustande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> <li>▪ ED</li> <li>▪ %Land</li> </ul>
5. Die Landschaftselemente innerhalb der Citybereiche weisen die geringste Formkomplexität auf.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anthropogene Formen besitzen in der Regel eine geringere Formkomplexität als natürliche Formen</li> <li>▪ Aufgrund der höchsten Bodenrente innerhalb der City ist der anthropogene Einfluß auf die Landschaft hier am stärksten ausgeprägt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSI</li> <li>▪ DLFD</li> </ul>
6. Wohngebiete verfügen über eine gleichmäßigere Verteilung der Landschaftselemente als Stadtviertel mit einer Nutzung durch den sekundären bzw. tertiären Sektor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In der City sowie in den Mischgebieten erfolgt eine Ballung von Landnutzungsklassen gleicher Nutzung</li> <li>▪ Innerhalb der Citybereiche sind vor allem die hoch verdichteten Bereiche nur geringfügig durch andere Klassen durchdrungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>

**Tabelle 9: Hypothesenaufstellung zur Differenzierung der unterschiedlicher urbaner Strukturen anhand von LSM**

Quelle: eigener Entwurf

Einen ersten Anhaltspunkt über die unterschiedliche Struktur der verschiedenen Stadtteile kann aus den Flächenmaßen gewonnen werden. Das Maß (%LAND) stellt den prozentualen Anteil der einzelnen Landnutzungsklassen an der Gesamtlandschaft dar. Infolgedessen kann über den Anteil der als bebaut klassifizierten Bereiche eine erste Aussage über die Bebauungsdichte abgeleitet werden. Faßt man den prozentualen Flächenanteil der Klassen „Siedlung mit geringer, mittlerer und hoher Verdichtung“ sowie der Klasse „Straßen“ für die einzelnen Stadtteile zusammen, so ergibt sich für die Innenstädte Leipzig und Halle eine Bebauungsdichte von 90,73% (Leipzig) bzw. 96,33% (Halle). Ein Vergleich mit den übrigen Stadtteilen zeigt, daß die Werte der Bebauungsdichte innerhalb der Innenstädte Spitzenwerte erreicht. Als Ursache der hohen Bebauungsdichte innerhalb der City

<sup>15</sup> Die LSM beziehen sich, mit Ausnahme des Indizes %Land, auf die Landschaftsebene. Die Aussagen dieser Werte werden wenn möglich innerhalb der Auswertung durch die Werte der Klassenebene ergänzt.

bereiche müssen die hohen Bodenrenten angesehen werden. Sowohl für die Mischgebiete als auch für die innerstädtischen Wohngebiete fallen die Werte der Bebauungsdichte geringer aus. Zudem fällt auf, daß die Bebauungsdichte innerhalb der gründerzeitlich entstandenen Wohngebiete im Mittel um 12,82% höher ausfällt als in den Plattenbausiedlungen Grünau und Halle Neustadt.

Während die beiden Testgebiete für die drei Testgebietytypen, Innenstadt, gründerzeitliche Wohngebiete und Plattenbausiedlungen, ähnliche Werte der Bebauungsdichte aufweisen, wurden für die Mischgebiete der Städte Halle und Leipzig unterschiedliche Ergebnisse festgestellt. In Plagwitz und den angrenzenden Stadtteilen liegt die Bebauungsdichte mit 85,31% um 26,99% höher als im Mischgebiet der Stadt Halle. Als Ursache kann die unterschiedliche Position der beiden Gebiete innerhalb der Städte angesehen werden. Plagwitz nimmt in Leipzig eine relativ zentrale Lage ein, während der Stadtteile Freimfelde eine Außen- bzw. Randlage aufweist. An die z.T. industriell genutzten Flächen dieser Stadtviertel schließen sich unmittelbar landwirtschaftlich Flächen an. Folglich ergibt sich der relativ geringe Wert der Bebauungsdichte in erster Linie durch den hohen prozentualen Flächenanteil der Klasse „Grün- und Ackerland“ von 30,67%. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.2)

Ferner zeigt das Strukturmaß %LAND die unterschiedliche Zusammensetzung der Landnutzungsklassen innerhalb der verschiedenen Stadtviertel auf. In den Innenstädten von Leipzig und Halle ist eine Dominanz der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ und der Klasse „Straßen“ zu beobachten. Beispielsweise nehmen in der Leipziger City diese beiden Klassen mit einem Flächenanteil von 77,52% bereits mehr als  $\frac{3}{4}$  der innerstädtischen Fläche ein. Im Gegensatz hierzu sind sowohl die Wohngebiete als auch die Mischgebiete durch höhere Anteile der übrigen Landnutzungsklassen charakterisiert. Vor allem innerhalb der Plattensiedlungen ist der prozentuale Flächenanteil der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ mit 1,95% in Grünau und 5% in Halle Neustadt sehr gering. Die Landschaft wird innerhalb der Plattenbausiedlungen durch die beiden Klassen „Siedlung mit geringer und mittlerer Verdichtung“ geprägt. Der ebenfalls höhere prozentuale Flächenanteil der Klasse „Grünflächen“ innerhalb der Plattenbausiedlungen weist ebenfalls auf den geringeren Bebauungsgrad dieser Stadtteile hin.

Die unterschiedliche Struktur der einzelnen Stadtviertel kann darüber hinaus mit den Patchmaßen PD, MPS sowie PSSD erfaßt werden. Auffällig sind die Werte der Patchdichte und der mittleren Patchgröße der Klasse „Straßen“, die im Gegensatz zu allen anderen Landnutzungsklassen gegenläufige Werte aufweisen. Für diese Klasse werden zum einem sehr geringe PD-Werte, mit einer Spannweite von 0,02 bis 4,04 Patches pro 100ha berechnet. Zum anderen nimmt die mittlere Patchgröße sehr hohe Werte an, die zudem eine hohe Variabilität aufweisen. Die Werte der mittleren Patchgröße der Klasse „Straßen“ liegen zwischen 4,26ha und 2152,03ha. Eine Ursache für die

von den übrigen Landnutzungsklassen abweichenden Werten der Patchindizes ist die Tatsache, daß die einzelnen Patches der Klasse „Straße“ häufig in Form des Straßennetzes aneinander hängen und daher sehr große Patches bilden. Bei der Charakterisierung der einzelnen Stadtteile auf der Klassenebene werden daher die Werte der Patchmaße der Klasse „Straße“ aus der Diskussion ausgeschlossen.

Über die Analyse der Indizes PD und MPS der Landschaftsebene können Aussagen hinsichtlich des Fragmentierungsgrades der Teilgebiete abgeleitet werden. Der Index der Patchdichte weist auf der Landschaftsebene für die einzelnen Stadtteiltyten verschiedene Werte auf. Die relativ hohen PD-Werte, die für die gründerzeitlichen Wohngebiete (Gohlis 151,99 Patches pro 100ha, Südliche Innenstadt Halle 136,29 Patches pro 100ha) berechnet werden, deuten auf eine relativ kleinräumige Strukturierung dieser Viertel hin. Diese Annahme wird durch die geringen Werte der mittleren Patchgröße unterstrichen. Ein Blick auf die Klassenebene zeigt, daß vor allem die als bebaut klassifizierte Landnutzungsklassen über eine hohe Patchdichte von durchschnittlich 34,49 Patches pro 100ha verfügen. Gleichzeitig weisen sämtliche Landnutzungsklassen in diesen Teilgebieten eine geringe mittlere Patchgröße auf. Die MPS nimmt für die Mehrzahl der Landnutzungsklassen in den gründerzeitlichen Wohngebieten einen Wert kleiner eins an. Eine Ausnahme stellen die Wasserflächen innerhalb der südlichen Innenstadt von Halle mit einer mittleren Patchgröße von 93,7ha dar. Dieser Wert kommt dadurch zustanden, daß die Wasserflächen in der Regel von einer Fragmentierung durch das Straßennetz ausgeschlossen sind und relativ große zusammenhängende Patches bilden. (Kap.13.6.2)

Zusätzlich wird die kleinräumige Struktur, und somit der hohe Zerschneidungsgrad innerhalb der gründerzeitlichen Wohngebiete, durch die geringe Variabilität der mittleren Patchgröße unterstrichen. Mit Ausnahme der Wasserflächen innerhalb der südlichen Innenstadt von Halle, weisen sämtliche Landnutzungsklassen eine geringe Abweichung der mittleren Patchgröße auf. Ferner bestätigen auf der Analyseebene der Landschaft die PSSD-Werte die kleinräumige Struktur innerhalb der gründerzeitlichen Wohngebiete. Im Vergleich zu den anderen Teilgebieten werden hier die geringsten Abweichungen von 6,84ha in der südlichen Innenstadt von Halle und von 9,95ha in Gohlis ermittelt. Als Ursache der hohen Fragmentierung dieser Stadtteile kann auf der einen Seite der hohe Flächenanteil der Klasse „Straßen“ von 36,6% (südliche Innenstadt) bzw. 43,94% (Gohlis) und das daraus resultierend enge Straßennetz angesehen werden. Auf der anderen Seite zeichnen sich die gründerzeitlichen Stadtteile durch eine hohe Durchmischung der unterschiedlichen Landnutzungsklassen aus. Infolgedessen kommt es zu einer Zerschneidung der Landnutzungsklassen untereinander.

Ebenfalls weisen die Citybereiche auf der Landschaftsebene relativ hohe PD-Werte auf. Auch hier deuten die Werte der Patchdichte und der mittleren Patchgröße auf der Landschaftsebene auf eine relativ kleinräumige Struktur hin. Als primäre Ursache dieser kleinräumigen Struktur ist ebenfalls das enge Straßennetz innerhalb der Citybereiche anzusehen, daß zu einer starken Fragmentierung Landnutzungsklassen führt. Trotz der hohen Fragmentierung weist die Landnutzungsklasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ innerhalb der Citybereiche mit 0,84ha (Leipzig) bzw. 1,05ha (Halle) maximale MPS-Werte auf. Dieses Faktum deutet darauf hin, daß die Patches dieser Klasse im starkem Maße zusammenhängen und aus diesem Grund nur durch die Klasse „Straße“ zerschnitten werden. Eine Durchdringung der hoch verdichteten Bereiche durch andere Landnutzungsklassen findet innerhalb der Innenstädte nicht statt.

Im Gegensatz zu den Innenstädten und den gründerzeitlichen Wohnvierteln weisen die PD- und die MPS-Werte auf der Landschaftsebene in den Mischgebieten auf großräumigere Strukturen und auf einen geringeren Grad der Zerschneidung hin. Während die Patchdichte geringere Werte erreicht, weisen die Werte der mittleren Patchgröße höhere Werte auf. Die Differenz der mittleren Patchgröße beträgt z.B. zwischen Plagwitz und der Leipziger Innenstadt  $700\text{m}^2$  und zwischen Plagwitz und Gohlis  $2200\text{m}^2$ . Die größeren Strukturen innerhalb des Stadtteils Plagwitz lassen sich durch die historische Entwicklung dieses Stadtteils erklären. Während der Industrialisierung entstanden hier neben Wohngebieten größere Industrie- und Fabrikanlagen. Diese sind, trotz des gravierenden Verfalls bis zur politischen Wende 1989, erhalten geblieben. Auch nach der Transformation des politischen Systems wurde der Stadtteil als Standort für das produzierende Gewerbe beibehalten, und es kam zu einer Umwidmung der alten Fabrikgebäude zu Gewerbe- und Handwerkerhöfen. (GRUNDMANN ET AL, 1996: 121ff) Deshalb sind in Plagwitz bis heute große zusammenhängende Flächen gleicher Nutzung vorhanden.

Für den Stadtteil Halle Neustadt wurde ein relativ geringer PD-Wert von 103,86 Patches pro 100ha und ein hoher MPS-Wert von 0,96ha ermittelt, so daß von einer weitläufigeren Struktur, als innerhalb der gründerzeitlichen Wohngebiete ausgegangen werden kann. (vgl. Anhang, Kap.13.6) Ebenfalls wird die geringere Dichte der Bebauung über den Index %LAND und über die mittlere Patchgröße der „naturnahen“ Klassen erfaßt. Vor allem die Klasse „sonstige Grünflächen“ weist innerhalb der Plattenbausiedlungen eine höhere mittlere Patchgröße als innerhalb der gründerzeitlichen Wohnviertel auf. So beträgt z.B. in Grünau die mittlere Patchgröße 0,69ha, wohingegen in Gohlis die Grünflächen eine mittlere Patchgröße 0,24ha besitzen.

Ebenfalls geben die Werte der Kantendichte Auskunft über den Fragmentierungsgrad der einzelnen Stadtteile. Der maximale Grad der Fragmentierung wird für die beiden gründerzeitlichen Wohngebiete berechnet. Der ED-Wert beträgt in Gohlis 298,19m pro 100ha und in der südlichen Innenstadt von Halle 291,75m pro 100ha. Die Ursache dieser hohen Werte der Kantendichte können damit

erklärt werden, daß sich die verschiedenen Landschaftselemente aufgrund der kleinräumigen Struktur untereinander durchdringen. Die geringsten ED-Werte weisen die Plattenbausiedlungen auf. Folglich zeichnet sich die, im Gegensatz zu den gründerzeitlichen Wohngebieten, weitläufigere Struktur dieser Viertel auch in den Werten der Kantendichte ab. (vgl. Anhang, Kap.13.6.1)

Zieht man zusätzlich die Klassenebene mit in die Betrachtung ein, so werden für alle vier Stadtteiltypen die höchsten ED-Werte für die Siedlungsklassen ermittelt. In Plagwitz z.B. wird für die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ ein ED-Wert von 120,78m pro 100ha und für die Klasse „Grünflächen“ ein ED-Wert von 16,75m pro 100ha angegeben. Als Ursache dieser unterschiedlichen Werten können die unterschiedlichen Werte der Patchdichte dieser Klassen angesehen werden. Die Anzahl der Patches der Siedlungsklassen ist um ein Vielfaches höher als die der Klasse „Grünflächen“, woraus sich eine höhere Anzahl an Kanten ergibt. Die Patchdichte beträgt beispielsweise in Plagwitz für die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ 35,88 Patches pro 100ha, für die Klasse „Grünflächen“ 4,73 Patches pro 100ha.

Die unterschiedlichen Strukturen der Teilgebiete werden darüber hinaus mit den Distanzmaßen erfaßt. So werden auf der Landschaftsebene sowohl für die Innenstädte als auch für die gründerzeitlichen Wohngebiete geringere mittlere Distanzwerte als für die Plattenbausiedlungen und die Mischgebiete ermittelt. Beispielsweise beträgt die mittlere Distanz zum „Nächsten Nachbar“ in dem gründerzeitlichen Wohnviertel der südlichen Innenstadt von Halle 31,10m. Im Vergleich dazu wird für das Mischgebiet Freimfelde eine mittlere Distanz von 49,10 m berechnet. Demzufolge bildet sich die kleinräumigere und dichtere räumliche Struktur innerhalb der Citybereiche und der gründerzeitlichen Wohngebiete in den Distanzmaßen ab. Das Strukturmaß Nearest Neighbor Standard Deviation (NNSD) informiert ferner über die Streuung der mittleren Distanz und muß im Zusammenhang mit dem Maß der mittleren Distanz zum „Nächsten Nachbar“ interpretiert werden. Da das Maß somit Auskunft über die Heterogenität der mittleren Distanzen gibt, kann über die unterschiedlichen Werte eine Aussage über die Verteilung der Landnutzungsklassen getroffen werden. Für die untersuchten Teilgebiete ergibt sich folgendes Bild: Während sowohl für die gründerzeitlichen Wohngebiete als auch für die Plattenbausiedlungen relativ geringe Werte der Streuung der mittleren Distanz zwischen 48,56m (Gohlis) und 44,61m (südl. Innenstadt) angegeben werden, sind sowohl die Innenstädte als auch die Mischgebiete durch eine große Varianz der mittleren Distanz zum „Nächsten Nachbar“ gekennzeichnet. So weisen die mittleren Distanzen innerhalb der Innenstädten und der Mischgebieten eine durchschnittliche Abweichung von 93,70m auf. Die große Differenz der NNSD-Werte deutet auf eine unterschiedliche Verteilung der Landnutzungsklassen hin. Da die Variabilität der Distanzwerte innerhalb der Wohngebiete geringer ausfällt als in den übrigen Teillandschaften, kann hier von einer gleichmäßigeren Verteilung der Landnutzungsklassen ausgegangen werden.

Diese Interpretation wird durch die Konfigurationswerte IJI und CONTAG jedoch nicht bestätigt. Beide Indizes weisen für diesen Stadtteil die höchsten Werte auf und beschreiben somit eine gleichmäßige Verteilung der unterschiedlichen Patches. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1) Die IJI-Werte der Klassenebene weisen insbesondere für die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ geringe Werte auf. Infolgedessen sind vor allem die stark verdichteten Bereiche ungleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt.

Der Mean Shape Index ist ein formbeschreibendes Landschaftsstrukturmaß. Nach BLASCHKE (2000: 287) muß dieser Index als ein empfindliches Strukturmaß angesehen werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, die Werte dieses Indizes immer im Zusammenhang mit den Flächenindizes PD und MPS und dem Kantenindex ED zu interpretieren. Da mit Hilfe dieser einfachen Maße häufig eindeutige Trends erfaßt werden können, kann die Variabilität der MSI-Werte mit einem höheren Grad an Sicherheit interpretiert werden. Zudem werden komplexerer Formmaße, wie der Index der Fraktalen Dimension, als stabilere Maße zur Quantifizierung unterschiedlicher räumlicher Formen angesehen. (EBENDA) Die höhere Stabilität der Werte der Fraktalen Dimension ergibt sich aus der Skalunenabhängigkeit von den Einzelparametern Fläche und Umfang. Diese Unabhängigkeit rührt aus der Berechnungsart dieses Indizes, bei der die Regression der logarithmierten Werte von Umfang und Fläche zugrunde gelegt werden. Aus diesem Grund werden im folgenden bei der Interpretation der Formkomplexität neben dem MSI zusätzlich die DLFD-Werte analysiert, um festzustellen, ob beide Formmaße einen gleichen Trend aufzeigen. Auf der Landschaftsebene wird für beide Formindizes eine sehr geringe Variabilität berechnet. Die Werte des MSI schwanken zwischen 1,20 und 1,26, die der Fraktalen Dimension zwischen 1,39 und 1,42. Da die Variabilität der Formmaße unter den einzelnen Stadtteiltypen mit Werten von 0,06 bzw. von 0,03 sehr gering ausfällt, können die Schwankungen der Werte nicht über die unterschiedliche Nutzung der verschiedenen Stadtteile erklärt werden. Einzige Ausnahme stellt der Stadtteil Freimfelde dar, da für ihn besonders hohe Formwerte berechnet wurden. Der MSI beträgt hier 1,36 und der Wert der Fraktalen Dimension 1,46. Ein Vergleich mit den Werten der Klassenebene zeigt, daß für sämtliche Landnutzungsklassen ebenfalls hohe Werte der Formkomplexität berechnet werden. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1) Eine Gegenüberstellung mit den berechneten Flächenmaßen PD und MPS läßt für diesen Stadtteil jedoch keinen Zusammenhang erkennen, so daß die höheren Werte der Formkomplexität ebenfalls nicht interpretierbar sind. Eine Differenzierung der unterschiedlichen Teillandschaften ist daher auf der Basis der formbeschreibenden Strukturmaße nicht möglich.

Bei der Betrachtung der MSI- und DLFD-Werte auf der Klassenebene fallen die extrem hohen Werte der Klasse „Straße“ innerhalb aller Stadtteiltypen auf. Diese weisen für den MSI eine Spannweite von 2,75 (Halle Neustadt) bis 6,11 (Grünau) und für die Fraktale Dimension eine Spannweite von 1,46 (Freimfelde) bis 1,8 (Gohlis) auf. Als Ursache der hohen Abweichung von

den Werten der übrigen Klassen kann die Tatsache angesehen werden, daß das Straßennetz aus relativ schmalen, dafür jedoch besonders großen (s.o.) Patches besteht. Im Verhältnis zur Fläche besitzt diese Landnutzungsklasse daher sehr viele Kanten, woraus die besonders hohe Komplexität der Form resultiert. Insgesamt ist es jedoch nicht möglich, mit Hilfe der MSI-Werte die verschiedenen Klassen über ihrer Formkomplexität zu differenzieren. Erklärt werden kann diese Tendenz damit, daß innerhalb der Teillandschaften der anthropogene Einfluß auf die Formgestalt sehr hoch ist. Die naturnahen Teilflächen, die normalerweise eine höhere Formkomplexität als anthropogene Flächen aufweisen (LAUSCH, 2000: 110, MENZ, 1998: 109, O'NEILL, 1987: 153), werden durch die unmittelbare Nachbarschaft der anthropogenen Flächen in ihren Formen stark beeinflusst. (HULSHOFF, 1995:107) Aus diesem Grund sind Unterschiede der Patchformen in urbanen Räumen nur schwer feststellbar, da die Grenzen der naturnahen Strukturen durch naturferne Strukturen vorgegeben werden. Zudem werden die naturnahen Teilflächen häufig durch anthropogene Gestaltung differenziert, so daß ihre ursprünglichen Formen nur noch als Relikte vorhanden sind. Beispielsweise gibt es im gesamten Verdichtungsraum Halle-Leipzig kaum noch natürliche Wälder. Die meisten der heute vorhandenen Bestände sind durch Wiederaufforstungsmaßnahmen entstanden. In Leipzig wurde im Jahr 1563 die erste Waldordnung erlassen und in folge dessen der Stadtwald in insgesamt 20 Schläge eingeteilt. Die Entwicklung des Waldes war in den folgenden Jahrhunderten eng an die gewerbliche Produktion geknüpft. Erst im 18. Jh. erfolgte im Zuge der Industrialisierung und der Schaffung von Erholungsflächen eine Aufforstung des Stadtwaldes. ([HTTP://WWW.LEIPZIG.DE](http://www.leipzig.de)) Darüber hinaus sind viele der Grünfläche in Form von Park- und Grünanlagen künstlich geschaffen worden. Ebenfalls muß berücksichtigt werden, daß der urbane Raum durch sehr kleinräumige Strukturen gekennzeichnet ist. Aufgrund der Auflösung des Landsat TM von 30m werden daher nicht alle Strukturen, wie z.B. einzelne Straßen- und Häuserzeilen, erfaßt. Diese Tatsache führt dazu, daß die einzelnen Formen ineinander verschmelzen und somit nicht korrekt erfaßt werden können. Insgesamt ist deshalb eine Differenzierung der einzelnen Landnutzungsklassen über ihre unterschiedliche Formkomplexität nicht möglich. (s. Abbildung 17 e und f)

### **Zusammenfassung**

Insgesamt kann die räumlichen Struktur der verschiedenen Stadtteile mit den berechneten LSM differenziert und eine Vielzahl der aufgestellten Hypothesen bestätigt werden. Die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse zur Abgrenzung unterschiedlicher Nutzungsstrukturen lassen wie folgt zusammenfassen:

- Zur Differenzierung der Vielseitigkeit der urbanen Strukturen ist die Einbeziehung von Flächen-, Patch-, Kanten- und Distanzmaßen sowie Maßen der räumlichen Verteilung erforderlich.
- Die Untersuchungen zeigen, daß das vorgestellte Set, der elf Strukturmaße zur Unterscheidung der verschiedenen urbanen Strukturen ausreicht.
- Anhand des Flächenmaß „%Land“ kann ein erster Eindruck über die unterschiedliche Zusammensetzung der verschiedenen Stadtviertel gewonnen werden. Die Analyse dieses Indizes zeigt, daß die vier Stadt

teiltyten aufgrund ihrer unterschiedlichen Nutzung über differenzierte Zusammensetzungen der Landschaftselemente verfügen. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 1)

- Das Maß %Land zeigt, daß die Citybereiche die höchsten Werte der Bebauungsdichte aufweisen. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 2)
- Ebenfalls bestätigt der Index %Land, daß die Bebauungsdichte innerhalb der gründerzeitlichen Wohngebiete höher ist als innerhalb der Plattenbausiedlungen. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 3)
- Die Aussagen des Flächenmaßes %Land zur Dichte der Bebauung, der Ausstattung mit Grünflächen sowie der inneren Struktur der Stadtviertel können durch die Patchmaße untermauert und differenziert werden. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 1)
- Neben der Patchdichte muß vor allem dem Index MPS ein hoher Stellenwert eingeräumt werden, da ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der mittleren Patchgröße und dem Grad der Fragmentierung besteht. Anhand der MPS-Werte der Klassen- und Landschaftsebene konnte festgestellt werden, daß die Citybereiche sowie die gründerzeitlichen Wohngebiete über einen höheren Fragmentierungsgrad verfügen als die Plattenbausiedlungen und die Mischgebiete. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 4)
- Ferner kann über die Kantenmaße und die Distanzmaße eine Einschätzung des Fragmentierungsgrades der verschiedenen Stadtviertel gewonnen werden. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 4)
- Die berechneten Formmaße MSI und DLFD erweisen sich zur Differenzierung der unterschiedlichen Stadtteile als unzureichend, da sich die urbane Landschaft primär aus anthropogenen Landschaftselementen zusammensetzt. Infolgedessen werden die Formen der wenigen natürlichen Patches durch die anthropogenen Patches beeinflusst. Eine weitere Ursache muß im Auflösungsvermögen des Sensors des Landsat-TM gesehen werden. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 5)
- Zur Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Verteilung der unterschiedlichen Landschaftselemente erweisen sich sowohl die beiden Maße der räumlichen Verteilung, CONTAG und IJI, als auch die Distanzmaße als geeignet. Die Annahme einer gleichmäßigeren Patchverteilung innerhalb der Wohngebiete kann jedoch nicht bestätigt werden. (vgl. Tabelle 9, Hypothese 6)

## 9.2 Landschaftsstrukturmaße zum Monitoring urbaner Strukturen

Der politische Umbruch 1989 hat, durch veränderte rechtliche Rahmenbedingungen, zu Veränderungen der Stadtstruktur und der Flächennutzung geführt. (s. Kap. 5.2.4) Im folgenden werden die vier verschiedenen Stadtteiltypen hinsichtlich ihrer strukturellen Veränderung im Zeitraum 1992 bis 1999 analysiert. Ausgehend von der Annahme, daß sich die, durch die Transformationsprozesse hervorgerufenen, unterschiedlichen Veränderungen in der Landschaftsstruktur niederschlagen, ist es das primäre Ziel, die Sensitivität der verschiedenen LSM in bezug auf die vollzogenen Landschaftsveränderungen zu untersuchen und folgende Annahmen zu bestätigen:

<i>Hypothese</i>	<i>Begründung</i>	<i>Erfassbar über LSM</i>
<b>Citybereich</b>		
1) <b>Die Transformationsprozesse führen zu</b> einer veränderten Landschaftszusammensetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung zur Erhöhung der Attraktivität der Innenstädte und zur Erhaltung der oberzentralen Funktionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> <li>▪ ED</li> </ul>
a) Zunahme der hoch verdichteten Bereiche b) Abnahme der natürlichen Klassen		
2) ...zur Entstehung einer größeren mittleren Patchgröße, bei gleichzeitiger Abnahme der Patchdichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durch die Verdichtung der bebauten Bereiche kommt es dazu, daß Landschaftselemente der gleichen Klassen zusammenwachsen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PD</li> </ul>
3)...zu einer Homogenisierung der Landschaftsstruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung zur Erhöhung der Attraktivität der Innenstädte</li> <li>▪ Schließen von Baulücken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PSSD</li> </ul>
4)...zu einer Veränderung der mittleren Entfernungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung</li> <li>▪ Bebauung findet z.T. auf Kosten der Grünflächen statt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> </ul>
5)...zu einer Abnahme der Formkomplexität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zunahme des anthropogenen Einflusses</li> <li>▪ Zusätzliche Bebauung</li> <li>▪ Verdrängung natürlicher Landschaftselemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSI</li> <li>▪ DLFD</li> </ul>
6)...zu einer ungleichmäßigeren Verteilung der Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung</li> <li>▪ Ballung vor allem der Bebauung im Zentrum der Innenstädte</li> <li>▪ Rückgang des Grünflächenanteils und der Landnutzungen mit einer geringeren Verdichtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>
<b>Gründerzeitliche Wohngebiete</b>		
7)... zu einer Veränderung der Landschaftszusammensetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung auf der einen Seite</li> <li>▪ Entdichtung und die Schaffung von Grünflächen auf der anderen Seite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> </ul>
8)...zu zwei gegenläufigen Prozessen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investitionen innerhalb der Villenviertel → Tertiärisierung &amp; Gentrification</li> <li>▪ Umwidmung von Brachflächen in Grünflächen</li> <li>▪ Integration von Grünflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> </ul>
a) Verdichtung b) Entdichtung		
9)...zu einer stärkeren Durchmischung der einzelnen Landnutzungen, woraus eine Abnahme der mittleren Patchdichte und eine Zunahme der Patchdichte resultiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zunahme der Formkomplexität aufgrund der Schaffung neuer Grünflächen</li> <li>▪ Abnahme der Formkomplexität aufgrund der zusätzlichen Bebauung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> <li>▪ ED</li> </ul>
10)...zu einer Veränderung der Formkomplexität		
11)...zu einer Verringerung der mittleren Entfernungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die unterschiedlichen Landnutzungen treten weniger geballt in Erscheinung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> </ul>
12)...zu einer gleichmäßigeren Verteilung der einzelnen Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die unterschiedlichen Landnutzungen treten weniger geballt in Erscheinung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>

<b>Hypothese</b>	<b>Begründung</b>	<b>Erfassbar über LSM</b>
<b>Plattenbausiedlungen</b>		
13)...zur Veränderung der Zusammensetzung der Landnutzung a) Zunahme der Siedlungsklassen b) Rückgang der naturnahen Klassen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung</li> <li>▪ Bebauung findet in erster Linie auf Kosten der Grünflächen statt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> </ul>
14)...zur Bildung größerer zusammenhängender Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung der Viertel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> <li>▪ ED</li> </ul>
15)...zu einer Abnahme der Formkomplexität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bebauung führt zu einer Verdrängung der naturnahen Landschaftselemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSI</li> <li>▪ DLFD</li> </ul>
16)...zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durch den Prozeß der Verdichtung und die Bemühungen der Stadtplanungsämter in diesen Vierteln die Ausstattung mit Grünflächen zu erhöhen wird die zuvor monotone Struktur aufgelockert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>
17)...zu einer Verringerung der mittleren Entfernungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durch die Verdichtung nehmen vor allem die mittleren Entfernungen zwischen den als bebaut klassifizierten Klassen ab, was zu einer insgesamt Verringerung der mittleren Distanzen führt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> </ul>
<b>Mischgebiete</b>		
18)... zu einer Veränderung der Landschaftszusammensetzung a) Zunahme der hoch verdichteten Bereiche b) Zunahme der Bauflächen c) Abnahme der naturnahen Flächen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verdichtung der Bebauung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> </ul>
19) Aus der Veränderung der Landschaftszusammensetzung resultiert eine Veränderung der Patchdichte und Patchgröße	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durch die Verdichtung der bebauten Bereiche kommt es dazu, daß Landschaftselemente der gleichen Klassen zusammenwachsen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PD</li> </ul>
20)...zu einer unterschiedlichen Entwicklung der Teilgebiete unterschiedlicher Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wohngebiete werden saniert, Baulücken z.T. geschlossen</li> <li>▪ Industriestandorte fallen zum einem brach oder werden zum anderen in Gewerbeparks umgewandelt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PSSD</li> <li>▪ MNN</li> </ul>
21)...zu einer Abnahme der Formkomplexität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bebauung führt zur Verdrängung der naturnahen Landschaftselementen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSI</li> <li>▪ DLFD</li> </ul>
22)...zu insgesamt höheren mittleren Entfernungen der Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterschiedliche Entwicklung der Teilflächen</li> <li>a) Stadterneuerung und Schaffung von Wohnraum</li> <li>b) Umwidmung von Industriegebäuden in Gewerbegebiete</li> <li>c) Verbesserung der Ausstattung mit Dienstleistungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> </ul>
23)...zu einer ungleichmäßigeren Verteilung der Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterschiedliche Entwicklung der Teilflächen</li> <li>a) Stadterneuerung und Schaffung von Wohnraum</li> <li>b) Umwidmung von Industriegebäuden in Gewerbegebiete</li> <li>c) Verbesserung der Ausstattung mit Dienstleistungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>
24)...zu einer weitläufigeren Landschaftsstruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zusammenwachsen der Landschaftselemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> <li>▪ ED</li> </ul>

Tabelle 10: Hypothesenaufstellung zur Erfassung der strukturellen Veränderungen anhand von LSM

Quelle: eigener Entwurf

## Innenstädte: Leipzig und Halle

Durch die erhöhte Bautätigkeit und die Ansiedlung von großen Gewerbeparks am Stadtrand der Städte, haben die Innenstädte in den neuen Bundesländern nach der politischen Wende einen Funktionsverlust erfahren. Zur Attraktivitätsverbesserung der Innenstädte sind folgende Prozesse zu beobachten: Zum einen wird durch die Schließung von bestehenden Baulücken und die Sanie

rung der Gebäude die Wiederherstellung des innerstädtischen Flairs angestrebt. Zum anderen sollen die Innenstädte für Banken und Versicherungen attraktive Standorte bieten. Demzufolge waren die Innenstädte von Leipzig und Halle in den Folgejahren der politischen Wende einer regen Bautätigkeit unterworfen. Diese führte, in Hinblick auf die Struktur dieser Stadtteile, in erster Linie zu einer starken Verdichtung. (GRUNDMANN ET AL, 1996: 40)

Insgesamt hat die Tertiärisierung der Innenstadt und die daraus resultierende Verdichtung auf der Analyseebene der Landschaft eine Verringerung der Patchdichte sowie eine Vergrößerung der mittleren Patchgröße zur Folge. Bei gleichzeitiger Abnahme der Werte der PSSD führte der Verdichtungsprozeß zu einer Verringerung der Heterogenität der mittleren Patchgröße. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1)

Die Flächenindizes der Klassenebene zeigen, daß durch den Prozeß der Verdichtung in erster Linie der Flächenanteil der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ zugenommen hat. Die prozentuale Erhöhung der Flächenanteile dieser Klasse beläuft sich in Leipzig auf 4,37% und in Halle auf 2,4%. Ferner ist eine Zunahme des Flächenanteils der Landnutzungs Klasse „Flächen ohne Vegetation“ von durchschnittlich 1,6% festzustellen. Da sich innerhalb der Innenstädte keine landwirtschaftlichen Flächen befinden, werden durch diese Klasse keine landwirtschaftlichen Brachflächen, sondern ausschließlich Bauflächen erfaßt. Der Flächenzuwachs dieser Klasse verdeutlicht, daß die regen Bautätigkeit innerhalb der Innenstädte im Frühjahr 1999 noch nicht abgeschlossen waren. Die prozentuale Abnahme der Klassen der geringeren Verdichtungsstufen und der Grünflächen an der Gesamtlandschaft, verdeutlicht, daß sich die Verdichtung der Innenstädte auf Kosten von Grün- und Freiflächen vollzogen hat. Während sich der Flächenanteil der Klasse „Grünflächen“ in Leipzig von 1,96% auf 1,05% verringert hat, ist diese Klasse in der Innenstadt von Halle vollständig verdrängt worden.

Die Erhöhung des Flächenanteils der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ erfolgt gleichzeitig mit einer Zunahme der Patchdichte und einer leichten Abnahme der mittleren Patchgröße. Somit weisen die Patches dieser Klasse, trotz der prozentualen Zunahme eine stärkere Fragmentierung auf. Des Weiteren wird der Bedeutungsverlust der Siedlungsklassen mit geringem Verdichtungsgrad, durch die Abnahme der Patchdichte erfaßt. In Leipzig beispielsweise hat die Patchdichte der Klasse „Siedlung mit geringer Verdichtung“ zwischen 1992 und 1999 von 39,2 Patches pro 100ha auf 19,98 Patches pro 100ha abgenommen. Ferner weist die Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ einen Rückgang in ihrer mittleren Patchgröße auf. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, daß sich die Ausbreitung der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ in die Gebiete der zuvor als mittlere Verdichtung eingestuften Bereiche vollzogen hat, voraus eine höhere Fragmentierung der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ resultiert. Auffällig sind zudem

die veränderten Werte der Patchindizes der Klasse „Grünflächen“. Innerhalb der Leipziger Innenstadt nimmt die mittlere Patchgröße dieser Klasse, trotz des prozentualen Rückgangs an der Gesamtfläche, zu. Diese Entwicklung bestätigt die Bemühungen seitens der Stadtplanung, die innerstädtischen Grünanlagen zu fördern und zu erhalten. Auf der einen Seite werden zwar Grünflächen durch die Bebauung und Verdichtung verdrängt, auf der anderen Seite entstehen jedoch neue Grünflächen. (WWW.LEIPZIG.DE) Ferner werden für die beiden Landnutzungsklassen „Siedlung mit geringer Verdichtung“ und „Flächen ohne Vegetation“ für die beiden Innenstädte Halle und Leipzig unterschiedliche Entwicklungen der mittleren Patchgröße ermittelt. Während sich die MPS-Werte dieser Klassen in Leipzig reduziert haben, kann für Halle eine Zunahme beobachtet werden. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.3)

Auf der Ebene der Landschaft wird die Verdichtung der Innenstädte ebenfalls durch die Abnahme der Kantendichte registriert. Mit der Zunahme der mittleren Patchgröße haben sich die Werte der Kantendichte verringert. Die Werte der Klassenebene zeigen, dass die gesamte Abnahme primär durch die veränderten Kantenmaße der Klasse „Siedlung mit mittlerer und geringer Verdichtung“ hervorgerufen werden. Beispielsweise haben sich in der Leipziger City die ED-Werte der Klasse „Siedlung mit geringer Verdichtung“ von 90,54m pro 100ha auf 39,11m pro 100ha, die der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ von 92,86m pro 100ha auf 81,88m pro 100ha reduziert.

Bereits bei der monotemporalen Interpretation der LSM konnte über die Formmaße keine Differenzierung der unterschiedlichen urbanen Strukturen erfolgen. Aus diesem Grund bildet sich der Prozeß der innerstädtischen Verdichtung nicht in den beiden Formmaßen ab. So zeigen die beiden Indizes auf der Landschaftsebene gegenläufige Entwicklungen für die beiden Innenstädte Leipzig und Halle auf. Der Mean-Shape-Index erfährt zwischen 1992 und in Halle insgesamt eine Abnahme von 0,07. Gleichzeitig weist der 1999 im Vergleich zu 1992 höhere Wert der Fraktalen Dimension auf eine Zunahme der Formkomplexität von 0,14 hin. Im Gegensatz zur Innenstadt von Halle beschreiben die beiden Formmaße für Leipzig keine Veränderung der Formkomplexität. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.3) Ebenfalls kann über die veränderten Werte der Formmaße der verschiedenen Landnutzungsklassen keine eindeutige Aussage zur Richtung der Veränderung der Formkomplexität getroffen werden. Als Ursache wird auch hier der hohe Einfluß des Menschen auf die Formgestalt sowie die Auflösung des Landsat-TM gesehen. (s.7.4.1)

Auf der Analyseebene der Landschaft hat der Prozeß der Verdichtung zu einer Verringerung der mittleren Distanzen zum „Nächsten Nachbar“ und einer Zunahme der Varianz der mittleren Entfernung geführt. Die Distanzmaße der unterschiedlichen Landnutzungsklassen zeigen, daß der gesamte Rückgang der mittleren Distanz, in erster Linie durch die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ hervorgerufen wird. Während z.B. in Leipzig die mittlere Entfernung dieser Klasse 1992

noch 35,81m betrug, wurde für 1999 eine Senkung auf 31,87m festgestellt. Ebenfalls hat sich der MNN-Wert der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ verringert, wohingegen sich die MNN-Werte für alle anderen Landnutzungsklassen erhöht haben.

Insgesamt führte die Entwicklung zu einer ungleichmäßigeren Verteilung der unterschiedlichen Landschaftselemente. Beide Maße der räumlichen Verteilung weisen für den Zeitraum zwischen 1992 und 1999 abnehmende Werte auf.

Auf der Klassenebene nimmt vor allem der IJI-Wert der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“, zu. Diese Zunahme weist darauf hin, daß die Patches dieser Klasse durch die bauliche Verdichtung 1999 gleichmäßiger im Raum verteilt sind als 1992. Trotz der gestiegenen IJI-Werte, weist diese Klasse im Vergleich zu den übrigen Landnutzungsklassen die schlechteste Verteilung über den gesamten Raum auf. Somit wird die Ballung der Patches der Landnutzungsklasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ im Zentrum der Innenstädte sowie die Randlage der anderen Landnutzungsklassen erfaßt.

#### Gründerzeitliche Wohngebiete Gohlis und die südl. Innenstadt von Halle

Die gründerzeitlichen Stadtteile Gohlis sowie die südliche Innenstadt von Halle weisen beide eine zentrale Lage innerhalb des jeweiligen Oberzentrums auf. Die Viertel sind in erster Linie in den Jahrzehnten nach der Reichsgründung im Jahre 1871 entstanden. Vor allem der Stadtteil Gohlis erfuhr während des Zweiten Weltkrieges keine großflächige Zerstörung. Der Krieg hinterließ zwar Lücken in der Bebauung, jedoch blieben die zur Gründerzeit entstandenen Häuser weitgehend erhalten. Neben größeren Villen mit einer lockeren Bebauung, sind diese Stadtviertel durch traditionelle Handwerker- und Arbeiterwohnungen mit einem höheren Verdichtungsgrad gekennzeichnet. (GRUNDMANN ET AL, 1996: 73ff)

Nach der Wende setzte in den gründerzeitlichen Wohngebieten eine rege Bautätigkeit ein. Während die villenähnlichen Gebäude in erster Linie von privaten Investoren saniert und teilweise an Diestleistungsunternehmen vermietet wurden, kann das Interesse an den übrigen Häusern als gering eingestuft werden. Deshalb hat die Stadt Leipzig in Gohlis zwei Sanierungsgebiete ausgewiesen. Neben der Sanierung der Gebäude wird angestrebt, die Baulücken zu schließen und bestehende Freiflächen in Grünflächen umzuwandeln. (GRUNDMANN ET AL, 1996: 73ff)

Die Klassenwerte des Flächenmaßes %Land zeigt für den Stadtteil Gohlis eine Abnahme der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ von 3,47%. Gleichzeitig haben sich die Flächenanteile der Klassen „Siedlung mit hoher Verdichtung“, „Flächen ohne Vegetation“ und „Grünflächen“ erhöht. Diese Veränderungen beschreiben die beiden Prozesse der Ver- und Entdichtung innerhalb von

Gohlis. 1992 nahm die Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ einen hohen prozentualen Flächenanteil von 17,22% an. Zum einem führten die Bautätigkeiten und die damit verbundene Schließung von Baulücken innerhalb der Villenviertel zu einer Verdichtung, und somit zu einer Zunahme der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“. Zum anderen kam es innerhalb der Handwerker- und Arbeiterwohngebiete neben der Sanierung von Gebäuden zu einer Umwidmung der Frei- in Grünflächen, was zu einer Zunahme der Klasse „Grünflächen“ von 1,91% führte.

Im Gegensatz zu den Plattenbausiedlungen (s. nächster Abschnitt) beschreiben die Patchmaße für die gründerzeitlichen Wohngebiete einen gegenläufigen Trend. Während die Patchdichte in Grünau und Halle Neustadt einen Rückgang erfahren hat, ist hier eine Zunahme der Patches pro Einheitsfläche festzustellen. Diese Zunahme deutet, wie auch der Rückgang der mittleren Patchgröße, auf eine stärkere Fragmentierung dieser Wohngebiete hin. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1) Ebenfalls hat sich der Wert der Standardabweichung der mittleren Patchgröße im Betrachtungszeitraum verringert, so daß ein Zerfall zuvor relativ großer Patches in mehrere kleinere Landschaftselemente beschrieben wird. Darüber hinaus weisen die Werte der Patch- und Kantendichte der Landschaftsebene auf eine stärkere Durchmischung der einzelnen Klassen untereinander und eine gestiegene Zerschneidung der Landschaftselemente hin. Über den temporalen Vergleich der PD- und ED-Werte der Klassenebene zeigt sich die erhöhte Fragmentierung in einer Zunahme dieser Werte für die Klassen „Flächen ohne Vegetation“, „Grünflächen“ sowie „Siedlungen mit mittlerer und hoher Verdichtung“.

Zwischen 1992 und 1999 nimmt der MNN-Wert der Landschaftsebene ab und beschreibt somit gleichermaßen die bessere Durchmischung der einzelnen Landnutzungsklassen. Auffällig ist die Zunahme der mittleren Distanzwerte der Klasse „Grünflächen“, die auf eine Konzentration dieser Flächen auf einige wenige Standorte hindeutet. (vgl. Anhang, Kap. 13.6 )

Eine gleichmäßigere Verteilung der einzelnen Landnutzungsklassen kann anhand der Indizes IJI und CONTAG nicht bestätigt werden, da die beiden Maße einen gegenläufigen Trend beschreiben. Während das Landschaftsstrukturmaß CONTAG für Gohlis eine gleichmäßigere Verteilung der Landschaftselemente aufzeigt, weist der Index IJI für den gleichen Zeitraum auf eine ungleichmäßigere Verteilung hin. Für die südliche Innenstadt von Halle ergibt sich ein umgekehrtes Bild. Hier wird durch das Maß CONTAG eine ungleichmäßigere Verteilung erfaßt, wohingegen der Index IJI eine gleichmäßigere Verteilung aufzeigt.

**Plattenbausiedlungen: Grünau und Halle Neustadt**

Im Zuge der Wohnraumproblematik der DDR entstanden die Plattenbausiedlungen in den 1970er Jahren vorwiegend auf zuvor agrarisch genutzten Flächen. Bis heute wird das unmittelbar umliegende Land der beiden Testgebiete landwirtschaftlich genutzt. (PRO LEIPZIG, 1996A: 29) Nach 1990 setzte in beiden Teillandschaften eine enorme Verdichtung ein. Hervorgerufen wurde diese zum einen durch den individuellen Wohnungsbau, da noch zahlreiche freie Grundstücke existierten. (PRO LEIPZIG, 1996A: 40) Zum anderen verfügten diese Stadtteile nur über eine unzureichende Ausstattung sowohl an Versorgungs- als auch an infrastrukturellen Einrichtungen. Um diese Versorgungslücke zu beheben, wurde z.B. in Grünau ein Stadtteilzentrum mit einer Gesamtfläche von 24000m<sup>2</sup> errichtet. (GRUNDMANN ET. AL., 1996: 147)

Die Bautätigkeit führte zwischen 1992 und 1999 zur Entstehung größerer zusammenhängender Patches. Auf der Analyseebene der Landschaft bildet sich die bauliche Verdichtung der Stadtteile in einer geringen Zunahme der mittleren Patchgröße und einer Verringerung der Patchdichte ab. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1)

Darüber hinaus zeigen die Klassenwerte, daß sich die Flächenanteile der beiden Landnutzungsclassen „Siedlung mit mittlerer und hoher Verdichtung“ auf Kosten der übrigen Klassen erhöht haben. Ein Vergleich zwischen Halle Neustadt und Grünau verdeutlicht, daß der Flächengewinn der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ deutlich höher ist, als der, der hoch verdichteten Bereiche. Ebenfalls zeigt der Vergleich der beiden Stadtteile, daß der Grad der Verdichtung in Halle Neustadt mit einer Zunahme der Flächenanteile der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ von 16,47% wesentlich höheren ausfällt als in Grünau. Die erhöhte Bautätigkeit wird zudem durch die Zunahme des Flächenanteils der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ abgebildet. Ebenso wird die bauliche Verdichtung dieser Stadtteile anhand der Strukturmaße PD und MPS bestätigt. Beide Werte weisen für die Landnutzungsclassen „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ eine Zunahme auf.

Trotz des absoluten Rückgangs der Grünflächen von 3,3% in Grünau und 4,34% in Halle Neustadt, verzeichnen diese Klassen eine Zunahme der mittleren Patchgröße von durchschnittlich 0,41ha. Somit werden erste Erfolge der Bemühungen der Stadtplanung die Ausstattung mit Grünflächen zu verbessern, erfaßt.

Die Abnahme der Kantendichte auf der Landschaftsebene charakterisiert ebenfalls den Prozeß der Verdichtung. Angesichts der Zunahme der mittleren Patchgröße, haben sich die Werte der Kantendichte verringert.

Die Distanzmaße weisen auf der Landschaftsebene für beide Stadtteile eine geringe Abnahme der mittleren Distanzen auf. Durch den Prozeß der Verdichtung wurde eine gleichmäßigere Verteilung

unterschiedlicher Patches hervorgerufen, was ebenfalls durch die höheren Werte der Indizes IJI und CONTAG bestätigt wird. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1) Über die Analyse der Klassenwerte zeigt sich, daß der Rückgang der mittleren Distanz zum „Nächsten Nachbar“ durch die beiden Landnutzungsklassen „Siedlung mit mittlerer und hoher Verdichtung“ hervorgerufen wird. Beide Klassen weisen 1999 geringere mittleren Distanzen von durchschnittlich 35,88m auf. Gleichzeitig haben die Landnutzungsklassen „Siedlung mit geringer Verdichtung“ und „Flächen ohne Vegetation“ eine Erhöhung der mittleren Distanz zwischen benachbarten Patches erfahren. Da sich für die Klasse „Grünflächen“ die mittlere Distanz in Grünau um 12,74m und in Halle Neustadt um 11,29m deutlich verringert hat, werden die Bemühungen der Stadtplanungsämter die Ausstattung mit öffentlichen Grünflächen zu erhöhen, auch über die Distanzmaße erfaßt. Untermauert wird die gleichmäßigere Verteilung der Landnutzungsklasse „Grünflächen“ zudem durch die Zunahme der IJI-Werte.

#### Mischgebiete: Plagwitz und Freiimfelde

Die beiden Stadtviertel Plagwitz und Freiimfelde charakterisieren typische Mischgebiete. Neben industriell genutzten Flächen sind ebenfalls Standorte des Gewerbes sowie Wohnstandorte zu finden. Aus diesem Grund weisen die beiden Stadteile Plagwitz und Freiimfelde keine einheitliche Struktur auf. Der Stadtteil Plagwitz kann z.B. in die drei Teile Wohnen/Gewerbe, Gewerbe/Industrie und Industrie gliedert werden. (PRO LEIPZIG, 1996B: 42)

Infolge des Transformationsprozesses von der zentralen Planwirtschaft zur Marktwirtschaft traten für die angesiedelten Industriezweige Standortprobleme auf, die eine Schließung der Mehrzahl der Betriebe zur Folge hatten. Im Zusammenhang mit diesem drastischen Strukturbruch kam es in der Folgezeit im Zuge von Sanierungsvorhaben zu zahlreichen Gründungen von Handwerker- und Gewerbezentren. Folglich erfuhr ein Teil der aufgegebenen Fabrikgebäude eine neue Nutzung. *„Im Rahmen dieser neuen gewerblichen Nutzung entwickelt sich Plagwitz nicht nach den längst überholten Mustern einer Industriegesellschaft der fünfziger und sechziger Jahre, sondern ist auf dem Weg zu einem modernen Mischgebiet mit entsprechender High-Tech-Industrie, mit Handwerkern und Gewerbetreibenden, mit Büroflächen, Handels- und Dienstleistungseinrichtungen und mit guten Wohn- und Wohnumfeldbedingungen.“* (GRUNDMANN, ET. AL., 1996:123)

Innerhalb des Betrachtungszeitraumes haben sich aufgrund der Verdichtung nicht nur die Flächenanteile der Klassen „Siedlung mit mittlerer und hoher Verdichtung“ erhöht. Ebenso ist eine Zunahme der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ von durchschnittlich 3,22% festzustellen. Aufgrund dieses Wertes kann auch innerhalb der Mischgebiete von einer regen Bautätigkeit ausgegangen werden. Wie der prozentuale Rückgang der Klasse „Grünflächen“ von durchschnittlich 4,74% erkennen läßt, hat sich die Verdichtung auf Kosten dieser Klasse vollzogen. Diese Entwicklung widerspricht dem Ziel der Stadtplanungsämter, den Grünflächenanteil innerhalb der Mischgebiete zu

erhöhen. (VERGL. BREUSTE, 1995B: 178) Geringe Erfolge der Grünflächenförderung lassen sich aus der Vergrößerung der mittleren Patchgröße der Grünflächen von 200m<sup>2</sup> für den Stadtteil Plagwitz erkennen. So hat sich hier insgesamt der Flächenanteil dieser Klasse verringert, wohingegen sich die einzelnen Landschaftselemente dieser Klasse jedoch vergrößert haben. Dieser, als positiv zu bewertende Trend, kann für den Stadtteil Freimfelde nicht beobachtet werden. Hier hat sich nicht nur der Anteil an der gesamten Fläche reduziert, sondern es kam gleichzeitig zu einer Verringerung der mittleren Patchgröße der Klasse „Grünflächen“. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.3)

Die Analyse der Patchmaße zeigt für die Mischgebiete einen ähnlichen Trend wie für die Innenstädte auf. Der für die Landschaftsebene berechnete Rückgang der Patchdichte sowie die Vergrößerung der mittleren Patchdichte, werden in erster Linie durch eine zunehmende Verdichtung hervorgerufen. Die Zunahme der mittleren Patchgröße auf der Landschaftsebene erfolgt bei gleichzeitiger Zunahme der Werte der PSSD. Im Gegensatz zu den Innenstädte, in denen sich durch den Prozeß der Verdichtung eine Abnahme der Standardabweichung der mittleren Patchgröße ergab, nimmt die Heterogenität der mittleren Patchgröße in den Mischgebieten zu. Diese Entwicklung deutet darauf hin, daß sich der Prozeß der Verdichtung und die damit ein hergehende Vergrößerung der Patches nicht gleichmäßig über die gesamte Fläche dieser Teilgebiete vollzogen hat. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1)

Die Verdichtung der Mischgebiete schlägt sich auch in den veränderten Werte der Kantendichte dar. Der Rückgang der ED-Werte innerhalb des Betrachtungszeitraumes rührt aus dem Zusammenwachsen von Patches der gleichen Landnutzungsklassen. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.1)

Im Gegensatz zu der Entwicklung der Innenstädte haben sich die mittleren Distanzen zum „Nächsten Nachbar“ innerhalb der Mischgebiete erhöht. Da gleichzeitig eine Zunahme der NNSD-Werte zu beobachten ist, unterstreichen die Distanzmaße, die Annahme einer unterschiedlichen Entwicklung der Teilgebiete innerhalb der Mischgebiete. Zusätzlich wird durch die veränderten Distanzmaße der Klassenebene die Verdichtung der Stadtteile hervorgehoben. Während sich die mittlere Distanz zum „Nächsten Nachbar“ zwischen den Patches der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ um 7,12m in Plagwitz und 5,29m in Freimfelde verringert hat, ist für die übrigen Siedlungsklassen eine Erhöhung der MNN-Werte festzustellen. Aufgrund der erhöhten Bautätigkeit hat sich ferner die mittlere Distanz der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ um durchschnittlich 17,17m verkleinert. Nicht erklärt werden kann dagegen die Reduzierung der mittleren Distanz zwischen benachbarten Patches der Klasse „Grünflächen“, da sowohl das Landschaftsstrukturmaß %LAND, als auch der Index der Patchdichte auf einen Bedeutungsverlust dieser Klasse hinweisen.

Schließlich deuten die geringeren Werte der Konfigurationsmaße IJI und CONTAG auf eine ungleichmäßigere Verteilung der unterschiedlichen Patches hin. Zwischen 1992 und 1999 hat sich der IJI-Wert für den Stadtteil Plagwitz von 68,17% auf 61,47% reduziert, während das Maß CONTAG von 36,71% auf 36,59% abgenommen hat.

## Zusammenfassung

Die multitemporale Analyse der berechneten LSM hat gezeigt, daß die strukturellen Veränderungen innerhalb der vier Stadtteiltyten quantitativ erfaßt werden können. Im folgenden sind die Ergebnisse der multitemporalen Analyse zusammenfassend dargestellt:

- Um die unterschiedlichen Reaktionen auf die Transformationsprozesse quantitativ erfassen zu können, ist die Einbeziehung verschiedener Strukturmaße nötig. Beispielsweise kann der Prozeß der baulichen Verdichtung, aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen der Stadtviertel, verschiedene strukturelle Auswirkungen haben.
- Über das Flächenmaß „%Land“ kann eine erste Einschätzung über die Veränderung der Zusammensetzung der Teillandschaften abgeleitet werden. (vgl. Tabelle 10, Hypothesen 1, 7, 13 & 18) Es zeigte sich, daß in allem Testgebieten zwischen 1992 und 1999 durch den Prozeß der Verdichtung die Flächenanteile der naturnahen Klassen auf Kosten der bebauten Klassen rückläufig sind. Dieser Trend muß innerhalb zweier Großstädte mit einer geringen Ausstattung an Grünflächen als negativ bewertet werden. (s. Kap. 10)
- Der Prozeß der baulichen Verdichtung hat in den unterschiedlichen Stadtteile zu einer gegenläufigen Veränderung der Patchdichte geführt. Während es vor allem innerhalb der Innenstädte und der Mischgebiete durch die zusätzliche Bebauung zur Bildung größerer Landschaftselemente und somit zu einer Abnahme der Patchdichte kam, zeichnen sich die gründerzeitlichen Wohngebiete durch eine stärkere Fragmentierung aus. Diese Entwicklung wird ebenfalls über das Kantenmaß ED quantitativ erfaßt. (vgl. Tabelle 10, Hypothesen 2, 9, 19 & 24)
- Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen haben die Transformationsprozesse innerhalb der Citybereiche und der gründerzeitlichen Wohngebiete zu einer Homogenisierung der räumlichen Struktur geführt. Im Gegensatz hierzu beschreibt das Strukturmaß PSSD für die Mischgebiete und die Plattenbausiedlungen eine Zunahme der räumlichen Heterogenität. (vgl. Tabelle 10, Hypothese 3, 8 & 20)
- Zur Charakterisierung der Veränderungen innerhalb der betrachteten Testgebieten haben sich die Formmaße MSI und DLFD als unzureichend erwiesen. (vgl. Tabelle 10, Hypothesen 5, 10,15 & 21)
- Die unterschiedliche Entwicklung der internen Struktur kann anhand der Distanzwerte gut erfaßt und differenziert werden. Auch hier haben die Verdichtungsprozesse zu unterschiedlichen Resultaten der räumlichen Struktur geführt. Während beispielsweise innerhalb der Citybereiche auf der Analyseebene der Landschaft geringere mittlere Distanzwerte berechnet wurde, sind innerhalb der Mischgebiete höherer mittlere Distanzen festzustellen. Darüber hinaus können über die Analyse der Klassenebene Aussagen über die Erreichbarkeit unterschiedlicher Patches abgeleitet werden. Während sich z.B. innerhalb der Plattenbausiedlungen die mittleren Entfernungen zwischen den Grünflächen verringert haben, wird für die Citybereiche eine Zunahme der mittleren Distanz dieser Klasse festgestellt. (vgl. Tabelle 10, Hypothesen 4, 11, 17 & 22)
- Ferner wird durch die Untersuchung der LSM bestätigt, daß durch den Strukturwandel und die daran gekoppelten Prozesse eine unterschiedliche Entwicklung der Verteilung der Landschaftselemente im Raum hervorgerufen wurde. Während innerhalb der Wohngebiete durch den Strukturwandel die Landschaftselemente gleichmäßiger über den Raum verteilt sind, ist für die Citybereiche und die Mischgebiete ein gegenläufiger Trend zu beobachten.(vgl. Tabelle 10, Hypothesen 6, 12, 16 & 23)

### 9.3 Landschaftsstrukturmaße zur Erfassung unterschiedlicher urbaner Landschaftsstrukturen entlang von Nutzungsgradienten

Die klassifizierten TM-Daten zeigen, ausgehend von den beiden Oberzentren Halle und Leipzig, eine deutliche Abnahme der hoch verdichteten Bereiche zugunsten der Vegetationsklassen „Wald“, „Grünflächen“ und „Grün- und Ackerland“. Aufgrund des erst nach der politischen Wende einsetzenden Suburbanisierungsprozesses blieb der sternförmige Siedlungsraum, der sich entlang radialer, auf die Kernstadt ausgerichteter Verkehrsachsen herausgebildet hat, weitgehend erhalten. Anhand der berechneten LSM für die Nutzungsgradienten Leipzig-Markranstädt und Halle-Merseburg wurde geprüft, ob mit Hilfe dieser Indizes, die durch die Abnahme der Nutzungsintensität hervorgerufene Änderung in der Landschaftsstruktur quantitativ erfaßt und für die unterschiedlichen Landnutzungstypen differenziert werden kann. Die Analyse bezieht sich auf die berechneten Werte des Jahres 1999 und basiert auf folgenden Hypothesen:

<i>Hypothese</i>	<i>Begründung</i>	<i>Erfaßbar über LSM</i>
<b>Mit zunehmender Entfernung vom Zentrum</b> 1)...ändert sich die Zusammensetzung der Landschaft a) Die Bebauungsdichte nimmt ab b) Die Flächenanteile der naturnahen Klassen nehmen zu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abnehmende Bodenrente mit zunehmender Entfernung vom Zentrum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> </ul>
2)...nimmt der Grad der Zerschneidung der Landschaftselemente ab.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Großflächigere Strukturen im Umland</li> <li>▪ Geringere Dichte des Straßennetzes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ ED</li> </ul>
3) ...nimmt die mittlere Patchgröße zu, die Patchdichte ab.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Der Fragmentierungsgrad nimmt mit zunehmender Entfernung ab.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PD</li> </ul>
4) ...nimmt die Heterogenität der mittleren Patchgröße zu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neben Bereichen, die eine hohe Fragmentierung aufweisen existieren auch Bereiche mit einem geringen Fragmentierungsgrad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PSSD</li> </ul>
5)...nimmt die Formkomplexität der Landschaftselemente zu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Der anthropogene Einfluß geht zurück</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSI</li> <li>▪ DLFD</li> </ul>
6)...nehmen insgesamt die Distanzen zwischen zwei Landschaftselementen der gleichen Klasse zu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Großräumigere Strukturen im Umland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> </ul>
7)...sind die Landschaftselemente insgesamt gleichmäßiger über den Raum verteilt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Großräumigere Strukturen im Umland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>

**Tabelle 11: Hypothesenaufstellung zur Differenzierung der Landschaftsstruktur entlang von Nutzungsgradienten**

Quelle: eigener Entwurf

Die Analyse des Flächenmaßes %Land beschreibt mit zunehmender Entfernung von den beiden Oberzentren eine grundlegende Veränderung der Zusammensetzung der Landnutzungsklassen. Die Klassen der Bebauung verzeichnen mit zunehmender Entfernung vom Zentrum einen prozentualen Rückgang an der Gesamtfläche. Vor allem die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ erfährt eine erhebliche Verringerung, je weiter man sich von den Zentren entfernt. In der Zone 1 des Nutzungsgradienten Halle-Merseburg nimmt die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ einen Flä

chenanteil von 30,2%, in Zone 1 des Nutzungsgradienten Leipzig-Markranstädt von 34,33% ein. In einer Entfernung von 12km hat sich dieser auf 0,61 % (Leipzig-Markranstädt) bzw. 0% (Halle-Merseburg) verringert, so daß sich eine maximale mittlere Variabilität von 31,65% ergibt. Im Gegensatz zur Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ erfahren die Klassen „Siedlung mit mittlerer und geringer Verdichtung“ mit steigendem Abstand von den Zentren, trotz des absoluten Rückgangs der bebauten Bereiche, eine relative Zunahme. Die relativ hohen Werte der Klassen „Siedlung mit geringer und mittlerer Verdichtung“ im Umland deuten auf die Suburbanisierungsprozesse in den letzten Jahren hin. (s. auch Kap. 9.4.4) Im Kontrast zu den Siedlungsklassen nehmen die Flächenanteile der übrigen Klassen mit zunehmendem Abstand von den beiden Oberzentren zu. So steigen die Werte der landwirtschaftlichen Flächen zwischen Halle und Merseburg von 0,3% auf 14,2% an. Eine ähnliche Tendenz läßt sich für die Klasse „Flächen ohne Vegetation“ feststellen. Die relativ geringen Werte von 6,77% (Zone 1 Leipzig-Markranstädt) bzw. 4,66% (Zone 1 Halle-Merseburg) der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ im citynahen Bereich beinhalten Baulücken und bauliche Brachflächen, während die höheren Werte von 11,58% (Leipzig-Markranstädt) und 17,73% (Halle-Merseburg) in 10km Entfernung vor allem Neubaugebiete und landwirtschaftliche Brachflächen umfassen.

Die Patchmaße PD und MPS zeigen für die Teillandschaften der Nutzungsgradienten zwischen Halle und Merseburg und Leipzig und Markranstädt ein unterschiedliches Bild. Zwischen Halle und Merseburg verringert sich mit zunehmender Entfernung von Halle die Patchdichte. Die Spannweite der PD-Werte ist sehr hoch und nimmt im Zentrum der Stadt Halle den höchsten Wert von 137,78 Patches pro 100ha an. Der niedrigste Wert liegt in Merseburg bei 58,28 Patches pro 100ha. Die Ursache für die Abnahme der Patchdichte ist in der flächenmäßigen Abnahme des Straßennetzes vom Zentrum zum Umland zu sehen. Der prozentuale Anteil der Klasse „Straßen“ beträgt in Halle (Zone1) 41,2% und geht in einer Entfernung von 12km auf 14,1% zurück. Durch das engere Straßennetz innerhalb der Innenstädte weisen die einzelnen Nutzungsklassen eine stärkere Fragmentierung auf, was zu der höheren Patchdichte führt. Dagegen sind im Umland die verschiedenen Nutzungsklassen weniger zerschnitten, woraus sich eine geringere Patchdichte ergibt. (vgl. Anhang, Kap. 13.6)

Zwischen Leipzig und Markranstädt kann die kontinuierliche Abnahme der Patchdichte nicht festgestellt werden. Vielmehr weist der PD-Wert unregelmäßige Schwankungen zwischen 105 Patches pro 100ha und 136,22 Patches pro 100 ha auf. Als Ursache dieser Differenz, muß die Tatsache angesehen werden, daß zwischen Leipzig und Markranstädt die Klasse „Straßen“ keinen prozentualen Rückgang erfährt. Der prozentuale Anteil der Klasse „Straßen“ nimmt zunächst bis in 6km Entfernung vom Stadtrand der Stadt Leipzig zu und dann wieder ab. Hieraus ergibt sich im Vergleich zum Gradienten Halle-Merseburg eine höhere Dichte des Straßennetzes und infolgedessen

eine höhere Fragmentierung der Landschaftselemente. (vgl. Anhang, Kap. 13.6) An dieser Stelle sei nochmals auf den unterschiedlichen Datenursprung der Klasse „Straße“ hingewiesen. Während diese Daten für den Nutzungsgradient zwischen Halle und Merseburg aus der Biotoptypkartierung von Sachsen-Anhalt stammen, wurden sie für den Nutzungsgradienten zwischen Leipzig und Markranstädt aus der Biotoptypkartierung Sachsens selektiert. Infolgedessen besteht die Möglichkeit, daß die hohe Abweichung der Dichte des Verkehrsnetzes durch den unterschiedlichen Datenursprung verstärkt werden. Die Unterschiede der Datensätze ergeben sich vor allem aus unterschiedlichen Kartierschlüsseln.

Eng an die Werte der Patchdichte sind die Werte der mittlere Patchgröße gebunden. Die MPS-Werte verhalten sich für die beiden Nutzungsgradienten umgekehrt proportional zu den Werten der Patchdichte; d.h. zwischen Halle und Merseburg nimmt mit zunehmender Entfernung von den Oberzentren die mittlere Patchgröße zu. Das Minimum liegt in der citynahen Zone und beträgt 0,73ha. Mit einer Differenz von 0,99ha wird der maximale Werte in einer Entfernung von 12km erreicht. Im Gegensatz hierzu zeigt der MPS-Wert zwischen Leipzig und Markranstädt keinen eindeutigen Trend. (vgl. Anhang, Kap. 13.6)

Während in den citynahen Teillandschaften die bebauten Bereiche nur geringfügig von Grünflächen durchzogen sind, existieren im Umland sowohl Bereiche in denen einzelne Klassen, wie z.B. die „Siedlungsklassen“ geballt auftreten, als auch Gebiete, in denen die verschiedenen Landnutzungsklassen stärker durchmischt sind. Hieraus resultiert eine größere Variabilität der Patchgröße. Ab einer Entfernung von 4km von den beiden Oberzentren weist die Mehrzahl der Teillandschaften einen höheren PSSD-Wert als unmittelbar am Stadtrand auf. Folglich zeichnet sich die größere Heterogenität der Patchgröße in den Umlandzonen in den PSSD-Werten ab. (vgl. Anhang, Kap. 13.6)

Die PD-Werte der unterschiedlichen Landnutzungsklassen unterstreichen die Dominanz der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ in den zentrumsnahen Zonen. Zwischen Halle und Merseburg liegen die Werte der Patch Dichte für diese Klasse bis zu einer Entfernung von 2km im Mittel bei 54,67 Patches pro 100ha, wohingegen in 10km Entfernung der PD-Wert 1,71 Patches pro 100ha beträgt. Ebenso kann der Rückgang der PD-Werte der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ für den Gradienten zwischen Leipzig und Markranstädt ab einer Entfernung von 8km von Leipzig festgestellt werden. Hier zeigen zusätzlich die MPS-Werte, daß nicht nur die Anzahl der Patches der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ mit zunehmender Entfernung zurückgeht, sondern sich ebenfalls die mittlere Patchgröße von 1,07ha (Zone 1) auf 0,16ha (Zone7) verringert hat. Folglich wird die Abnahme der Bebauungsdichte durch die Patchindizes erfaßt.

Für den Nutzungsgradienten zwischen Halle und Merseburg nehmen die MPS-Werte für die Klassen „Siedlung mit geringer und mittlerer Verdichtung“, und der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ mit zunehmender Entfernung höhere Werte an, als am unmittelbaren Stadtrand. Diese Tatsache kann ebenfalls über den geringeren Fragmentierungsgrad der Landschaft aufgrund der geringeren Dichte des Verkehrsnetzes erklärt werden.

Mit zunehmender Entfernung vom Zentrum nehmen die Werte der Kantendichte auf der Landschaftsebene im Mittel von 304,6m pro 100ha auf 211,2m pro 100ha ab. Als mögliche Ursache dieser Abnahme kann der prozentual höhere Flächenanteil der Klasse „Grün- und Ackerland“ angesehen werden, da diese Flächen, aufgrund der Effektivität und der Effizienz der Bewirtschaftung durch eine geringere Fragmentierung gekennzeichnet sind. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.4 & 13.6.5)

Ebenfalls wird der Nutzungsgradient mit den berechneten Formmaßen auf der Landschaftsebene erfaßt. Sowohl der MSI als auch die Werte der fraktalen Dimension zeigen mit zunehmendem Abstand vom Zentrum eine Zunahme der Formkomplexität. Die niedrigsten MSI-Werte werden für die citynahen Bereichen berechnet und liegen in Halle bei 1,3 und Leipzig bei 1,26. Das Maximum wird in einer Entfernung von 8km erreicht und weist einen Wert von 1,38 (Leipzig-Markranstädt) und einen Wert von 1,53 (Halle-Merseburg) auf. Ferner werden in den zentrumsnahen Zonen die niedrigsten DLFD-Werte erreicht. Die maximale Variabilität liegt auch hier in einer Entfernung von 4 bis 10km von den Oberzentren. Die Zunahme der Formkomplexität resultiert aus der veränderten Zusammensetzung der Landbedeckung und zwar in erster Linie aus dem flächenmäßigen Anstieg der naturnahen Klassen, da diese über eine höhere Formkomplexität als anthropogen geschaffene Formen verfügen. (FROHN, 1998: 2, MENZ, 1998: 109) In einer Entfernung von 10km nimmt die Formkomplexität wieder leicht ab. Dies wird durch einen mittleren Anstieg der MSI-Werte auf 1,35 und der DLFD-Werte auf 1,40 deutlich. Als Ursache für den Rückgang der Formkomplexität muß der erhöhte Anteil der anthropogen beeinflussten Klassen in den Städten Merseburg bzw. Markranstädt angesehen werden. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.4)

Über die Analyse der Formmaße auf Klassenebene sind keine genauen Aussagen möglich. Sowohl die MSI-Werte als auch die Werte der fraktalen Dimension weisen mit zunehmender Distanz vom Zentrum für sämtliche Klassen keinen eindeutig erkennbaren Trend auf. Zu ähnlichen Ergebnissen kam HULSHOFF (1995) bei einer Strukturanalyse eines Landschaftsausschnitts in den Niederlanden. Über die Formkomplexität war es ihm nicht möglich, die unterschiedlichen Typen der Landbedeckung zu unterscheiden. Als Ursache hierfür kann die Tatsache angesehen werden, daß die Patches der natürlichen Landbedeckungsklassen Relikte sind. Ihre Form wird daher durch ihre anthropogen geformten Nachbarpatches beeinflusst. (HULSHOFF, 1995: 107) Die anthropogene Beeinflussung der Patchformen der natürlichen Klassen ist zu dem als sehr hoch einzustufen, da sich das gesamte Untersuchungsgebiet innerhalb einer Stadtregion befindet. Ebenso ist über die

Auflösung des Landsat-TM von 30m eine detaillierte Erfassung der unterschiedlichen Formen nicht möglich, da einzelne Landschaftselemente z.T. in Form von Mischpixeln erfaßt werden. (s. auch 7.4.1)

Die Maße der „Nächsten Nachbarschaft“ nehmen auf der Ebene der Landschaft mit zunehmendem Abstand von den beiden Oberzentren Halle und Leipzig größere Werte an. Die maximale Variabilität beträgt zwischen Leipzig und Markranstädt 17m und 22,4m zwischen Halle und Merseburg. Als mögliche Ursache kann die veränderte Zusammensetzung der Teillandschaften herangezogen werden. Innerhalb der zentrumsnahen Teilgebiete dominieren die Siedlungsklassen und haben folglich den entscheidenden Einfluß auf den MNN-Wert der Landschaftsebene. Während die Siedlungsklassen in den zentrumsnahen Bereichen relativ geballt in Erscheinung treten, nimmt mit zunehmender Entfernung der Anteil der „naturnahen“ Klassen zu. Hieraus resultiert eine lockerere Bebauung, so daß die Abstände zwischen den Siedlungsklassen größer werden. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.4) Ein Blick auf die Klassenebene zeigt, daß im Umland<sup>16</sup> nicht nur die Siedlungsklassen einen hohen Werte der „Nächsten Nachbarschaft“ aufweisen, sondern ebenfalls zwischen den benachbarten Landschaftselementen der Klasse „Grünflächen“ hohe mittlere Distanzen bestehen. Die durchschnittlichen MNN-Werte dieser Klassen betragen im Umland 79,40m (Siedl. hohe Verdichtung) bzw. 169,06m (Grünflächen). (vgl. Anhang, Kap. 13.6.5)

Die Analyse der Distanzmaße auf der Klassenebene zeigt für die verschiedenen Landnutzungsklassen unterschiedliche Werte entlang der Gradienten. So nimmt innerhalb der zentrumsnahen Zonen<sup>17</sup> die mittlere Distanz der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ zum „Nächsten Nachbar“ relative geringe Werte an. In Leipzig steigt die mittlere Entfernung dieser Klasse ab einer Distanz von 6km vom Zentrum von durchschnittlich 33,3m sprunghaft auf 108m an. Die Zunahme der mittleren Entfernung zwischen den Patches der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ tritt zwischen Halle und Merseburg schwächer in Erscheinung, als zwischen den Städten Leipzig und Markranstädt. Zwar steigen die MNN-Werte bereits ab einer Entfernung von 4km von Halle um 15,57m an, ein vergleichsweise hoher Anstieg der mittleren Distanzwerte wie zwischen Leipzig und Markranstädt bleibt hier jedoch aus.

Betrachtet man die MNN-Werte der Klasse „sonstige Grünflächen“ entlang der Gradienten so fallen zwischen Leipzig und Markranstädt zwei Teilflächen mit besonders hohen MNN-Werten auf. In 6km Entfernung von Leipzig beträgt der MNN 482,1m und in 12km Entfernung 320,9m. Diese hohen Werte deuten auf eine schlechte Versorgung mit Grün- und somit Erholungsflächen dieser beiden Teillandschaften hin. Die Werte der prozentualen Flächenanteile bestätigen, daß die Aus

---

<sup>16</sup> Unter dem Begriff „Umland“ sind an dieser Stelle die Zonen 4-7 zusammengefaßt.

<sup>17</sup> Unter dem Begriff „zentrumsnahe Zonen“ werden an dieser Stelle die Zone 1-3 zusammengefaßt.

stattung mit Grünflächen in diesen beiden Zonen mit 0,23% (Zone 3) bzw. 0,34% (Zone 7) noch geringer als in der dem Zentrum der Stadt Leipzig nächstgelegenen Zone ausfällt. Als Ursache der geringen Ausstattung mit Grünflächen kann eine erhöhte Bautätigkeit innerhalb dieser beiden Gebiete angesehen werden, da sich der prozentuale Flächenanteil der Klasse „Grünland“ zugunsten der bebauten Bereiche bzw. zugunsten von Bauflächen reduziert hat. (s. auch Kap. 9.4.4) Ebenso wird für die Zone 3 des Nutzungsgradienten Halle-Merseburg ein hoher MNN-Wert von 498,87m ermittelt. Dieser wird primär durch eine geringe Patch Dichte von 0,73 Patches pro 100 ha und einem relativ hohem MPS-Wert von 1,67ha hervorgerufen. Ein Vergleich mit dem Index %Land zeigt, daß die Ausstattung dieser Teilfläche mit Grünflächen (Flächenanteil von 1,22%) deutlich höher als in der citynahen Zone (0,61%) ist. Folglich müssen die großen mittleren Distanzen zwischen den Patches der Klasse „sonstige Grünflächen“ über die geringe Anzahl der Landschaftselemente erklärt werden.

Trotz der höheren Flächenanteile der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ im Umland weist diese Klasse relativ konstante MNN-Werte für sämtliche Zonen der Gradienten auf. So nimmt zwar der prozentuale Flächenanteil dieser Klasse mit zunehmender Distanz vom Zentrum im Mittel von 5,71% auf 7,49% zu, gleichzeitig vergrößert sich jedoch auch die mittlere Patchgröße von durchschnittlich 0,39ha auf 0,58ha. Aufgrund dieser Werte kann davon ausgegangen werden, daß die Flächen der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ im Umland relativ konzentriert, in Form von größeren Bauland- und landwirtschaftlichen Brachflächen auftreten. Schließlich nehmen die MNN-Werte der Klasse „Grün- und Ackerland“ ab einer Entfernung von 6km (Leipzig-Markranstädt) bzw. 8km (Halle-Merseburg) von den beiden Oberzentren aufgrund der höheren Flächenanteile und der größeren Patchdichte ab.

Die auf der Analyseebene der Landschaft berechneten MNN-Werte des Umlandes lassen auf eine ungleichmäßigere Verteilung der Patches schließen. Ein Vergleich mit den beiden Konfigurationsmaßen zeigt jedoch ein gegenteiliges Bild, da beide Maße eine Zunahme aufweisen. So nimmt z.B. der CONTAG zwischen Halle und Merseburg von 28,9% auf 37,81% zu. Folglich wird über diese Zunahme eine gleichmäßigere Verteilung der Patches im Umland erfaßt. Durch die lockere Bebauung im Umland sind die unterschiedlichen Siedlungsklassen zum einem stärker in sich und zum anderen stärker mit den Vegetationsklassen durchmischt. Im Gegensatz zum CONTAG nimmt der IJI mit zunehmender Distanz nicht kontinuierlich zu. Ab einer Distanz von 10km nimmt der Werte dieses Indizes wieder leicht ab. Diese Abnahme wird durch die ungleichmäßigere Verteilung der einzelnen Landbedeckungsklassen innerhalb der beiden Städten Markranstädt und Merseburg hervorgerufen.

Die IJI-Werte der Klassenebene zeigen, daß die Grünflächen in der citynahen Zone ungleichmäßiger verteilt sind als in den umliegenden Zonen. Während die Werte in den zentrumsnahen Zonen 39,78% (Leipzig) bzw. 41,56% (Halle) erreichen, liegen die IJI-Werte bereits in 2km Entfernung bei 73,5% (Leipzig) bzw. 65,34% (Halle). Ein ähnliches Bild stellen die IJI-Werte für die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ dar. Zwischen Leipzig und Markranstädt geht der IJI-Wert zwischen Zone 1 und Zone 2 zunächst um 7,83% zurück, steigt dann aber kontinuierlich an. Die Variabilität der IJI-Werte verdeutlicht, daß die Flächen der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ in unmittelbarer Nähe zu den Zentren ungleichmäßiger als im entfernten Umland verteilt sind. Als Ursache dieser ungleichmäßigen Verteilung der stark verdichteten Bereiche in Zentrumsnähe, kann die Tatsache angesehen werden, daß die Flächen dieser Klasse auf der einen Seite zwar einen Großteil der gesamten Fläche in Anspruch nehmen, auf der anderen Seite jedoch geballt auftreten und nur wenig von anderen Klassen durchdrungen werden. (s. auch 9.4.1) Im Umland ist der Flächenanteil dieser Klasse zwar geringer, die einzelnen Flächen sind jedoch kleiner und somit besser über die gesamte Fläche verteilt. Auch die IJI-Werte der Klassen „Siedlung mit geringer und mittlerer Verdichtung“ nehmen überwiegend mit zunehmender Distanz von den beiden Oberzentren zu und sind im Umland gleichmäßiger über die Fläche verteilt als in unmittelbarer Nähe zum Zentrum der Städte Halle und Leipzig.

### Zusammenfassung

Die Landschaftsstrukturanalyse entlang der beiden Transekten hat gezeigt, daß sich die Intensität der Nutzung in der räumlichen Struktur niederschlägt und anhand der LSM quantitativ erfaßbar ist. Da zahlreiche Umweltprobleme in den westlichen Industrieländern aus der Auflösung geschlossener Städte in regionale Verdichtungsräume resultieren (PAUEIT & DUHME, 1999: 33), stellt die Erfassung von unterschiedlichen Strukturen im unmittelbaren Umland der Städte eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz der LSM innerhalb der Stadtplanung dar. Die Ergebnisse der Analyse sind im folgenden zusammengefaßt:

- Durch die abnehmende Intensität der Nutzung verändert sich mit zunehmender Entfernung vom Zentrum der beiden Städte Halle und Leipzig die Zusammensetzung der Landschaft. Während die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ mit zunehmender Entfernung abnimmt, weisen sowohl die Klassen mit einem mittleren und geringeren Verdichtungsgrad, als auch die naturnahen Klassen einen prozentualen Flächenzuwachs auf. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 1)
- Über die Strukturmaße PD und MPS wird für den Nutzungsgradienten zwischen Halle und Merseburg eine Abnahme der Fragmentierung der Landschaft ermittelt, da mit zunehmender Distanz von Halle auf der Landschaftsebene der PD-Wert eine Abnahme und der MPS-Wert eine Zunahme erfährt. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 2 & 3)
- Für den Nutzungsgradienten Leipzig - Markranstädt kann keine kontinuierliche Abnahme der Fragmentierung festgestellt werden, da sich die Dichte des Verkehrsnetzes nicht verringert und folglich die Landschaftselemente auch in größerer Entfernung von Leipzig eine hohe Zerschneidung aufweisen. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 2 & 3)

- Über das Strukturmaß PSSD wird die geringere Fragmentierung der Landschaftselemente im Umland aufgrund der geringeren Dichte des Verkehrsnetzes für den Nutzungsgradienten Halle-Merseburg quantitativ erfaßt. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 2)
- Auf der Analyseebene der Landschaft zeichnet sich der Rückgang des anthropogenen Einflusses auf die Landschaftsgestaltung in Form einer Zunahme der Formkomplexität ab, die durch die beiden Formmaße, MSI und DLFD, quantifiziert werden kann. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 4)
- Eine Unterscheidung der Formkomplexität auf der Klassenebene ist anhand der berechneten Formmaße nicht zu realisieren. (vgl. Kap. 10.1 & 10.2)
- Über die Distanzmaße der Landschaftsebene können die großflächigeren Strukturen des Umlandes, im Gegensatz zu den beiden Oberzentren, erfaßt werden. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 5)
- Die Maße CONTAG und IJI beschreiben für die Umlandgebiete eine gleichmäßigere Verteilung der Landschaftselemente. (vgl. Tabelle 11, Hypothese 6)

## 9.4 Landschaftsstrukturmaße zum Monitoring urbaner Wachstumsprozesse

Wie bereits in Kapitel 5 beschrieben, verfügten die ostdeutschen Innenstädte kurz nach der politischen Wende aufgrund von ungeklärten Eigentumsfragen, Altlasten und Industriebrachen nur über wenige disponible Bauflächen, was zu einer großzügigen Baulandausweisung im Umland der Städte führte. Hervorgerufen wurde durch den Prozeß der Suburbanisierung ein enormer Verbrauch sowohl von landwirtschaftlichen Flächen, als auch von Grünflächen. Diese Entwicklung steht im Widerspruch zu einer nachhaltigen Stadt- und Stadt-Umland-Entwicklung und hat zu erheblichen ökologischen Belastungen geführt. Infolgedessen ist es für die Planung von grundlegender Bedeutung, die Veränderungen der Landschaftsstruktur quantitativ zu erfassen, um daraus resultierende Fehler, die in der Vergangenheit gemacht wurden, nicht zu wiederholen.

Der visuelle Vergleich der beiden Klassifikationen von 1992 und 1999 zeigt auf der einen Seite eine Verdichtung der citynahen Bereiche. Zum anderen ist in den Umlandzonen sowohl eine Ausbreitung der bebauten Gebiete in zu vor unbebaute Gebiete, als auch die Verdichtung zuvor gering verdichteter Bereiche erkennbar. Ausgehend von der Annahme, daß die Prozesse der Verdichtung und Suburbanisierung eine Auswirkung auf die räumliche Struktur der Landschaft ausüben, soll im folgenden geprüft werden, ob diese raumstrukturellen Veränderungen mit den berechneten LSM quantitativ erfaßt werden können. Die multitemporale Analyse der Strukturmaße geht von folgenden Hypothesen aus:

<i>Hypothese</i>	<i>Begründung</i>	<i>Erfaßbar über</i>
<p><b>Die Transformationsprozesse führten zu</b></p> <p>1)...einer Veränderung der Landschaftszusammensetzung</p> <p>a) Zentrumsnahe Teillandschaften: Zunahme der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“</p> <p>b) Umlandzonen: Zunahme der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“</p> <p>2)...einer Veränderung der Landnutzung und zu einer Verdichtung</p> <p>3)...einer Umwandlung von landwirtschaftlichen Flächen in Siedlungsflächen, mit der Folge einer kleinräumigeren Struktur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zunahme der Bebauung aufgrund der Suburbanisierungsprozesse</li> <li><b>a) zentrumsnahe Zonen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erhöhung der Attraktivität der Städte</li> <li>▪ Schließen von Baulücken</li> </ul> </li> <li><b>b) Umland</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ungeklärte Eigentumsfragen innerhalb der Innenstädte</li> <li>▪ Altlasten innerhalb der Innenstädte</li> <li>▪ Wenig disponible Bauflächen in den Innenstädten (Push-Faktoren, vgl. auch Kapitel 5)</li> <li>▪ Ungeklärte Eigentumsfragen innerhalb der Innenstädte</li> <li>▪ Altlasten innerhalb der Innenstädte &amp; Wenig disponible Bauflächen</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ %Land</li> <li>▪ PD</li> <li>▪ MPS</li> <li>▪ PSSD</li> </ul>

<i>Hypothese</i>	<i>Begründung</i>	<i>Erfaßbar über LSM</i>
4)...einer erhöhten Fragmentierung der Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Differenziertere Nutzung zuvor rein landwirtschaftlich genutzter Fläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ED</li> <li>▪ MNN</li> </ul>
5)...zu einer Abnahme der Formkomplexität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erhöhter anthropogener Einfluß auf die Landschaftsgestaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSI</li> <li>▪ DLFD</li> </ul>
6) ...zu einer Veränderung der mittleren Entfernungen zwischen den verschiedenen Landschaftselementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umwidmung von landwirtschaftlichen Flächen sowie Grünflächen in Siedlungsflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MNN</li> <li>▪ NNSD</li> </ul>
7)...zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Landschaftselemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kleinräumigere Strukturierung der Landschaft durch den Prozeß der Suburbanisierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CONTAG</li> <li>▪ IJI</li> </ul>

**Tabelle 12:** Hypothesenaufstellung zur Erfassung der urbanen Wachstumsprozesse  
Quelle: eigener Entwurf

Einen ersten Überblick über die Prozesse der Verdichtung und Suburbanisierung kann auf der Landschaftsebene mit Hilfe der Patchmaße gewonnen werden. Die Analyse der PD-Werte der Landschaftsebene zeigt für beide Gradienten in den citynahen Zonen<sup>18</sup> eine geringe Abnahme der Patchdichte. Die beiden citynahen Zonen zwischen Leipzig und Markranstädt setzten sich 1992 im Mittel aus 127,16 Patches pro 100ha zusammen. In den folgenden sieben Jahren erfolgte ein Rückgang der Patchanzahl auf 114,02 Patches pro 100ha. Die MPS-Werte dieser Teillandschaften zeigen einen gleichläufigen Trend für diese Zonen. Im Betrachtungszeitraum hat sich die mittlere Patchgröße durchschnittlich von 0,79ha auf 0,88ha erhöht. Die Entwicklung der beiden Patchindizes findet ihre Begründung in der geringeren Verdichtung der Landschaftselemente im Jahr 1992. Durch diese waren die Landschaftselemente der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ noch stärker von anderen Landnutzungsklassen durchdrungen. Durch den Prozeß der innerstädtischen Verdichtung kam es dazu, daß vor allem die Patches der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ zunahmen und durch ihr Zusammenwachsen 1999 eine größere mittlere Patchgröße aufweisen als 1992. Folglich wird der Prozeß der Verdichtung innerhalb der citynahen Bereiche auf der Landschaftsebene sowohl über die Veränderung der Patchdichte als auch über die veränderten MPS-Werte quantitativ erfaßt. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.6)

Die Umlandzonen weisen im zeitlichen Verlauf überwiegend eine Erhöhung der PD-Werte auf. Die zusätzliche Einbeziehung der MPS-Werte zeigt, daß sich die Patchgröße in diesen Umlandzonen zwischen 1992 und 1999 verringert hat. Der, im Vergleich zu den zentrumsnahen Zonen gegenläufige Trend, spiegelt den Prozeß der Suburbanisierung wieder, da die verschiedenen Landschaftselemente durch die zusätzliche Bebauung eine höhere Fragmentierung aufweisen. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.4)

Eine detailliertere Erfassung der Verdichtung der zentrumsnahen Bereiche und des Prozesses der Suburbanisierung ist über die Auswertung der Klassenmaße möglich. Während sich in den zen

trumsnahen Zonen durch den Prozeß der Verdichtung vor allem der Flächenanteil der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ erhöht hat, weist in den Umlandbereichen in erster Linie die Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ eine Zunahme auf. Die Erhöhung des Flächenanteils der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ tritt vor allem zwischen Halle und Merseburg in Erscheinung. Die Zunahme geht auf die Verdrängung der Klasse „Siedlung mit geringer Verdichtung“ zurück. Die Veränderung der prozentualen Zusammensetzung der Landnutzungsklassen beschreibt die zu Beginn der 1990er Jahre einsetzende Bautätigkeit in der Umlandregion. Ferner wird der Prozeß der Suburbanisierung sowohl durch die prozentuale Abnahme der Klassen „Grünfläche“ und der Klasse „Grün- und Ackerland“, als auch durch die prozentuale Zunahme der Klasse „Flächen ohne Vegetation“ erfaßt. (Anhang, Kap. 13.6.6)

Im Landschaftsmonitoring kann darüber hinaus die Patchdichte als ein Maß für die räumliche Dynamik verstanden werden. Vor allem in den Umlandzonen hat sich die Anzahl der Patches der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ erhöht. Gleichzeitig erfolgte eine Zunahme der Werte der Patchdichten für die Klassen „Siedlung mit geringer oder mittlerer Verdichtung“, wodurch ebenfalls die stärkere Bebauung der Umlandgebiete ermittelt wird. In einigen Zonen, z.B. ab einer Entfernung von 8km von Leipzig, hat sich neben der Patchdichte der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ auch deren mittlere Patchgröße vergrößert. Durch die zunehmende Suburbanisierung fand eine verstärkte Verdichtung dieser Klassen statt. Die größeren Patches lassen sich folglich durch ein stärkeres Zusammenwachsen der Landschaftselemente dieser Klasse erklären. Ein ähnliches Bild wird ab einer Entfernung von 10km von Halle für die Klasse „Flächen ohne Vegetation“ ermittelt. Bei dieser Klasse hat sich im zeitlichen Verlauf ebenfalls sowohl die Anzahl der Patches, als auch die mittlere Patchgröße erhöht. Die Entwicklung dieser Klasse spiegelt die beiden Prozesse der Suburbanisierung und der Aufgabe von landwirtschaftlichen Grenzertragstandorten wider. (vgl. 8.1.1)

Die Kantenmaße nehmen auf der Ebene der Landschaft zwischen 1992 und 1999 z.T. in den Umlandbereichen zu und weisen somit auf ein verstärkte Fragmentierung des Suburbanenraumes hin. Die Analyse der Kantenmaße der Klassenebene beschreibt eine unterschiedliche Entwicklung der verschiedenen Zonen. Am unmittelbaren Stadtrand der Städte Halle und Leipzig haben sich die ED-Werte der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“, aufgrund des höheren prozentualen Flächenanteils dieser Klasse, erhöht. Mit zunehmender Entfernung von den beiden Oberzentren verschiebt sich das Bild zugunsten aller bebauten Klassen. Auffällig ist die enorme Zunahme der ED-Werte der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“. Durch diesen Trend wird der Prozeß der Suburbanisierung, mit dem eine Verdichtung der bebauten Bereiche im Umland einher geht, deut

---

<sup>18</sup> Unter dem Begriff „Citynahe Zonen“ werden an dieser Stelle die Zonen 1-2 zusammengefaßt, wohingegen sich der Begriff „Umlandzonen“ auf die Zonen 3-7 bezieht.

lich. Zwischen 1992 und 1999 haben sich die Flächenanteile dieser Klasse auf Kosten der Klassen „Siedlung mit geringer Verdichtung“, „Grünflächen“ und „Grün- und Ackerflächen“ erhöht. Diese Entwicklung hat sowohl zu einer Zunahme der Patchdichte als auch der Kantendichte und somit zu einer stärkeren Fragmentierung der Landschaft geführt.

Eine ähnliche Tendenz wird darüber hinaus durch die berechneten Formmaße und Distanzmaße aufgezeigt. Auf der Landschaftsebene zeigen die beiden Formmaße im zeitlichen Verlauf eine Abnahme der Formkomplexität für sämtliche Zonen. Begründet werden kann diese Tendenz durch die Zunahme der anthropogen beeinflussten Flächen. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.4) Ferner hat sich zwischen 1992 und 1999 auf der Analyseebene der Landschaft die mittlere Distanz zum „Nächsten Nachbar“ erhöht. Die Erhöhung der MNN-Werte wird vor allem in den Umlandzonen deutlich. Die Zunahme der mittleren Distanzen beträgt beispielsweise für das Leipziger Umland<sup>19</sup> im Durchschnitt 7,54m.

Die Betrachtung der MNN-Werte der Klassenebene zeigt für die verschiedenen Landnutzungs-klassen unterschiedliche Entwicklungen. Die größten Veränderungen der Distanzwerte sind für die Klasse „Grünflächen“ festzustellen. Für die sieben Teillandschaften des Nutzungsgradienten zwischen den Städten Leipzig und Markranstädt hat sich im Durchschnitt die mittlere Distanz zwischen den Grünflächen von 71,74m auf 184,81m erhöht. Als Ursache dieser enormen Zunahme der mittleren Distanz kann zum einem ebenfalls der Prozeß der Suburbanisierung angesehen werden. Wie bereits im Zusammenhang mit den Flächenmaßen diskutiert, haben sich im Umland die Flächenanteile der bebauten Bereiche auf Kosten der Grünflächen erhöht. Da sich nicht nur die mittleren Entfernungen der Grünflächen im Umland erhöht haben, sondern auch eine Zunahme in den citynahen Zonen erfolgte, wird gleichzeitig der Prozeß der Verdichtung der bebauten Bereiche in den Zentren der Städte Halle und Leipzig erfaßt. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.6)

Für die Klasse „Grün- und Ackerland“ wird für den betrachteten Zeitraum in einigen Umlandzonen eine Abnahme der mittleren Distanzen zum „Nächsten Nachbar“ berechnet. Diese Veränderung erscheint auf den ersten Blick nicht mit dem Prozeß der Suburbanisierung in Einklang zu stehen, da man davon ausgehen kann, daß sich die mittlere Distanz zum „Nächsten Nachbar“ durch die Umwandlung von Agrar- in Bauland erhöht haben müßte. Im Gegensatz zu dieser Annahme kann eine Erhöhung der mittleren Entfernung nur teilweise festgestellt werden. Für drei Zonen des Nutzungsgradienten zwischen den Städten Leipzig und Markranstädt wird eine Verringerung der mittleren Distanz zum „Nächsten Nachbar“ ermittelt. Ein Vergleich mit den Flächenmaßen zeigt, daß sich der prozentuale Flächenanteil dieser Klasse in den drei betrachteten Zonen verringert hat. Simultan ist eine Zunahme der Patchdichte zu beobachten. Infolgedessen wird die Abnahme der MNN-

---

<sup>19</sup> Leipziger Umland = Zone 3-7

Werte innerhalb dieser Zonen ebenfalls durch den Prozeß der Suburbanisierung und die Ausbreitung der bebauten Flächen hervorgerufen. Die Ausweisung von neuen Bauflächen hat zur Durchdringung der landschaftlichen Flächen und somit zu einer stärkeren Fragmentierung dieser geführt. Als Folge entstand eine größere Anzahl von Patches der landwirtschaftlichen Klasse, die untereinander eine geringere Entfernung aufweisen, als die zuvor größeren zusammenhängenden landwirtschaftlichen Flächen.

Ferner werden die Prozesse der Verdichtung und der Suburbanisierung durch die Abnahme der MNN-Werte der Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ erfaßt. Im Gegensatz hierzu haben die MNN-Werte der Klasse „Siedlung mit geringer Verdichtung“ im Umland zugenommen. Ein Vergleich mit den PD-Werten zeigt, daß diese Tendenz durch die Abnahme der Patchdichte dieser Klasse hervorgerufen wird. Angesichts der zunehmenden Bebauung in den Umlandgebieten der Städte Halle und Leipzig nimmt die Anzahl der Patches der Klasse „Siedlung mit geringer Verdichtung“ zugunsten einer höheren Verdichtung ab. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.6)

Zusammenfassend beschreiben die Veränderungen der MNN-Werte eine Zunahme der Fragmentierung der Landschaft, die in erster Linie durch den Zuwachs der bebauten Bereiche hervorgerufen wird. Als Ergebnis der höheren Zerschneidung des suburbanen Raumes läßt sich eine gleichmäßigere Verteilung der unterschiedlichen Landschaftselemente und Landschaftsklassen feststellen. Sowohl die CONTAG-Werte als auch die IJI-Werte weisen auf der Landschaftsebene zwischen 1992 und 1999 für eine Vielzahl der Teillandschaften eine Erhöhung auf. (vgl. Anhang, Kap. 13.6.4)

### **Zusammenfassung**

Die seit Anfang der 90er Jahre einsetzenden Suburbanisierungsprozesse haben zu einer Veränderung der Landschaftsstruktur geführt. Durch den enormen Verbrauch an Freiflächen gehen zahlreiche Umweltbelastungen, wie die Veränderung des Wasserkreislaufes oder des Mikroklimas einher. (PAULEIT & DUHME, 1999: 35) Zusätzlich führt der Verbrauch von Freiflächen zu einer Reduzierung von Erholungsflächen. (SIEDENTOP, 1999:150f) Zur Steuerung der Suburbanisierungsprozesse ist daher ein Ansatz notwendig, mit dessen Hilfe das Ausmaß der Suburbanisierung bis zum heutigen Zeitpunkt quantitativ erfaßt werden kann, denn eine sinnvolle Planung wird nur erreicht, wenn die heutige Situation in optimaler Weise erfaßt ist. Die Analyse der LSM entlang der beiden Transekte hat gezeigt, daß der Einsatz verschiedener LSM als eine geeignete Methode anzusehen ist, um die Veränderungen der Landschaftsstruktur quantitativ zu erfassen. Die Analyse der LSM zur Erfassung urbaner Wachstumstendenzen sind im folgenden zusammenfassend dargestellt:

- Insgesamt zeigt die Analyse der LSM eine unterschiedliche Entwicklung für die zentrumsnahen Zonen auf der einen Seite und das Umland auf der anderen Seite auf. Als Ursache läßt sich hier die unter

schiedliche Ausgangssituation nennen. Während die zentrumsnahen Zonen bereits vor Anfang der 1990er Jahre durch eine relativ dichte Bebauung gekennzeichnet waren, verfügten die umliegenden Gebiete hauptsächlich über landwirtschaftlich genutzte Flächen.

- Anhand des Flächenmaßes %Land wird die Veränderung der Zusammensetzung der Landschaftsausschnitte erfaßt. Während in den zentrumsnahen Zonen vor allem die Klasse „Siedlung mit hoher Verdichtung“ zugenommen hat, ist im Umland ein deutlicher Flächengewinn der Klasse „Siedlung mit mittlerer Verdichtung“ festzustellen. Im Umland geht der Prozeß der Suburbanisierung mit einem enormen Verbrauch an Grün- und landwirtschaftlicher Fläche einher. (vg. Tabelle 12, Hypothese 1)
- Die verschiedenen Patchmaße beschreiben für die zentrumsnahen Zonen eine Verdichtung der Bebauung, mit der Folge eine Homogenisierung der räumlichen Struktur. Demgegenüber sind die umliegenden Zonen einer Zersplitterung der landwirtschaftlichen Flächen und infolgedessen einer stärkeren Fragmentierung unterworfen. Die Landschaftsstruktur zeichnet sich 1999 im Vergleich zu 1992 durch ein höheres Maß an Heterogenität aus. (vgl. Tabelle 12, Hypothese 2 & 3)
- Über die Veränderungen der Werte der Patchmaße der Klasse „Grün- und Ackerland“ wird neben dem Prozeß der Suburbanisierung auch die Aufgabe von Grenzstandorten in der Landwirtschaft erfaßt.
- Der höherer Zerschneidungsgrad wird durch das Kantenmaß ED und die veränderten Distanzmaße untermauert. (vgl. Tabelle 12, Hypothese 4)
- Durch den gestiegenen anthropogenen Einfluß hat sich im Betrachtungszeitraum die Formkomplexität verringert. Diese Tendenz wird über die berechneten Formmaße auf der Analyseebene der Landschaft quantitativ verzeichnet. (vgl. Tabelle 12, Hypothese 5)
- Der Verbrauch von Grün- und landwirtschaftlichen Flächen durch die zunehmende Bebauung des Umlandes hat zu einer Erhöhung der mittleren Distanzen zum „Nächsten Nachbar“ dieser Klassen geführt. Umgekehrt proportional verhalten sich die mittleren Distanzwerte der Siedlungsklassen. (vgl. Tabelle 12, Hypothese 6)
- Die höheren CONTAG- und IJI-Werte zeigen, daß infolge des höheren Fragmentierungsgrades die Landschaftselemente Ende der 1990er Jahre gleichmäßiger über die Flächen verteilt sind. (vgl. Tabelle 12, Hypothese 7)

## 10 Bewertungspotentiale der Landschaftsstrukturmaße

### 10.1 Notwendigkeit der Landschaftsbewertung

Anthropogene Beeinflussungen der Landschaft können sowohl eine positive, eine negative, als auch eine neutrale Wirkung auf die Landschaft ausüben. Aufgrund der zunehmenden Geschwindigkeit, Komplexität und Intensität der menschlichen Eingriffe in die Landschaft besteht zunehmend die Gefahr negativer Auswirkungen. (BASTIAN ET AL, 1993: 142) Aus diesem Grund wird der Steuerung der Landschaftsentwicklung mittels Planung eine immer größere Bedeutung beigegeben. *„Hinsichtlich des GIS-Einsatzes in der ökologischen Planung sollte in den kommenden Jahren eine Verlagerung des Schwerpunktes von der Kontrolle und Überwachung der Umwelt hin zu einer Entscheidungs- und Handlungsunterstützung erfolgen. Umweltmonitoring wird in Zukunft keineswegs weniger wichtig sein als heute; im Gegenteil: Die Notwendigkeit wird angesichts der zunehmenden Bedrohung natürlicher Ressourcen steigen. Noch stärker steigen wird jedoch der Bedarf an ökologischem Management und Planung.“* (BLASCHKE, 1997: 85f) Zur Formulierung von Handlungsunterstützungen ist es zunächst notwendig, die Landschaftsstruktur sowie ihre Veränderungen zu bewerten, da erst über die Bewertung der Landschaft eine Transformation der ermittelten Indikatoren in gesellschaftlich greifbare und damit in planerisch verwertbare Informationen erfolgt. (BASTIAN & SCHREIBER, 1994: 58)

Der Prozeß der Bewertung kann als eine Relation zwischen einem wertenden Subjekt und einem bewerteten Objekt definiert werden. Diese Beziehung umfaßt drei Dimensionen:

- **Die Abbildung der Wirklichkeit:** Ohne Bezug auf einen Wirklichkeitsbereich ist eine Bewertung nicht vorstellbar. Bewerten kann man nur das, was man kennt.
- **Ein Wertsystem:** Bewertungen setzen als Ausgangsbasis ein Wertsystem oder einen übergeordneten Wert voraus. Diese Werte sind die normative Basis für das zu fällende Urteil.
- **Das wertende Urteil,** welches ein Wertsystem auf den konkreten Fall anwendet. (Bastian & Schreiber, 1994: 57f)

Diese drei Dimensionen lassen sich auf die vorliegende Arbeit wie folgt umsetzen:

<i>Dimensionen der Bewertung</i>	
Abbildung der Wirklichkeit Wertsystem	Quantitative Erfassung der Landschaftsstruktur anhand von LSM Leitbild der Entwicklung von Städten und Stadtregionen im Sinne einer umweltverträglichen und nachhaltigen Entwicklung (s. 1.1 und 2.3)
Urteil	Bewertung der Landschaft und ihrer Entwicklung anhand der berechneten LSM

**Tabelle 13: Dimensionen der Bewertung**

Quelle: eigener Entwurf

Das Problem bei der Bewertung der Belastung einer Landschaft liegt in den bis heute fehlenden Bewertungsmaßstäben, da weder auf aggregierte Durchschnittswerte, noch auf erprobte Schwellen- oder Orientierungswerte zurückgegriffen werden kann. Zur Lösung dieses Problems schlägt SIEDENTOP (1999) den regionalen Vergleich oder die multitemporale Analyse der Veränderungen der Landschaft vor. Auf diese Art schafft er einen relativierenden Bewertungsrahmen. Zudem kann über die Erfassung von temporären Veränderungen sowohl die Dringlichkeit politischer Gegensteuerung als auch die Wirksamkeit bereits unternommener raumplanerischer Einflüsse eingeschätzt und eine Erfolgskontrolle von bereits statt gefundener Maßnahmen durchgeführt werden. (SIEDENTOP, 1999: 149f, THIEKEN, 1999: 193)

## **10.2 Möglichkeiten der Landschaftsbewertung anhand der berechneten Landschaftsstrukturmaße**

In den vorherigen Kapitel dieser Arbeit wurde gezeigt, daß das räumliche Muster der urbanen Bodenbedeckung anhand von LSM quantitativ erfaßbar ist. LSM können daher als Indikatoren verstanden werden, anhand deren die Struktur der Landschaft sowie die Veränderung der Landschaftsstruktur bewertet werden können. Anders ausgedrückt kann das räumliche Muster der Bodenbedeckung *„als Anzeiger des potentiellen Belastungsgrades eines Landschaftsraumes bzw. seines naturräumlichen Potentials herangezogen“* werden. (SIEDENTOP, 1999: 149)

Im folgenden soll anhand einiger Beispiele die Einsatzmöglichkeiten der LSM zur Bewertung der Landschaftsstruktur und ihrer Veränderungen dargestellt werden. Es sei darauf verwiesen, das mit den gewählten Beispielen kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Vielmehr werden grundlegenden Möglichkeiten der Bewertung beschrieben und die praktische Relevanz der LSM für die Stadt- und Regionalplanung diskutiert.

### **10.2.1 Ausmaße der Versiegelung**

Eine erste Einschätzung der Belastung einer Landschaft kann über den Grad der menschlichen Inanspruchnahme abgeleitet werden. Aufgrund der zunehmenden Geschwindigkeit, Komplexität und Intensität der menschlichen Eingriffe in die Landschaft besteht zunehmend die Gefahr negativer Auswirkungen.(s. 10.1) (BASTIAN ET AL, 1993: 142). Nach BASTIAN & SCHREIBER (1994) kann der Grad des anthropogenen Einflusses über die Flächennutzung deduziert werden. Infolgedessen sprechen die beiden Autoren einer Flächenanalyse eine Indikatorfunktion zu, die im Zentrum aller planerischen Entscheidungen, wie beispielsweise der Bauleit-, Landschafts-, oder Umweltplanung stehen sollte. (BASTIAN & SCHREIBER, 1994: 162)

Wie bereits in Kapitel 9 beschrieben, kann eine erste Flächenanalyse über das Strukturmaß %Land durchgeführt werden. Über den prozentualen Flächenanteil der als bebaut klassifizierten Landnutzungen an der Gesamtfläche kann eine Einschätzung des Verstädterungsgrades gewonnen werden. Nach SPITZER (1996) weicht der Anteil der als bebaut bzw. überbaut klassifizierten Bereiche aufgrund der Bildung von Mischpixeln nur unwesentlich von der versiegelten Fläche ab. (SPITZER, 1996: 95) Auf Grund dessen kann über den Anteil der Siedlungsklassen (geringe bis hohe Verdichtung) und der Klasse „Straßen“ an den betrachteten Teillandschaften eine Einschätzung und Bewertung des Versiegelungsgrades erfolgen. In der Literatur gelten urbane Ökosysteme als ökologisch ausgewogen, wenn höchstens 40% der Fläche bebaut bzw. versiegelt sind. (EINIG ET AL., 1997: 18) *„Sobald der Anteil bebauter und versiegelter Flächen 60% [...] erreicht oder übersteigt, lassen sich die Funktionen auf den verbleibenden noch ökologisch wirksamen Flächen nicht mehr ausreichend erfüllen“*. (HEBER & LEHMANN, 1996: 19)

Die Analyse der Flächenmaße der unterschiedlichen Stadtteile zeigt für das Jahr 1999, daß der Grenzwert von 40% in allen Stadtteilen deutlich überschritten wird. Die Spannbreite reicht von 96,33% im Citybereich von Halle bis zu 58,32% im Stadtteil Freimfelde. (vgl. Abbildung 19) Die geringere Versiegelung des Stadtteils Freimfelde kommt durch den hohen Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen zustande. (s. Kap. 9.1) Ebenfalls zeigt die Analyse der Nutzungsgradienten, daß der Siedlungsflächenanteil auch in einer Entfernung von 12km von den beiden Oberzentren deutlich über 40% liegt. Während in einer Distanz von 12km von Halle ein Prozentwert von 69,08% ermittelt wird, beträgt der Anteil der Siedlungsklassen in der gleichen Entfernung von Leipzig 59,47%. Lediglich in einer Teilfläche wird ein Wert ermittelt, der dem Grenzwert von 40% nahe kommt. In einer Entfernung von 8km von Halle liegt der Siedlungsflächenanteil bei 42,63%. Darüber hinaus zeigt die multitemporale Analyse des Siedlungsflächenanteils für das Umland der beiden Oberzentren eine negative Entwicklung auf. Während die zentrumsnahen Zonen trotz der Zunahme der Klasse „Siedlungen mit hoher Verdichtung“ (vgl. Kap. 9.2) eine leichte Abnahme der insgesamt versiegelten Fläche aufweisen, ist vor allem ab einer Entfernung von 8km eine deutliche Zunahme der versiegelten Fläche festzustellen. Die veränderten Werte weisen für zwei der analysierten Zone eine Erhöhung von über 20% auf. (vgl. Abbildung 19b)

Aufgrund der Flächenausdehnung der versiegelten Bereiche muß der Prozeß der Suburbanisierung aus ökologischen Gründen, als negativ bewerte werden. Mit zunehmender Bodenversiegelung geht eine Veränderung und Zerstörung naturnaher Lebensräume, die Veränderung des Mikro- und Mesoklimas und eine Beeinflussung des natürlichen Bodenwasserhaushaltes einher, woraus sich die folgenden Konsequenzen für die Umwelt ergeben:

- 1) **Veränderung und Zerstörung naturnaher Lebensräume**
  - Zerstörung von Großflächen-Ökosystemen
  - Verinselung von Biotopen
  - Verdrängung bzw. Veränderung der Tier- und Pflanzenwelt
- 2) **Veränderung des Mikro- und Mesoklimas**
  - Geringere Verdunstung
  - Niedrigere Luftfeuchte
  - Höhere Wärmespeicherung
  - Höhere durchschnittliche Temperaturen
  - Geringere nächtliche Abkühlungen
  - Windschwächung
- 3) **Beeinflussung des natürlichen Bodenwasserhaushaltes**
  - Geringere Regenwasserversickerung
  - Hoher Wasserabfluß
  - Grundwasserabsenkung
  - Reduzierte Grundwasserneubildung
  - Geringere Grundwasserqualität

(HEBER & LEHMANN, 1993: 4, HEBER & LEHMANN, 1996: 4)

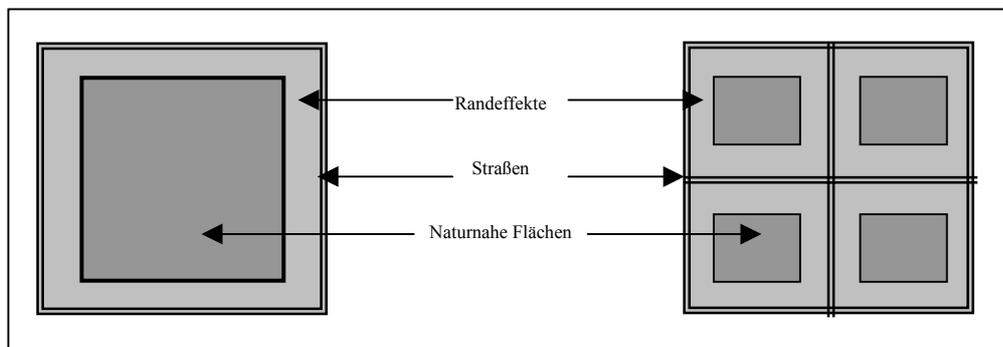
Insgesamt läßt sich über die Analyse der Landschaftszusammensetzung eine Einschätzung des Belastungsniveaus der Teillandschaften ableiten. Über die Erfassung des prozentualen Anteils der Siedlungsklassen und somit der Versiegelung ist es möglich, stark belastete Gebiete von Gebieten mit einem geringen Belastungsgrad zu differenzieren. Darauf aufbauend können gezielte Maßnahmen zur Bodenentsiegelung in Teilbereichen mit einer hohen Belastung durchgeführt werden. Diese Maßnahmen umfassen z.B. den Gebäude- und Verkehrsflächenrückbau, eine Veränderung des Belages von Parkflächen oder die Entsiegelung teilversiegelter Flächen. Zum anderen kann über die Identifizierung von gering versiegelten Teilflächen eine weitere Bebauung und Versiegelung in diesen Gebieten über die verschiedenen Instrumente der Stadt- und Regionalplanung verhindert werden, so daß über die gezielte Steuerung das Leitbild der Polyzentralität verwirklicht werden kann. (vgl. auch Kap. 3.3)

### 10.2.2 Ausmaße der Fragmentierung

Bei der ökologischen Bewertung von Landschaftsausschnitten muß der Erfassung des Fragmentierungsgrads eine hohe Bedeutung beigemessen werden. Im Gegensatz zur Bewertung der Versiegelung stehen für die Bewertung der Zerschneidung der Landschaft keine allgemeinen Bezugswerte

zur Verfügung. Daher bietet sich für die Bewertung des Fragmentierungsgrades der multitemporale Vergleich an. (vgl. Kap. 10.1) (SIEDENTOP, 1999: 149f)

Durch die zunehmende Besiedlung hat sich in den vergangenen Jahren die Grenzlinie zwischen Siedlungsraum und Freiflächen erhöht, so daß natürliche Flächen häufig eine zunehmende Zerschneidung aufweisen. Die ansteigende Fragmentierung natürlicher Flächen, wie beispielsweise Wälder oder Grünflächen, muß unter ökologischen Gesichtspunkten als negativ bewertet werden, da siedlungsnahen Freiflächen durch negative Randeffekte beeinflusst werden. (BLASCHKE, 1997: 208) Zu diesen Randeffekten zählen Schadstoffeinträge durch den Individualverkehr und die Industrie und Lärmemissionen. (SIEDENTOP, 1999: 151f) In der folgenden Abbildung 18 ist die Erhöhung der Randeffekte durch eine zusätzliche Zerschneidung der Landschaftselemente schematisch dargestellt.



**Abbildung 17: Erhöhung der Randeffekte durch die Fragmentierung eines Landschaftselementes durch zwei Straßen**

Quelle: verändert nach BLASCHKE, 1997: 208

Ein hoher Fragmentierungsgrad der Landschaft führt zusätzlich zur räumlichen Trennung von Habitaten und zu einer eingeschränkten Vernetzung der Ökosysteme. (BLASCHKE, 1997: 209, LIENHARD, 1999: 245f)

Die Bewertung der Zerschneidung der natürlichen Landschaftselemente einer Landschaft ist mit Hilfe der Strukturmaße PD, MPS und ED möglich. (vgl. Kap. 9) Eine positive Bewertung kann über die Zunahme der mittleren Patchgröße der natürlichen Patches erfolgen, da davon auszugehen ist, daß mit zunehmender Größe der Landschaftselemente die Belastung durch die oben aufgeführten Randeffekte zurückgeht. Bei der Bewertung bietet es sich an, neben der Veränderung der mittleren Patchgröße, auch die Veränderungen der Patch- und Kantendichte zu analysieren, da diese Strukturmaße miteinander korrelieren. Wird die Zunahme der mittleren Patchgröße durch das Zusammenwachsen mehrerer kleinerer Patches hervorgerufen, geht in der Regel die Patchdichte zurück. Zusätzlich verringert sich die Kantendichte, da die zusammenhängenden, größeren Landschaftselemente eine geringere Fragmentierung aufweisen. Zur Bewertung des Fragmentierungs

grades der acht Stadtteile wurden die Werte der drei Strukturmaße PD, MPS und ED der beiden Landnutzungsklassen „Wald“ und „Grünflächen“ einer multitemporalen Analyse unterzogen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.

Stadtteile	Wald			Grünflächen		
	PD	MPS	ED	PD	MPS	ED
Leipzig City	-	-	-	-	+	-
Halle City	=	+	-			
Plagwitz	-	+	-	-	+	-
Freiimfelde	-	+	-	-	-	-
Grünau	-	-	-	-	+	-
Halle Neustadt	+	+	-	-	+	-
Gohlis	-	-	-	+	+	+
Südl. Innenstadt Halle	-	+	-	+	-	+

Positive Bewertung		Veränderung der Strukturmaße zwischen 1992 und 1999		
Negative Bewertung			+	Zunahme
Keine Bewertung möglich			-	Abnahme

**Abbildung 18: Bewertung der Veränderung des Fragmentierungsgrades natürlicher Flächen zwischen 1992 und 1999 am Beispiel ausgewählter Stadtteile der Städte Halle und Leipzig**

Quelle: eigener Entwurf

Aus der Abbildung 18 geht hervor, daß eine Bewertung der Grünflächenentwicklung innerhalb der Innenstadt von Halle anhand der drei Maße nicht möglich ist, da sich der Flächenanteil dieser Klasse im Betrachtungsraum auf 0% reduziert hat. Wie bereits in Kapitel 9.2 beschrieben, hat sich die Verdichtung dieses Stadtteils auf Kosten der Grünflächen vollzogen. Infolgedessen kann bereits über die Veränderung des Strukturmaß %Land eine negative Bewertung der Grünflächenentwicklung erfolgen. Insgesamt zeigt die Abbildung 18 hinsichtlich des Fragmentierungsgrades eine überwiegend positiv zu bewertende Entwicklung der Grün- und Waldflächen auf. In jeweils fünf der acht Stadtteile hat sich die mittlere Patchgröße zwischen 1992 und 1999 erhöht. Durch den simultanen Rückgang der Patch- und Kantendichte deuten die Strukturmaße auf eine Reduzierung

der Zerschneidung der natürlichen Flächen hin. Über die Analyse der drei Strukturmaße PD, MPS und ED besteht die Möglichkeit, Teilbereiche des Verdichtungsraumes, in denen die natürlichen Klassen eine Zunahme der Fragmentierung aufweisen, zu identifizieren, so daß auf dieser Grundlage die zukünftige Entwicklung dieser Teillandschaften gesteuert werden kann.

### 10.2.3 Erholungspotential

Innerhalb von Verdichtungsräumen hat die Ausstattung mit natürlichen Flächen einen hohen Stellenwert, da vor allem durch die Wälder innerhalb eines Verdichtungsraumes die Daseinsgrundfunktion „Erholung“ realisiert werden kann. Die Ausstattung eines Raumes mit Waldflächen übt somit einen wesentlichen Einfluß auf die Lebensqualität aus. (EINIG, 1997: 18)

Zum heutigen Zeitpunkt nehmen die Waldflächen in Leipzig insgesamt etwa 8% der gesamten städtischen Fläche ein. Ein Vergleich mit anderen Stadtregionen zeigt, daß diese Ausstattung sehr gering ist. EINIG ET AL. (1997) haben in einer Studie fünf ostdeutsche Großstädte hinsichtlich ihrer Ausstattung mit Waldflächen miteinander verglichen, wobei Leipzig den letzten Platz einnahm. (EINIG, 1997: 19) Die Analyse des Flächenmaß %Land für die beiden Nutzungsgradienten bestätigt diese geringe Ausstattung mit Waldflächen auch für das Umland der Stadt Halle. Aus Abbildung 19 c geht hervor, daß die Anteile der Klasse Wald zwischen Halle und Merseburg noch geringer ausfallen, als zwischen Leipzig und Markranstädt.

Bei der Bewertung, des Erholungspotentials eines Raumes, muß neben dem Anteil der Waldflächen auch die Erreichbarkeit dieser Flächen berücksichtigt werden. Hierbei wurde in den vergangenen Jahren immer wieder die Vor- und Nachteile einer kompakten gegenüber einer dispersen Stadtstruktur diskutiert. Während bei einer kompakten Siedlungsstruktur eine geringere Fläche anthropogen überprägt wird, besteht der Nachteil, daß sich die Erholungsgebiete in relativ großer Entfernung befinden, so daß die ansässige Bevölkerung weite Wege zurücklegen muß. Demgegenüber zeichnet sich eine disperse Siedlungsstruktur durch eine weniger dichte Bebauung und somit einen größeren Anteil von Grünflächen aus. Diese weisen jedoch aufgrund des höheren Fragmentierungsgrades eine höhere Belastung als größere und zusammenhängende Erholungsflächen auf. Hervorgerufen wird dieser hohe Belastungsgrad in erster Linie durch die höhere Verkehrsintensität, die durch eine disperse Struktur gefördert wird. (SIEDENTOP, 1999: 150f)

Abbildung 19 d zeigt am Beispiel von zwei Teilgebieten zwischen Halle und Merseburg, daß über die Kombination verschiedener Strukturmaße das Erholungspotential dieser Teilgebiete bewertet werden kann. Das erste Teilgebiet zeichnet sich durch eine geringe Ausstattung mit Waldflächen aus. Lediglich 1,57% der gesamten Fläche wurden als Wald klassifiziert. Zudem weisen die vor

handenen Waldpatches relativ hohe mittlere Entfernungen zum „Nächsten Nachbar“ von 124,3m auf, woraus sich eine ungleichmäßige Verteilung dieser Landschaftselemente ergibt. Im Gegensatz dazu fällt die Ausstattung mit Wald in der zweiten Teillandschaft mit 8,35% deutlich höher aus. Auch die beiden Strukturmaße MNN und IJI deuten auf einen höheren Waldanteil hin, da zum einen die mittleren Distanzen zwischen den Patches deutlich geringer ausfallen und zum anderen die Patches gleichmäßiger im Raum verteilt sind. Aus der Sicht der Erreichbarkeit der Erholungsflächen muß daher sowohl die Ausstattung als auch die Verteilung der Waldpatches der zweiten Teillandschaft positiver bewertet werden. Bezieht man zusätzlich die beiden Strukturmaße MPS und ED mit in die Analyse ein, so wird deutlich, daß der gleichmäßigeren Verteilung der Waldpatches ein höherer Fragmentierungsgrad dieser Landschaftselemente gegenübersteht. Infolgedessen ist die mittlere Patchgröße der Waldpatches der zweiten Teillandschaft mit 0,8ha nur halb so groß wie die Waldpatches der ersten Teillandschaft.

Zur insgesamten Bewertung des Erholungspotentials der Region Halle-Leipzig ist nach der Auffassung der Autorin ein ganzheitlicher Ansatz notwendig. Bereits die qualitative Erfassung der Landschaftselemente aus den klassifizierten TM-Daten zeigt, daß vor allem die Waldflächen geballt an den Stadträndern zu finden sind. Diese Waldfläche nehmen insgesamt größere Flächen ein, als die 2x2km großen Gitternetzzenellen des Zonenfiles. Eine Bewertung des Erholungspotentials auf der Basis von Teilflächen ist aus diesem Grund weniger geeignet, als die Beurteilung des Erholungspotentials des gesamten Untersuchungsraumes. Da die LSM zum heutigen Zeitpunkt aus technischen Gründen nicht für das gesamte Untersuchungsgebiet berechnet werden können, ist die Bewertung des Erholungspotentials für die gesamte Region Halle-Leipzig nicht möglich.

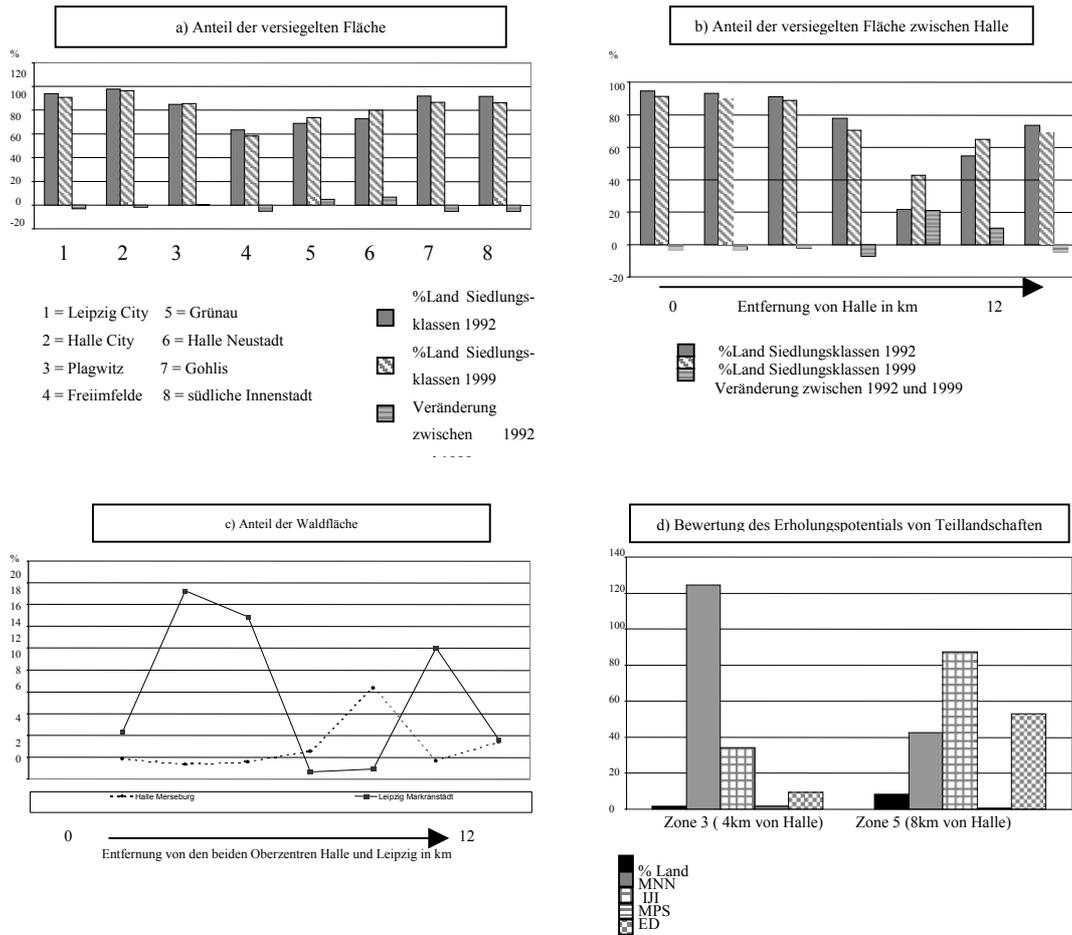


Abbildung 19: LSM zur Bewertung urbaner Landschaften

Quelle: eigener Entwurf

### 10.2.4 Praktische Bedeutung der Landschaftsstrukturanalyse für die Planung

Die oben angeführten Beispiele haben gezeigt, daß der Einsatz der LSM bei der Bewertung der Landschaft eine entscheidende Bedeutung hat.

- Über die Zusammensetzung der Landschaft kann eine Einschätzung über den Grad der anthropogene Inanspruchnahme einer Landschaft erfolgen.
- Die Bestimmung des Anteiles anthropogener Klassen erlaubt eine Beurteilung des Versiegelungsgrades eines Raumes.

- Über den Anteil natürlicher und naturnaher Klassen kann eine Bewertung des Erholungspotentials einer Landschaft erfolgen.
- Über die Kombination verschiedener Patch- und Kantenmaße kann das Ausmaß der Fragmentierung natürlicher und naturnaher Flächen eingeschätzt werden.
- Maße der räumlichen Verteilung geben in Kombination mit dem Strukturindex MNN Auskunft über die Verteilung und die Erreichbarkeit von Erholungsflächen.

Insgesamt besitzt die quantitative Landschaftsstrukturanalyse eine praktische Relevanz für die Stadt- und Regionalplanung. Anwendungsbereiche bestehen kurzfristig vor allem in der Ausweisung von Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebieten. Darüber hinaus kann die Landschaftsstrukturanalyse mittel- bis langfristig zur Überprüfung und zur Kontrolle bereits durchgeführter Maßnahmen eingesetzt werden.

*„Erst eine zeitliche Ausdehnung der Beobachtung, sowohl in eine ex post- als auch in eine ex ante-Richtung, gibt Aufschluß über den spezifischen Beitrag aktueller und absehbarer zukünftiger Bodenbeanspruchungen im Rahmen eines umweltstress-akkumulierenden Verstädterungsprozesses“.* (SIEDENTOP, 1999: 148) Aus diesem Grund besteht eine wesentliche Aufgabe der Stadt- und Regionalplanung in der Beurteilung der zukünftigen Entwicklung der urbanen Räume. Die Ergebnisse des Projektes des US Geological Survey (USGS) „Human Induced Land Transformation, das 1993 in Leben gerufen wurde, zeigen, daß eine Einschätzung der zukünftigen Entwicklung am besten über das Verständnis historischer und rezenter Wachstumsprozesse zu erreichen ist. Das Forschungsziel dieses Projektes ist es, anhand von historischen und rezenten Datensätzen, wie historischen Karten, demographischen und ökologischen Daten sowie Satellitenbildern, ein Verständnis über das urbane Wachstum zu erlangen. Darauf aufbauend soll über die Berechnung von Simulationsmodellen eine Projektion in die Zukunft erfolgen, um die zukünftige Entwicklung und die daraus resultierenden Folgen für die Umwelt abschätzen zu können. (BELL ET AL 1995: 723, BUCHANAN, 1997: 1f, CLARKE ET AL., 1006: 1f, ) Eine weitere Einsatzmöglichkeit der LSM sieht die Autorin daher in der Analyse zukünftiger Landschaftsstrukturen, da so die Möglichkeit besteht bereits während des Planungsprozesse die Wirksamkeit bestimmter planerischer Maßnahmen zu beurteilen.

## **11 Beurteilung und Ausblick**

### **11.1 Zusammenfassung**

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der quantitativen Erfassung unterschiedlicher urbaner Strukturen aus zuvor klassifizierten Satellitenbildern. Im Mittelpunkt der Analyse standen zwei Aspekte. Zum einen sollte geprüft werden, ob unterschiedliche Strukturen, die aus einer differenzierten Nutzung von Teilgebieten resultieren, mit Hilfe der LSM erfaßt werden können. Zum andern wurde geprüft, ob anhand der berechneten LSM zeitliche Veränderungen der urbanen Struktur quantifiziert werden können. Aufbauend auf den Ergebnissen konnte gezeigt werden, daß der Einsatz von LSM innerhalb der Stadt- und Regionalplanung möglich ist.

Nach dem in Kapitel 2 ein Überblick über die Problemstellung und die Zielsetzung der Arbeit gegeben wurde, schloß sich in Kapitel 3 die Vorstellung der wesentlichen Grundlagen der Fernerkundung und der LSM an. Beide Methoden wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit innerhalb urbaner Räume diskutiert. Kapitel 4 vermittelte einen Überblick über das verwendete Datenmaterial sowie die benutzte Hard- und Software. Dem Untersuchungsgebiet widmete sich Kapitel 5. Der Schwerpunkt dieses Kapitels lag in der Entwicklung des Verdichtungsraumes Halle-Leipzig. Daher wurde vor allem der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen und der räumlichen Entwicklung aufgezeigt. Die Aufbereitung der Ausgangsdaten wurde in Kapitel 6 vorgestellt. In einem ersten Schritt wurde eine Bild-zu-Bild-Entzerrung durchgeführt und die Satellitendaten georeferenziert. Die urbanen Strukturen konnten als sehr kleinräumig charakterisiert werden. Zur besseren Erkennbarkeit einzelner Objekte kam im Anschluß an die Georeferenzierung die Berechnung eines 3x3 Hochpaßfilters sowie des NDVI's zum Einsatz. Um einen ersten Überblick über die Verteilung der verschiedenen Landschaftselemente zu erhalten, erfolgte vor der Klassifikation eine visuelle Interpretation der beiden Satellitenbildszenen. Thema des 7. Kapitels war die digitale Erfassung der Landschaftselemente. Hier erwies sich eine hierarchische Klassifikationsmethode sowie die Kombination mehrerer überwachter und unüberwachter Klassifikationsstufen als zielführend. Die über die Klassifikation gewonnenen Landbedeckungskarten stellten die Grundlage für die quantitative Erfassung der Landschaftselemente dar. Während in Kapitel 8 die verschiedenen Algorithmen vorgestellt wurden, schloß sich in Kapitel 9 die Ergebnisdiskussion der Landschaftsstrukturanalyse an. Es konnte gezeigt werden, daß sowohl unterschiedliche urbane Strukturen, als auch strukturelle Veränderungen aufgrund urbaner Wachstumsprozesse anhand der berechneten LSM quantitativ erfaßt werden können. Abschließend wurde an einigen ausgewählten Beispielen die Bedeutung der LSM für die Stadt- und Regionalplanung aufgezeigt.

## 11.2 Bewertung der Methode

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, daß sich die beiden Methoden der Klassifikation von Landsat-TM Szenen und der Berechnung von LSM sowohl zur Erfassung des Ist-Zustandes der urbanen Landschaftsstruktur als auch zur Erfassung von strukturellen Veränderungen im zeitlichen Ablauf eignen. Aus diesem Grund ist mit Hilfe dieser Methoden ein Monitoring von urbanen Strukturen möglich.

Über die hierarchische Klassifikation der beiden Landsat-TM Szenen konnte die Landbedeckung der Region Halle-Leipzig mit einer ausreichenden Genauigkeit erfaßt werden. Trotz der geringen Auflösung des Landsat-TM von 30m auf der einen Seite, und der kleinräumigen Struktur des Untersuchungsgebietes auf der anderen Seite, konnten die Siedlungsbereiche über die Kombination überwachter und unüberwachter Klassifikationsmethoden insgesamt in drei verschiedene Verdichtungsstufen unterteilt werden. Zudem war über die vektorielle Abgrenzung der Siedlungsbereiche vom Umland, eine eindeutige Trennung der Siedlungsklassen von den Tagebauflächen möglich. (vgl. Kap.7) Über die hierarchische Klassifikation konnten lineare Landschaftselemente, wie das Straßennetz, digital nicht erfaßt werden. Da vor allem lineare Landschaftselemente einen großen Einfluß auf den Fragmentierungsgrad bestimmter Landschaftselemente haben, wurden aus den Biotoptypkartierungen der Länder Sachsen-Anhalt und Sachsen die Straßendaten selektiert und mit den beiden Landbedeckungsklassen verschnitten. (s. 8.2) Trotz der detaillierteren Abbildung der Landoberfläche, sind mit der Integration der Straßendaten aus den Biotoptypkartierungen auch Fehler verbunden. Ein erster Fehler ist durch die zeitliche Differenz der verschiedenen Daten gegeben. Während die Biotoptypkartierung von Sachsen-Anhalt von 1992 und die Biotoptypkartierung Sachsens von 1993/94 stammt, decken die Satellitenbilder den Zeitraum zwischen 1992 und 1999 ab. Da die Daten der Biotoptypkartierung somit statisch sind, können Veränderungen, die beispielsweise durch den Neu- oder Ausbau von Straßen entstehen, nicht erfaßt werden. Eine weitere Fehlerquelle besteht im Fehlen von bundesweit einheitlichen Kartierschlüsseln, woraus sich Unterschiede innerhalb der Nomenklatur der beiden Kartierungen ergeben. Da die Biotoptypkartierung in Form von Vektordatensätzen vorlagen, mußte nach der Selektion der Straßen eine Rasterung durchgeführt werden. Hieraus ergibt sich ein weiterer Fehler, da die Breite der Straßen durch diesen Prozeß überdimensional dargestellt wird. Trotz dieser Fehler wird durch die Integration der Straßendaten in die klassifizierte Bilder eine realistischere Abbildung der Landbedeckung erreicht, so daß über die Berechnung der LSM eine wirklichkeitsgetreuere Erfassung der Landschaftsstruktur erreicht wird.

Insgesamt kann anhand der LSM ein Eindruck über das räumliche Muster der Landschaft und somit über die Landschaftsstruktur gewonnen werden. Die Landschaftsstrukturanalysen haben ge

zeigt, daß anhand der berechneten Strukturmaße urbane Strukturen, die aus unterschiedlichen Nutzungen des Raumes resultieren quantitativ erfaßbar sind. Zum einem konnte über die Analyse des Strukturdatensatzes die Struktur verschiedener Stadtteile quantitativ erfaßt werden. Zum anderen zeichnete sich in den Strukturmaßen auch die Abnahme der Intensität der Landnutzung vom Zentrum zum Umland ab. Da der Ist-Zustand der urbanen Landschaftsstruktur über die vorgestellten Maße quantifiziert werden kann, ist eine wesentliche Voraussetzung zur Erfassung von Veränderungen und somit zum Monitoring städtischer Strukturen erfüllt. Die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse zeigen, daß der Einsatz der Strukturmaße im Monitoring von Stadtstrukturen zu guten Ergebnissen führt, und somit das Ausmaß von urbanen Wachstumsprozessen erfaßt werden kann.

Zur quantitativen Erfassung der kleinräumigen Struktur des urbanen Raumes konnte kein allumfassendes Strukturmaß bestimmt werden. Vielmehr haben die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse gezeigt, daß ein Set verschiedener Strukturmaße notwendig ist, um die Komplexität der urbanen Struktur zu bestimmen. Durch die z.T. redundanten Informationen der verwendeten Maßen ergibt sich der Vorteil, daß die Interpretation eines Strukturmaßes durch die Werte eines zweiten LSMs fundiert und abgesichert werden können. Die Eignung der Strukturmaße zur Erfassung und zum Monitoring der Stadtstruktur kann nicht einheitlich beurteilt werden. Die Bilanz der Strukturanalyse zeigt, daß sich zur Erfassung der urbanen Struktur vor allem der Einsatz von Flächen- und Patchmaßen eignet. Darüber hinaus werden gute Ergebnisse über die Berechnung der Kantendichte, der mittleren Distanz zum nächsten Nachbar sowie über die beiden Maße zur räumlichen Verteilung der Landschaftselemente erzielt. Im Gegensatz hierzu können über die berechneten Formmaße MSI und DLFD keine eindeutigen Aussagen erzielt werden. Als Ursache muß nach Meinung der Autorin auf der einen Seite der hohe Flächenanteil anthropogener Landschaftselemente innerhalb der urbanen Räume angesehen werden. Natürliche Landschaftselemente sind innerhalb urbaner Räume nur in relikter Form erhalten, so daß ihre Form durch die anthropogenen Nachbarpatches beeinflusst wird. Auf der anderen Seite sind bestimmte urbane Strukturen visuelle in den TM Bilder gut erkennbar, aufgrund der geringen Auflösung des Landsat TM und der daraus resultierenden Bildung von Mischpixeln wird ihre Form jedoch primär von der Pixelgröße und weniger durch ihre exakte Form bestimmt. Aus diesem Grund verfügen höher auflösende Sensoren (z.B. IKONOS) über zusätzliche Potentiale, da die verschiedenen Landschaftselemente detaillierter erfaßt werden können.

Um die vorgestellte Methodik in den Planungsprozeß zu implementieren, muß eine Übertragbarkeit auf andere Städte und Verdichtungsräume gewährleistet sein. Die wesentliche Voraussetzung zur Übertragbarkeit der vorgestellten Methode auf andere Untersuchungsgebiete besteht in der Datenkonsistenz. Bereits die Wahl der Klassifizierungsmethode hat einen Einfluß auf die Genauigkeit

der Erfassung der Landbedeckung. Ebenfalls wird das Muster der Landschaftsstruktur von der Anzahl der erfaßten Landbedeckungsklassen beeinflusst. Es besteht z.B. ein wesentlicher Unterschied darin, ob ein urbaner Raum in die zwei Klassen bebaut und unbebaut unterteilt und klassifiziert wird, oder ob eine höhere Klassenanzahl ausgewiesen wird. Eine weitere Voraussetzung der Übertragbarkeit basiert auf der Entwicklung eines einheitlichen Klassifikationsschlüssels, in dem die zu erfassenden Schlüsselemente der Landschaft zusammenfassend dargestellt sind. LSM weisen z.T. eine Sensitivität gegenüber der Skalierung der Ausgangsdaten auf. (vgl. Kap.3) Um die Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse verschiedener Untersuchungsgebiete miteinander zu vergleichen, muß folglich die gleiche Datenbasis verwendet werden.

### **11.3 Forschungsbedarf und zukünftige Entwicklungsperspektiven**

Ein Forschungsbedarf innerhalb der quantitativen Landschaftsökologie besteht vor allem in der Verknüpfung der Ergebnisse der Landschaftsstrukturanalyse mit ökologischen Prozessen. In Kapitel 3 wurde der Zusammenhang zwischen der Struktur und der Funktion der Landschaft erläutert. In der Literatur wird postuliert, daß aufgrund dieser Wechselbeziehung, von der Struktur der Landschaft auf die in ihr ablaufenden ökologischen Prozesse geschlossen werden kann. In der Vergangenheit war es innerhalb der landschaftsökologischen Forschung infolge der Komplexität der Verknüpfung zwischen Struktur und Funktion nur ansatzweise möglich, aus der Landschaftsstruktur verschiedene ökologische Prozesse abzuleiten. Insbesondere bei der Ausarbeitung von Konzepten einer nachhaltigen und umweltverträglichen Entwicklung muß dem Verständnis zwischen Struktur und Funktion ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. In Kapitel 10 wurde am Beispiel der Versiegelung gezeigt, daß durch einen erhöhten anthropogenen Flächenbedarf beispielsweise die Verdunstung, die Wärmespeicherung oder die Grundwasserneubildung beeinflusst werden. Folglich kann eine umweltverträgliche Entwicklung der Stadtstruktur nur dann erreicht werden, wenn die Auswirkungen unterschiedlicher Landschaftsstrukturen auf verschiedene ökologische Prozesse erfaßbar sind. Aufgrund der Vielfältigkeit, der durch die Landschaftsstruktur beeinflussten ökologischen Prozesse, kann dieses Ziel nach Meinung der Autorin nur über eine integrative Landschaftsstrukturforschung und einen interdisziplinären Ansatz in die Realität umgesetzt werden.

Ein weiterer Forschungsbedarf ergibt sich aus der Tatsache, daß verschiedene ökologische Prozesse auf unterschiedlichen Skalen ablaufen. Aus diesem Grund wäre die Kombination unterschiedlicher Daten- und Maßstabebenen wünschenswert. Betrachtet man die Landschaft in unterschiedlichen Maßstäben kann es grundsätzlich zu einer Veränderung der räumlichen Struktur kommen, woraus sich eine Änderung der Werte der berechneten LSM ergibt. Folglich besteht eine zentrale Aufgabe in der Analyse des Skalenverhaltens der Strukturmaße.

Schließlich muß eine stärkere Einbindung der Landschaftsökologie in den Prozeß der Leitbildentwicklung und somit eine stärkere Vernetzung von Landschaftsökologie und Planung erfolgen, da über die Landschaftsstrukturanalyse nur dann Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können, wenn ein Konsens über die zukünftige Entwicklung der Landschaft besteht. (HOBBS, 1997: 7)

## 12 Literaturverzeichnis

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

**AHNERT, F. (1996):** Einführung in die Geomorphologie. Stuttgart.

**AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (1994) (HRSG.):** Handwörterbuch der Raumordnung. Braunschweig.

**ALBERTZ, J. (1991):** Einführung in die Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Darmstadt.

**ANTROP, M. & V. VAN EETVELDE (2000):** Holistic aspects of suburban landscapes: Visual image interpretation and landscape metrics. In: Landscape and urban planning 50, S. 43-58.

**ARTMANN, L. (1993):** Die komplexe Entwicklung der Landschaft in Westsachsen. In: Carmona-Schneider, J.-J. & P. Karrasch (Hrsg.): Die Region Leipzig-Halle im Wandel, S. 27-31.

**BANSE, J., SCHMIDT, R. & P. WIRTH (1993):** Analyse von Entwicklungstendenzen im Umland großer Städte – Beispiele. In: Entwicklungstendenzen im Umland großer Städte in den neuen Bundesländern am Anfang der 90er Jahre. IÖR Schriften 01/93, S. 7-31.

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

**BELL, C., ACEVEDO, W. & J.T. BUCHANAN (1995):** Dynamic mapping of urban regions: Growth of the San Francisco Sacramento Region. In: Proceedings urban and regional information systems association, San Antonio, S. 723-734. (*abrufbar unter <http://edcdgs9.cr.usgs.gov/urban>, letzter Zugriff am 20.6.2001*)

**BLASCHKE, T. (1997):** Landschaftsanalyse und -bewertung mit GIS. Methodische Untersuchungen zu Ökosystemforschung und Naturschutz am Beispiel der bayerischen Salzachauen. In: Deutsche Akademie für Landeskunde 243. Trier.

**BLASCHKE, T. (1999):** Quantifizierung der Struktur einer Landschaft mit GIS: Potentiale und Probleme. In: IÖR-Schriften 29/99, S. 9-25.

**BLASCHKE, T. & J. PETCH (1999):** Landscape structure and scale: comparative studies on some landscape indices in Germany and the UK. In: Maudsley, M.J. & E.J.P. Marshall (Hrsg.): Heterogeneity in Landscape Ecology, IALE (UK), S. 75-84.

**BLASCHKE, T. (2000):** Landscape Metrics: Konzepte eines jungen Ansatzes der Landschaftsökologie und Anwendungen in Naturschutz und Landschaftsforschung. In: Arch. für Nat.-Lands. 39, S. 267-299.

**BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (BMBAU) (Hrsg.) (1996).** Siedlungsentwicklung und Siedlungspolitik. Nationalbericht Deutschland zur Konferenz Habitat II. Bonn.

**BREUSTE, J. (1995):** Stadtökologische Situation altindustrialisierter Städte in den neuen Bundesländern – Das Fallbeispiel Leipzig. In: Zeitschrift für den Erdkundeunterricht, 4/95, S. 174-181.

**BREUSTE, J. (1996):** Grundzüge des Wandels von Stadtstrukturen und Umweltsituation der Stadt Leipzig. –Ein Überblick -. In: Breuste, J. (Hrsg.): Stadtökologie und Stadtentwicklung – Das Beispiel Leipzig, S. 13-31.

**BREUSTE, J. (2000):** Stadtökologie und Stadtentwicklung. Projektbeschreibung. Leipzig. (unveröffentlicht)

**BRUNS, D.F.W. & J.A. SCHMIDT (1997):** City edges in Germany: Quality and urban design. In: Landscape and Urban Planning 36, S. 347-356.

**BUCHANAN, J. T. & W. ACEVEDO (1997):** Defining the temporal and geographic limits for an urban mapping study. In: Proceedings urban and regional information systems association, in Toronto, Canada, 19-20 August 1997. (*abrufbar unter <http://edcdgs9.cr.usgs.gov/urban>, letzter Zugriff am 20.06.2001*)

**BUND & MISEREOR (Hrsg.) (1996).** Zukunftsfähiges Deutschland- Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Bonn.

**BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (BLR) (1996):** Nachhaltige Stadtentwicklung - Herausforderungen an einen ressourcenschonenden und umweltverträglichen Städtebau, Städtebaulicher Bericht. Bonn.

**BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (HRSG.) (1997):** Agenda 21 – Dokumente der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Bonn.

**CAMPBELL, J.B. (1996):** Introduction to remote sensing. London.

- CLARK, K.C., HOPPEN, S. & L.J. GAYDOS (1996):** Methods and techniques for rigorous calibration of a cellular automaton model of urban growth. In: Third international conference /workshop integrating GIS and environmental modelling, Santa Fe, 21.-25.01.1996. (*abrufbar unter <http://edcdgs9.cr.usgs.gov/urban>, letzter Zugriff am 20.06.2001*)
- COWEN, D.J. & J.R. JENSEN (1998):** Extraction and modelling of urban attributes using remote sensing technology. In: Liverman, D., Moran, E.F., Rindfuss, R.R. & P.C. Stern (Hrsg.): People and pixels, S. 164-189.
- COWEN, D.J. & J.R. JENSEN (1999):** Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 65, 5/99, S. 611-622.
- DAMS, T. (1999):** Die entwicklungspolitische Dimension der Katastrophenvorbeugung. In: PLATE, E. & B. MERZ (Hrsg.): Naturkatastrophen – Ursachen, Auswirkung, Vorsorge. (in Druck)
- ECKART, K. (1998):** Agrargeographie Deutschlands. Gotha.
- EHRIG, A. (1998):** Landschaftsmonitoring im Südraum Leipzig. Rostock. (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- EINIG, K., GÖSSEL, J. & S. SIEDENTOP (1997):** Nutzen von CORINE-Daten zur Verfolgung des Verstärkerungsprozesses in ostdeutschen Ballungsräumen. In: GIS 1/97, S. 16-21.
- ERDAS INC. (1999):** The ERDAS Field Guide. Atlanta.
- FINKE, L. (1994):** Landschaftsökologie. Braunschweig.
- FISCHBACHER, U. (1995): **Wie kann man die Zerschneidung der Landschaft messen? In: Informationsblatt des Forschungsbereichs Landschaftsökologie 26, S. 5-6.**
- FORMAN, R. & M. GODRON (1986):** Landscape ecology. Chichester.
- FORSTER, B.C. (1993):** Coefficient of variation as a measure of urban spatial attributes, using SPOT HRV and LANDSAT TM Data. In: International Journal of Remote Sensing 14, 12/93, S. 2403-2409.
- FRANZ, P. (2000):** Überlegungen zur Suburbanisierung in Ostdeutschland. In: Moser, P. & J. Breuste (Hrsg.): Ostdeutsche Stadt-Umland-Regionen unter Suburbanisierungsdruck. UFZ-Bericht 14/00, S.5-7. Leipzig.
- FRIEDRICHS, J. (1983):** Stadtanalyse. Soziale und räumliche Organisation der Gesellschaft. Opladen.

**FRIEDRICHS, J. (1996):** Die Entwicklung der Innenstädte: Chemnitz, Erfurt und Leipzig. In: Bertram, H., Nickel, H.M., Niedermeyer, O. & G. Trommsdorff (Hrsg.): Städte und Regionen. Räumliche Folgen des Transformationsprozesses, S.357-408.

**FRIEDRICHS, J., GENOSKO, J., HÄUBERMANN, H. & W. STRUBELT (1996):** Die Entwicklung ostdeutscher Städte und Regionen: Ergebnisse, Folgerungen und Perspektiven. In: Bertram, H., Nickel, H.M., Niedermeyer, O. & G. Trommsdorff (Hrsg.): Städte und Regionen. Räumliche Folgen des Transformationsprozesses, S.480-501.

**FROHN, R.C. (1998):** Remote sensing for landscape ecology - new metric indicators for monitoring, modelling and assessment of ecosystems. New York.

**GAEBE; W.(1987):** Verdichtungsräume. Stuttgart.

**GASPER, P. (1997):** Landschaftsmaße zur Bestimmung der räumlichen Strukturen in klassifizierten Satellitenbildern. Köln. (unveröffentlichte Arbeit im Rahmen der 1. Staatsprüfung für das Lehramt der Sekundarstufe II)

**GOLNIK, K. (2000):** Aktuelle Aspekte des Suburbanisierungsprozesses aus Sicht der Stadt Halle. In: Moser, P. & J. Breuste (Hrsg.): Ostdeutsche Stadt-Umland-Regionen unter Suburbanisierungsdruck. UFZ-Bericht 14/00, S.16-19.

**GRAMAN, S.L. & G.A. BRADSHAW (1996):** Landscape analysis in ecosystem management. Indicators of sustainable development.

*(abrufbar unter: <http://ncr157.ncr.forestry.ca/Conferences/ISD/Graman-eng.htm>, letzter Zugriff am 03.07.2000)*

**GRÜNER RING LEIPZIG (HRSG.) (1998):** Das Regionale Handlungskonzept des Grünen Ringes Leipzig. Kurzdarstellung. Leipzig.

**GRUNDMANN, L. (1995):** Probleme des Strukturwandels im Umland sächsischer Großstädte. In: Rother, K. (Hrsg.): Mitteldeutschland –gestern und heute, S. 21-31.

**GRUNDMANN, L., TZSCHASCHEL, S. & M. WOLLKOPF (1996):** Leipzig – Ein geographischer Führer durch Stadt und Umland. Institut für Länderkunde. Leipzig.

**GUSTAFSON, E.J. (1998):** Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? In: Ecosystems 1/98, S. 143-156.

**HAWROT, R.Y. & G.J. NIEMI (1996):** Effects of edge type and patch shape of avian communities in a mixed conifer-hardwood forest. In: The Auk 113, 3/96, S. 586-598.

**HEBER, B. & I. LEHMANN (1993):** Stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung in Wohngebieten. IÖR-Schriften 05. Dresden.

**HEBER, B. & I. LEHMANN (1996):** Beschreibung und Bewertung der Bodenversiegelung in Städten. IÖR-Schriften 15. Dresden.

**HEINZ, V. (1996):** Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild. UFZ-Bericht 9/96. Leipzig.

**HEINZ, V. (1998a):** Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen. In: Banzhaf, E., Kasperidus, H.D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig. UFZ-Bericht 2/98, S. 37-52.

**HEINZ, V. (1998b):** Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen in klassifizierten Landsat-5-TM-Bildern am Beispiel der Stadtregion Leipzig. In: Banzhaf, E., Kasperidus, H.D. (Hrsg.): Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig. UFZ-Bericht 2/98, S. 113-126.

**HEINZ, V. (1999):** Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig. UFZ-Bericht 7/99. Leipzig.

**HEROLD, M. (1999):** Fernerkundung und Landschaftsmaße zur Beschreibung von Strukturen und Veränderungen urbaner Landnutzung in Santa Barbara, CA. (unveröffentlichtes Studienprojekt, Jena)

**HILDEBRANDT, G. (1996):** Fernerkundung und Luftbildmessung für die Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Heidelberg.

**HOBBS, R. (1997):** Future landscapes and the future of landscape ecology. In: Landscape and Urban Planning 37, 1-2/97, S. 1-9.

**HOFMEISTER, B. (1991):** Die Stadtstruktur. Darmstadt.

**HOFMEISTER, B. (1997):** Stadtgeographie. Braunschweig.

**HÖHNE, J. & K. JAENSCH (1998):** Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Zentrenentwicklung in den alten und neuen Bundesländern. In: Information zur Raumentwicklung, 2-3/98, S. 181-189.

**HULSHOFF, R. (1995):** Landscape indices describing a Dutch landscape. In: Landscape and Urban Planning. 10, 2/95, S. 1-9.

- HUNDSACKER, C.T., O'NEILL, R.V., JACKSON, B.L., TIMMINS, S.P., LEVINE, D.A. & D.J. NORTON (1994):** Sampling to characterise landscape pattern. In: *Landscape Ecology* 9, 3/94, S. 207-226.
- JENSEN, J.R. (1996):** Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. London.
- JÜRGENS, U. (1994):** Saalepark und Sachsenpark. – Großflächige Einkaufszentren im Raum Leipzig-Halle. In: *Geographische Rundschau* 46, 9/94, S. 516-523.
- JÜRGENS, U. (1995):** Großflächiger Einzelhandel in den neuen Bundesländern und seine Auswirkungen auf die Lebensfähigkeit der Innenstädte. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 139, 3/95, S. 131-142.
- KIESOW, G. (2000):** Landschaftsstrukturanalyse in großen Untersuchungsräumen – Ermittlung von Landschaftsparametern auf der Grundlage der landesweiten Biotop- und Nutzungskartierung für das Land Mecklenburg-Vorpommern in Vorbereitung auf weitergehende statistische Auswertungen. Salzburg. (unveröffentlichte Projektarbeit)
- KIVELL, P. (1993):** Land and the city. Patterns and processes of urban change. London.
- KRAUS, K. (1990):** Fernerkundung. Bonn.
- KRÖNERT, R. & S. ERFURT (1994):** Landnutzung und Landschaftsverbrauch im mitteldeutschen Ballungsgebiet. In: *Geographie und Schule* 91, S. 18-24.
- KRÖNERT, R. (1995):** Ökologischer Handlungsbedarf zur Sicherung der Mehrfachnutzung im Raum Leipzig-Halle. In: *Zeitschrift für den Erdkundeunterricht*, 4/95, S. 163-173.
- KRUMMEL, J.R., GARDNER, R.H., SUGIHARA, G., O'NEILL, R.V. & P.R. COLEMAN (1987):** Landscape patterns in a disturbed Environment. In: *Oikos*, 48/87, S. 321-324.
- KÜHN, M. (1997):** Nachhaltige Entwicklung durch Regionalparks – Chancen und Probleme der Begrenzung der Suburbanisierung im Umland Berlins. In: Breuste, J. (Hrsg.): 2. Leipziger Symposium „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“. UFZ-Bericht 7/1997, S. 129-136.
- KÜHN, M. (1998):** Stadt in der Landschaft – Landschaft in der Stadt. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, 7-8/98, S. 495-507.
- LAUSCH, A. & G. MENZ: (1999):** Bedeutung der Integration linearer Elemente in Fernerkundungsdaten zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen. In: *Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* 3/99, S. 185-194.

- LAUSCH, A. (2000):** Raumzeitliches Monitoring von Landschaftsstrukturen in der Tagebauregion Südraum Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation. UFZ-Bericht 12/00. Leipzig.
- LESER, H. (1997):** Landschaftsökologie. Stuttgart.
- LI, H. & J. REYNOLDS (1993):** A new contagion index to quantify spatial patterns of landscape. In: Landscape Ecology, 8, 3/93, S. 155-162.
- LIENHARD, A. (1999):** Bewertungsmodelle zur Beurteilung des Vernetzungsgrades ausgewählter Biotoptypen in einem Landschaftsraum. In: T. Blaschke (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, S. 245-250.
- LILLESAND, T.M. & R.W. KIEFER (2000):** Remote sensing and image interpretation. New York.
- LÖFFLER, E. (1994):** Geographie und Fernerkundung. Stuttgart.
- MANDELBROT, B. (1991):** Die fraktale Geometrie der Natur. Berlin.
- MAAS, D. (1999):** Umweltmonitoring – Biomonitoring: Begriffsdefinitionen. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, S. 47-53.
- MATHER, P.M. (1999):** Computer processing of remotely-sensed images. An introduction. New York.
- MCGARIGAL, K. & B. MARKS (1994):** FRAGSTATS – Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Dolores.
- MEENTEMEYER, V. (1989):** Geographical perspectives of space, time and scale. In: Landscape Ecology 3, 3-4/89, S. 163-173.
- MENZ, G. (1998):** Landschaftsmaße und Fernerkundung – neue Instrumente für die Umweltforschung. In Geographische Rundschau 50, 2/98, S. 106-111.
- MESEV, T.V. & P.A. LONGLEY (1995):** Morphology from imagery: Detecting and measuring the density of urban land use. In: Environment and Planning 27A, S. 759-780.
- MESEV, V. (1997):** Remote sensing of urban systems: Hierarchical integration with GIS. In: Comput., Environ. and Urban Systems 21, 3-4/97, S. 175-187.

- MILLER, J.N., BROOKS, R.P. & M.J. CROONQUIST (1997):** Effects of landscape patterns on biotic communities. In: *Landscape Ecology* 12, S. 137-153.
- MUSICK, H.B. & H.D. GROVER (1991):** Image textural measures as indices of landscape pattern. In: Turner, M. & R. Gardner (Hrsg.): *Quantitative methods in landscape ecology*, S. 77-103.
- NIEMANN, H., NEUMANN, H. & H. USBECK (1994):** Die Region Halle-Leipzig. Gedanken zu einem Leitbild der dezentralen Entwicklung. In: *Informationen zur Raumordnung* 7-8/94, S. 521-530.
- NEUMANN, H. & H. USBECK (1996):** Raumstruktur und Raumentwicklung in der Region Leipzig-Halle. In: Breuste, J. (Hrsg.): *Stadtökologie und Stadtentwicklung – Das Beispiel Leipzig*, S. 50-62.
- NETZBAND, M. (1998):** Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zur Versiegelungskartierung in Siedlungsräumen. *IÖR-Schriften* 28. Dresden.
- OELKE, E. (1998):** Das Verdichtungsgebiet Halle/Leipzig. In: Kulke, E. (Hrsg.): *Wirtschaftsgeographie Deutschlands*, S. 381-406.
- O'NEIL, R.V. KRUMMEL, J., GRADNER, R., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DEANGELIS, D., MILNE, B., TURNER, M., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S., DALE, V. & R. GRAHAM (1988):** Indices of landscape pattern. In: *Landscape Ecology* 2, 3/88, S. 153-162.
- O'NEILL, R. V., HUNSACKER, C.T., TIMMINS, S.P., JACKSON, B.L., RIITERS, K.H. & J.D. WICKHAM (1996):** Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. In: *Landscape Ecology* 11, 3/96, S. 169-180.
- PAULEIT, S. & F. DUHME (1999):** Stadtstrukturtypen. Bestimmung der Umweltleistungen von Stadtstrukturtypen für die Stadtplanung. In: *RaumPlanung* 84, S. 33-44.
- PRO LEIPZIG (1996A):** Eine historische städtebauliche Standortuntersuchung: Siedlung Grünau & Kirschbergsiedlung. Leipzig.
- PRO LEIPZIG (1996B):** Eine historische städtebauliche Standortuntersuchung: Plagwitz. Leipzig.
- QUATTROCHI, D.A. & R.E. PELLETIER (1991):** Remote sensing for analysis of landscapes: An introduction. In: Turner, M. & R. Gardner (Hrsg.): *Quantitative methods in landscape ecology*, S.51-76.
- QUIEL, F. (1986):** Landnutzungskartierung mit Landsat-Daten. In: *Fernerkundung in Raumordnung und Städtebau* 17. Bonn.

- RICHARDS, J.A. (1993):** Remote sensing digital image analysis. An introduction. Berlin.
- RAMI, M. (1997):** Landschaftsmaße und Satellitenfernerkundung. Entwicklung des Programms METRICS und seine Anwendung auf LANDSAT- und NOAA-Szenen aus dem Bereich Schwarzwald/Oberrhein. Bonn (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- RIITERS, K.H. (1995):** A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. In: Landscape Ecology 10/95, S. 23-39.
- ROSSNER, G. (2000):** Ableitung von Indikatoren zur Veränderung der Landnutzung im Kreis Schleswig-Flensburg von 1975 bis 1995 mit Hilfe von GIS und Fernerkundungsmethoden. Bonn. (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- ROTHER, K. (1997):** Deutschland – Die östliche Mitte. Braunschweig.
- SAHNER, H. (1996):** Städte im Umbruch. In: Bertram, H., Nickel, H.M., Niedermeyer, O. & G. Trommsdorff (Hrsg.): Städte und Regionen. Räumliche Folgen des Transformationsprozesses, S.447- 480.
- SCHÄDLICH, M. (1997):** Regionalkonferenz Halle-Leipzig. Ergebnisse - Erfahrungen – Perspektiven. In: Informationen zur Raumentwicklung 3/97, S. 167-176.
- SCHÖNFELDER, G. (1993):** Der Ballungsraum Halle-Leipzig-Dessau –das Zentrum Mitteldeutschlands. In: Carmona-Schneider, J.J. & P. Karrasch (Hrsg.): Die Region Leipzig-Halle im Wandel, S. 11-24.
- SCHUMACHER, H. (1991):** Untersuchung zur überwachten Klassifikation von Fernerkundungsaufnahmen. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover 169. Hannover.
- SIEDENTOP, S. (1999):** Kumulative Landschaftsbelastungen durch Verstädterung – Methodik und Ergebnisse einer vergleichenden Bestandsaufnahme in sechs deutschen Großstadregionen: In: Natur und Landschaft 74, 4/99, S. 146-155.
- SPITZER, F. (1996):** Klassifikation bebauter Flächen und Bestimmung der Bebauungsdichte im Raum Regensburg anhand multitemporaler und multisensoraler Satellitenbilder. Regensburg. (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- STADT LEIPZIG (HRSG.) (1996):** Stadt-Umland-Konferenz Grüner Ring Leipzig. Leipzig.
- STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN (HRSG.) (1994):** Statistisches Jahrbuch1994 Sachsen. Dresden.

**STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN (HRSG.) (2000):** Statistisches Jahrbuch 2000 Sachsen. Dresden.

**STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (HRSG.) (1994):** Statistisches Jahrbuch 1994 Sachsen-Anhalt. Halle.

**STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (HRSG.) (2000):** Statistisches Jahrbuch 2000 Sachsen-Anhalt. Halle.

**STRUNZ, G. & I. GÜLS (1999):** Einsatz von Fernerkundungsmethoden für das Monitoring im Naturschutz. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, S. 69-82.

**THIEKEN, A. (1999):** GIS-Einsatz im landschaftsökologischen Management – Unsicherheiten bei der Bewertung von Daten. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, S. 193-202.

**TROLL, C. (1966):** Landschaftsökologie als geographisch-synoptische Naturbetrachtung. In: Erdkundliches Wissen, Schriftenfolge für Forschung und Praxis 11, S. 1-13.

**TURNER, M.G., O'NEILL, R.V., GARDNER, R.H. & B.T. MILNE (1998):** Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. In: Landscape Ecology 3, 3-4/89, S. 153-162.

**TURNER, M. & R. GARDNER (1991):** Quantitative methods in landscape ecology: An introduction. In: Turner, M. & R. Gardner (Hrsg.): Quantitative methods in landscape ecology, S. 3-14.

**TURNER, S.J., O'NEILL, R.V., CONLEY, W., CONLEY, M.R. & H. C. HUMPHRIES (1991):** Pattern and scale: Statistics for landscape ecology. In: Turner, M. & R. Gardner (Hrsg.): Quantitative methods in landscape ecology, S.17-50.

**USBECK, H. (2000):** Aspekte der Suburbanisierung von Gewerbe in ostdeutschen Stadt-Umland-Regionen. In: Moser, P. & J. Breuste (Hrsg.): Ostdeutsche Stadt-Umland-Regionen unter Suburbanisierungsdruck. UFZ-Bericht 14/00, S.16-19.

**VOGT, J. (1989):** Grundlagen der Digitalen Bildverarbeitung in der Fernerkundung. Trier.

**WAGNER, R. (1995):** Die zukünftige Nutzung ertragsschwacher Standorte in den neuen Bundesländern. In: Bericht über die Landwirtschaft 73, S. 466-508.

**WALZ, U. (1999):** Erfassung und Bewertung der Landnutzungsstruktur. In IÖR-Schriften 29/99, S. 1-8.

- WASSERRAB, F. (2000):** Change detection 1989-1999 im Verdichtungsgebiet Halle-Leipzig mit Fokus auf die Stadt Schkeuditz anhand optischer Satellitenbilddaten. München. (unveröffentlichte Diplomarbeit)
- WEIERS, S. (1999):** Monitoring und Bewertung von Landschafts- und Biotopveränderungen in Schleswig-Holstein und Dänemark mit Methoden der Satellitenfernerkundung. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, S. 83-90.
- WELCH, R. (1982):** Spatial resolution requirements for urban studies. In: International Journal of Remote Sensing 3, 2/82, S. 139-146.
- WERDER v., U. (1999):** Aufbau eines fernerkundungsbasierten Landschaftsinformationssystems am Beispiel der Verbandsgemeinde Dahn im Pfälzerwald. Göttingen.
- WICKOP, E., BÖHM, P., EITNER, K. & J. BREUSTE (1998):** Qualitätskonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig. UFZ-Bericht 14/98. Leipzig.
- WIENS, J.A. (1992):** What is landscape ecology, really? In: Landscape Ecology 7, 3/92, S. 149-150.
- WIENS, J.A., STENSETH, N.C., HORNE v., B. & R.A. IMS (1993):** Ecological mechanisms and landscape ecology. In: Oikos 66, S. 369-380.
- WIRTH, P. (1993):** Freiflächenverbrauch als Folge der Siedlungsentwicklung. Entwicklungstendenzen im Umland großer Städte in den neuen Bundesländern am Anfang der 90er Jahre. IÖR-Schriften 1/93. Dresden.
- ZIEMKE, K. & I. GÜLS (1999):** Monitoring von Biotopen durch Einsatz der Fernerkundung – Untersuchungen im Rahmen des Arten- und Biotopschutzprogramms Bayerns. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, S. 91-98.

## 13 Anhang

### 13.1 Trennbarkeitsmaße der Signaturen der Musterklassen Distanzmaß: Jefferies-Matusita, durchschnittliche Trennbarkeit

#### 13.1.1 Siedlungsbereiche 1992

Stufe 1	Gewässer	sonst. Grünflächen	Grün- & Ackerland	Flächen ohne Vegetation	Siedlung hohe Verdichtung	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung	Wald
Gewässer	0	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1414
sonst. Grünflächen	1414	0	1376	1414	1407	1409	1407	1413
Grün- & Ackerland	1414	1376	0	1370	1414	1412	1405	1409
Flächen ohne Vegetation	1414	1414	1370	0	1414	1285	1176	1410
Siedlung hohe Verdichtung	1414	1407	1414	1414	0	1412	1409	1414
Siedlung mittlere Verdichtung	1414	1409	1412	1285	1412	0	820	1413
Siedlung geringe Verdichtung	1414	1407	1405	1176	1409	820	0	1409
Wald	1414	1413	1409	1410	1414	1413	1409	0

Trennbarkeitsmaße der 1. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1992

Stufe 2	Sonst. Grünflächen	Flächen . ohne Vegetation	Siedlung hohe Verdichtung	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung	Grün- & Ackerland a <sup>20</sup>	Grün- & Ackerland b
Sonst. Grünfläche	0	1260	1411	1061	1093	1408	1414
Flächen ohne Vegetation	1260	0	1414	1335	1242	1403	1414
Siedlung hohe Verdichtung	1411	1414	0	1388	1405	1414	1414
Siedlung mittlere Verdichtung	1061	1335	1388	0	841	1413	1061
Siedlung geringe Verdichtung	1093	1242	1405	841	0	1412	1414
Grün- & Ackerland a	1408	1403	1414	1413	1412	0	1414
Grün- & Ackerland b	1414	1414	1414	1061	1414	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 2. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1992

Stufe 3	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Siedlung hohe Verdichtung	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung
Flächen ohne Vegetation	0	1260	1414	1335	1242
Sonst. Grünflächen	1260	0	1413	1061	1093
Siedlung hohe Verdichtung	1414	1413	0	1403	1411
Siedlung mittlere Verdichtung	1335	1061	1403	0	841
Siedlung geringe Verdichtung	1242	1093	1411	841	0

Trennbarkeitsmaße der 3. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1992

<sup>20</sup> Grün- und Ackerland a-c: Die Klasse „Grün- und Ackerland“ wurde über drei Subklassen erfaßt, die dann zu einer Klasse zusammengesetzt wurden.

## 13.1.2 Umlandbereiche der Städte Halle und Leipzig 1992

<i>Stufe 1</i>	<i>Flächen ohne Vegetation</i>	<i>Sonst. Grünflächen</i>	<i>Grün- &amp; Ackerland a</i>	<i>Grün- &amp; Ackerland b</i>	<i>Gewässer</i>	<i>Wald</i>	<i>Tagebau</i>
<i>Flächen ohne Vegetation</i>	0	1393	1413	1414	1414	1414	1408
<i>Sonst. Grünflächen</i>	1393	0	1223	1414	1414	1414	1414
<i>Grün- &amp; Ackerland a</i>	1413	1223	0	1414	1414	1407	1414
<i>Grün- &amp; Ackerland b</i>	1414	1414	1414	0	1414	1414	1287
<i>Gewässer</i>	1414	1414	1414	1414	0	1414	1414
<i>Wald</i>	1414	1414	1407	1414	1414	0	1414
<i>Tagebau</i>	1408	1414	1414	1287	1414	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 1. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Umlandbereiche 1992

<i>Stufe 2</i>	<i>Grün- &amp; Ackerland a</i>	<i>Grün- &amp; Ackerland b</i>	<i>Grün- &amp; Ackerland c</i>	<i>Flächen ohne Vegetation</i>	<i>sonst. Grünflächen</i>	<i>Tagebau</i>
<i>Grün- &amp; Ackerland a</i>	0	1414	1414	1414	1392	1414
<i>Grün- &amp; Ackerland b</i>	1414	0	1398	1414	1414	1373
<i>Grün- &amp; Ackerland c</i>	1414	1398	0	1395	1366	1351
<i>Flächen ohne Vegetation</i>	1414	1414	1395	0	1389	1409
<i>Sonst. Grünflächen</i>	1392	1414	1366	1389	0	1413
<i>Tagebau</i>	1414	1373	1351	1409	1413	0

Trennbarkeitsmaße der 2. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Umlandbereiche 1992

<i>Stufe 3</i>	<i>Grün- &amp; Ackerland c</i>	<i>Flächen ohne Vegetation</i>	<i>sonst. Grünflächen</i>	<i>Tagebau</i>
<i>Grün- &amp; Ackerland c</i>	0	1398	1414	1398
<i>Flächen ohne Vegetation</i>	1398	0	1407	1411
<i>Sonst. Grünflächen</i>	1414	1407	0	1414
<i>Tagebau</i>	1398	1411	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 3. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Umlandbereiche 1992

## 13.1.3 Siedlungsbereiche der Städte Halle und Leipzig 1999

Stufe 1	Gewässer	sonst. Grünflächen	Grün- & Ackerland	Flächen ohne Vegetation	Siedlung hohe Verdichtung	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung	Wald
Gewässer	0	1406	1413	1414	1409	1411	1414	1414
sonst. Grünflächen	1406	0	1325	1340	1368	1122	1322	1401
Grün- & Ackerland	1413	1325	0	1404	1402	1346	1353	1410
Flächen ohne Vegetation	1414	1340	1404	0	1414	1400	1407	1410
Siedlung hohe Verdichtung	1409	1368	1402	1414	0	1288	1269	1414
Siedlung mittlere Verdichtung	1411	1122	1346	1400	1288	0	805	14314
Siedlung geringe Verdichtung	1414	1322	1353	1407	1269	805	0	1414
Wald	1414	1404	1410	1410	1414	1414	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 1. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1999

Stufe 2	Sonst. Grünflächen	Flächen ohne Vegetation.	Siedlung hohe Verdichtung	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung	Grün- & Ackerland a	Grün- & Ackerland b
Sonst. Grünflächen	0	1342	1371	866	1184	1414	1413
Flächen ohne Vegetation	1342	0	1413	1359	1386	1412	1414
Siedlung hohe Verdichtung	1371	1414	0	1276	1293	1414	1410
Siedlung mittlere Verdichtung	866	1359	1276	0	835	1414	1405
Siedlung geringe Verdichtung	1184	1386	1293	835	0	1414	1367
Grün- & Ackerland a	1414	1412	1414	1414	1414	0	1414
Grün- & Ackerland b	1413	1414	1359	1405	1367	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 2. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1999

Stufe 3	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Grün- & Ackerland b	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung
Flächen ohne Vegetation	0	1151	1404	1372	1390
sonst. Grünflächen	1151	0	1379	1227	1335
Grün- & Ackerland b	1404	1379	0	1186	1142
Siedlung mittlere Verdichtung	1372	1227	1186	0	898
Siedlung geringe Verdichtung	1390	1335	1142	898	0

Trennbarkeitsmaße der 3. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1999

Stufe 4	Sonst. Grünflächen.	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung
Sonst. Grünflächen	0	776	1378
Siedlung mittlere Verdichtung	776	0	1354
Siedlung geringe Verdichtung	1378	1354	0

Trennbarkeitsmaße der 4. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Siedlungsbereiche 1999

## 13.1.4 Umlandbereiche der Städte Halle und Leipzig 1999

Stufe 1	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Grün- & Ackerland a	Grün- & Ackerland b	Gewässer	Wald	Tagebau
Flächen ohne Vegetation	0	1382	1395	1400	1414	1414	1414
sonst. Grünflächen	1382	0	1357	1384	1414	1411	1414
Grün- & Ackerland a	1395	1357	0	949	1414	1407	1404
Grün- & Ackerland b	1400	1384	949	0	1414	1411	1389
Gewässer	1414	1414	1414	1414	0	1414	1414
Wald	1414	1411	1407	1411	1414	0	1414
Tagebau	1414	1414	1404	1389	1414	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 1. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Umlandbereiche 1999

Stufe 2	Grün- & Ackerland a	Grün- & Ackerland b	Grün- & Ackerland c	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Tagebau
Grün- & Ackerland a	0	1414	1414	1379	1315	1414
Grün- & Ackerland b	1414	0	1411	1414	1414	1301
Grün- & Ackerland c	1414	1411	0	1407	1405	1396
Flächen ohne Vegetation	1379	1414	1407	0	1197	1404
Sonst. Grünflächen	1315	1414	1405	1197	0	1412
Tagebau	1414	1301	1396	1404	1412	0

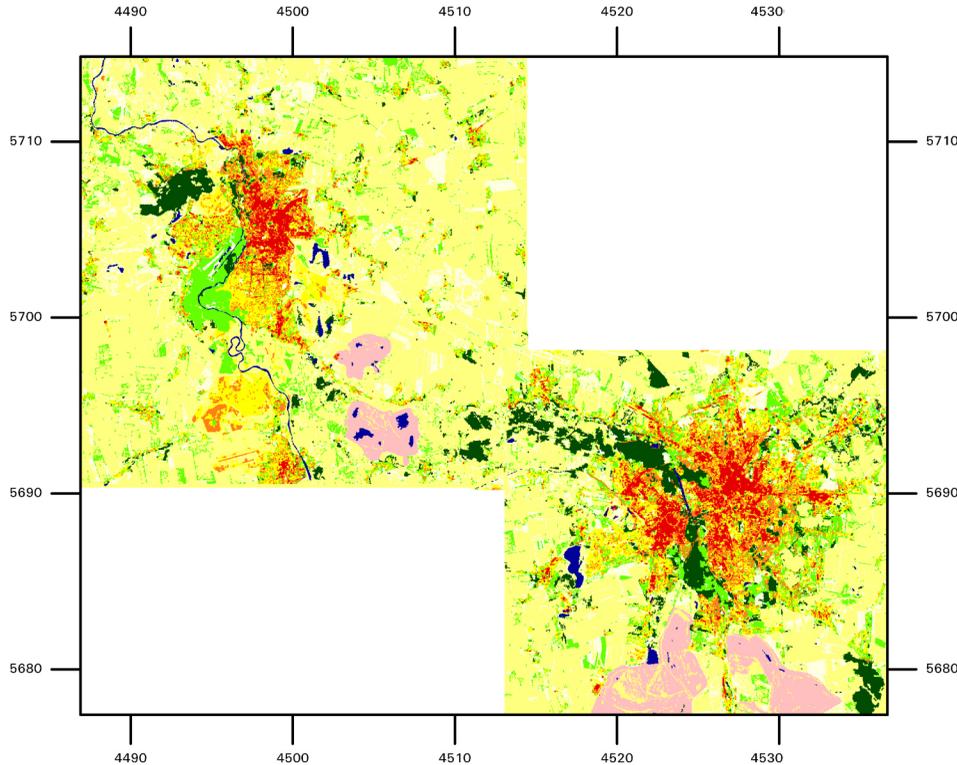
Trennbarkeitsmaße der 2. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Umlandbereiche 1999

Stufe 3	Grün- & Ackerland b	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Tagebau
Grün- & Ackerland b	0	1414	1414	1398
Flächen ohne Vegetation	1414	0	1410	1409
sonst. Grünflächen	1414	1410	0	1414
Tagebau	1398	1409	1414	0

Trennbarkeitsmaße der 3. Stufe der hierarchischen Klassifikation der Umlandbereiche 1999

# Klassifikation der Landsat TM Szene vom 28.05.1992

## Karte I: Klassifikation der Landsat-TM-Szene vom 28.05.1992 Halle-Leipzig



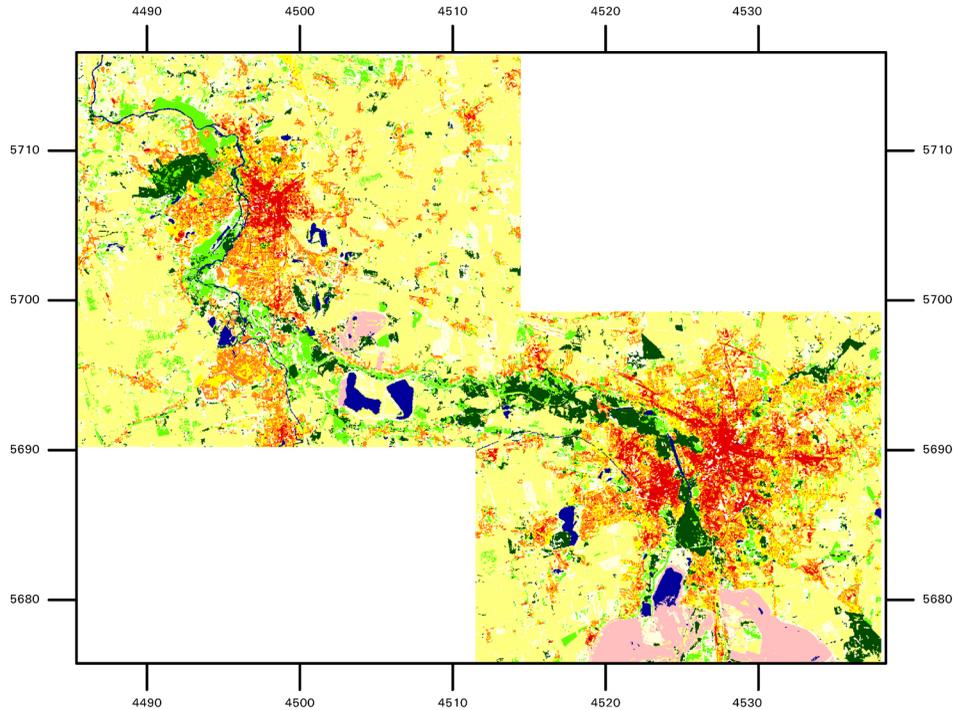
Datenbasis:  
Landsat-TM-Aufnahme vom 28.05.1992

Bearbeitung und Kartographie:  
Kerstin Schallenberg

Leipzig 2001

# Klassifikation der Landsat TM Szene vom 30.04.1999

Karte II: Klassifikation der Landsat-TM-Szene vom 30.04.1999  
Halle-Leipzig



Datenbasis:  
Landsat-TM-Aufnahme vom 30.04.1999

Bearbeitung und Kartographie:  
Kerstin Schallenberg

Leipzig 2001



### 13.3 Errormatrix zur Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit

Klassen	Wald	Tagebau	Gewässer	Grün & Ackerland	Siedlung hohe Verdichtung	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung	Summe
Wald	8									8
Tagebau		10								10
Gewässer			0							0
Grün & Ackerland	1			75		2	10			88
Siedlung hohe Verdichtung					4					4
Flächen ohne Vegetation				1		11				12
sonst. Grünflächen				1		1	11			13
Siedlung mittlere Verdichtung								7	1	8
Siedlung geringe Verdichtung								1	8	9
Summe	9	10	0	77	4	14	21	8	9	152

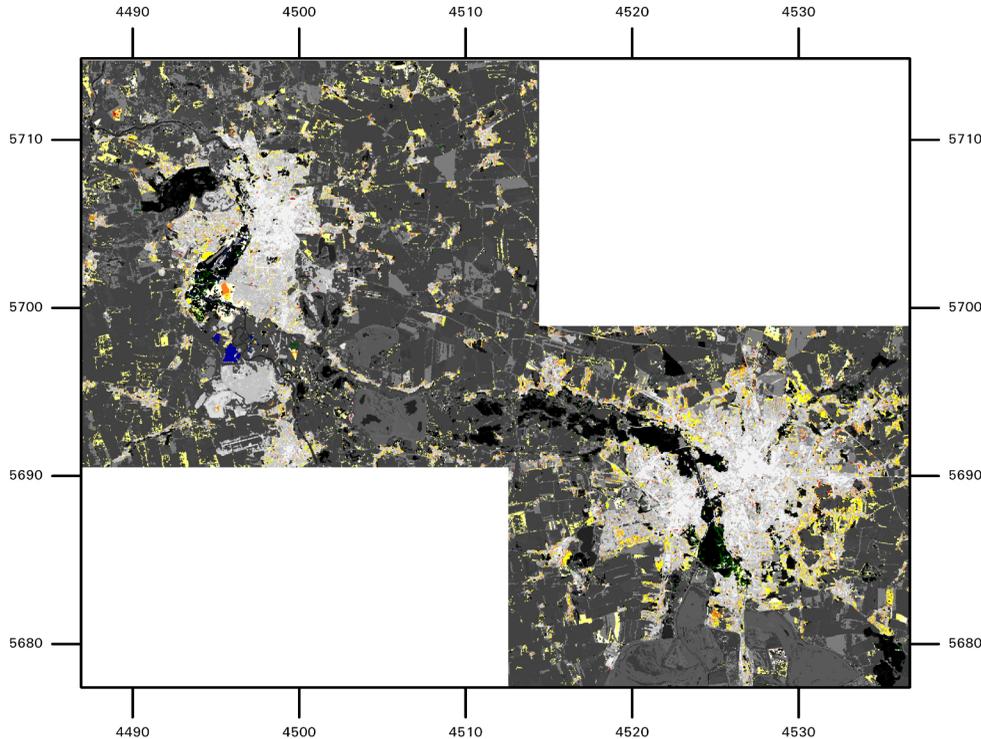
Errormatrix zur Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit der Klassifikation der Landsat-TM Szene vom 28.05.1992

Klassen	Wald	Tagebau	Gewässer	Grün & Ackerland	Siedlung hohe Verdichtung	Flächen ohne Vegetation	sonst. Grünflächen	Siedlung mittlere Verdichtung	Siedlung geringe Verdichtung	Summe
Wald	4						1			5
Tagebau		4								4
Gewässer			4					1		5
Grün & Ackerland				74			1			75
Siedlung hohe Verdichtung					1					1
Flächen ohne Vegetation				2		25				27
Sonst. Grünflächen				11			5			16
Siedlung mittlere Verdichtung								9	2	11
Siedlung geringe Verdichtung						1		2	5	8
Summe	4	4	4	87	1	26	7	12	7	152

Error-Matrix zur Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit der Klassifikation der Landsat-TM Szene vom 30.04.1999

# Veränderungen der Klasse "sonstige Grünflächen"

## Karte III: Veränderungen der Klasse "sonstige Grünflächen" Matrixbild



Veränderungen der Klasse "sonstige Grünflächen" in:



Datenbasis: Landsat-TM-Aufnahme vom  
28.5.1992 und 30.04.1999

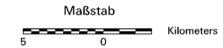
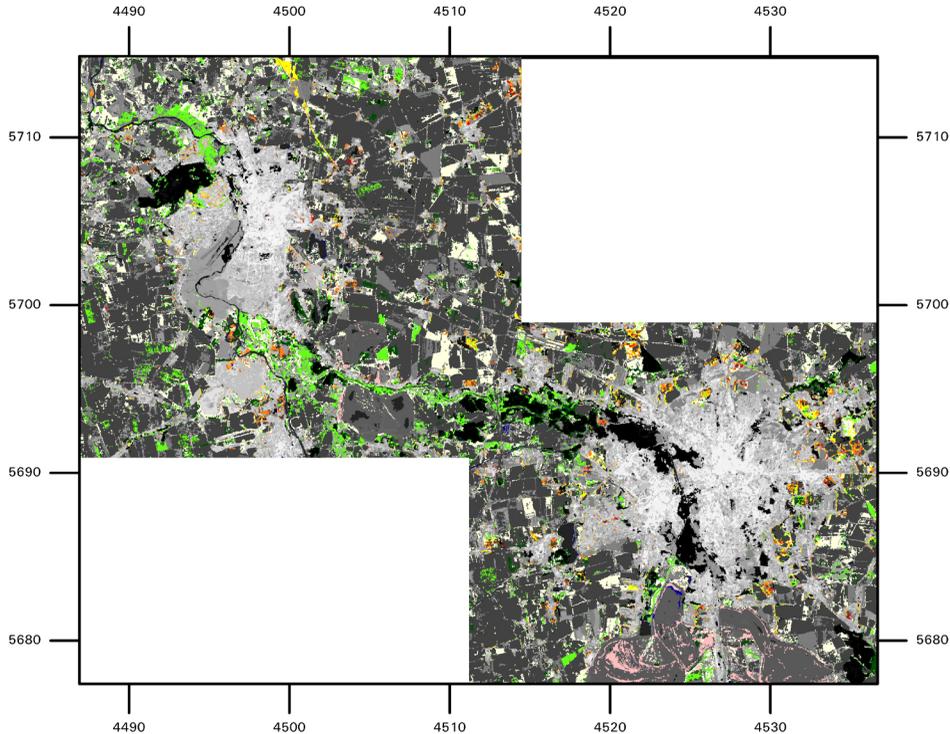
Bearbeitung und Kartographie:  
Kerstin Schallenberg

Leipzig 2001



# Veränderungen der Klasse "Grün- und Ackerland"

## Karte IV: Veränderungen der Klasse "Grün- und Ackerland" Matrixbild



Veränderungen der Klasse "Grün- und Ackerland" in:

Landbedeckung 1999

-  Wald
-  Tagebau
-  Gewässer
-  Siedlung hohe Verdichtung
-  Flächen ohne Vegetation
-  Sonstige Grünflächen
-  Siedlung mittlere Verdichtung
-  Siedlung geringe Verdichtung

Datenbasis: Landsat-TM-Aufnahme vom  
28.05.1992 und 30.04.1999

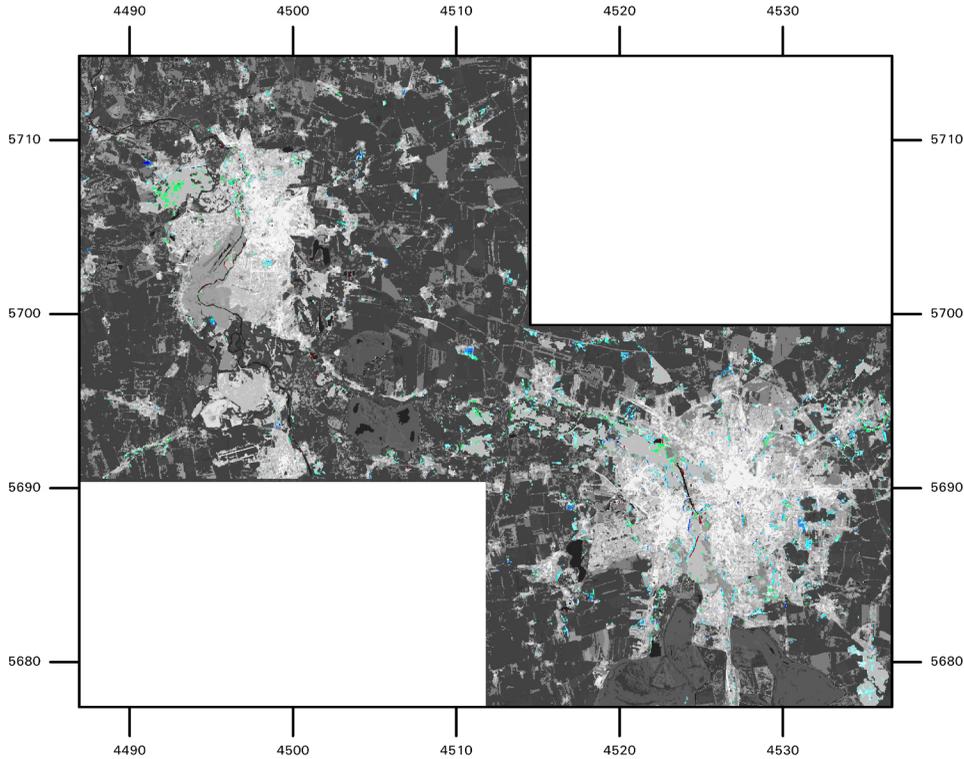
Bearbeitung und Kartographie:  
Kerstin Schallenberg

Leipzig 2001



# Veränderungen der Klasse "Wald"

# Karte V: Veränderungen der Klasse "Wald" Matrixbild



Veränderungen der Klasse "Wald" in:

Landbedeckung 1999

-  Tagebau
-  Gewässer
-  Grün- und Ackerland
-  Siedlung hohe Verdichtung
-  Flächen ohne Vegetation
-  sonstige Grünflächen
-  Siedlung mittlere Verdichtung
-  Siedlung geringe Verdichtung

Datenbasis: Landsat-TM-Aufnahme vom  
28.05.1992 und 30.04.1999

Bearbeitung und Kartographie:  
Kerstin Schallenberg

Leipzig 2001



### 13.5 Daten der amtlichen Statistik des Landesamtes Sachsen und Sachsen-Anhalt

<i>Art der tatsächlichen Nutzung</i>	<i>Fläche 1992 (in ha)</i>	<i>Fläche 2000 (in ha)</i>	<i>Veränderung in ha</i>
Landwirtschaftliche Fläche	1050060	1038968	- 12092
Waldfläche	483900	485302	+ 1402
Wasserfläche	32398	32589	+ 191
Flächen anderer Nutzung	55071	54330	- 741
Siedlungs- und Verkehrsflächen	182446	195255	+ 12809

Land- und Forstwirtschaftliche Bodennutzung Sachsen, Quelle: Statistisches Jahrbuch Sachsen 1994 & 2000

<i>Art der tatsächlichen Nutzung</i>	<i>Fläche 1992 (in ha)</i>	<i>Fläche 2000 (in ha)</i>	<i>Veränderung in ha</i>
Landwirtschaftliche Fläche	4070	1365	- 2705
Waldfläche	1107	1795	+ 688
Wasserfläche	326	611	+ 285
Flächen anderer Nutzung	1020	1171	+ 151
Siedlungs- und Verkehrsflächen	8143	11652	+ 3509

Land- und Forstwirtschaftliche Bodennutzung Stadt Leipzig, Quelle: Statistisches Jahrbuch Sachsen 1994 & 2000

<i>Art der tatsächlichen Nutzung</i>	<i>Fläche 1992 (in ha)</i>	<i>Fläche 2000 (in ha)</i>	<i>Veränderung in ha</i>
Landwirtschaftliche Fläche	63303	45339	- 17964
Waldfläche	7368	6013	+ 1355
Wasserfläche	2653	2230	- 423
Flächen anderer Nutzung	3162	2411	+ 1249
Siedlungs- und Verkehrsflächen	11543	8196	- 3347

Land- und Forstwirtschaftliche Bodennutzung Leipziger Land, Quelle: Statistisches Jahrbuch Sachsen 1994 & 2000

<i>Art der tatsächlichen Nutzung</i>	<i>Fläche 1992 (in ha)</i>	<i>Fläche 1999 (in ha)</i>	<i>Veränderung in ha</i>
Gebäude und Freiflächen	3146	3750	+ 604
Betriebsflächen	27	44	+ 17
Erholungsflächen	509	496	- 13
Verkehrsflächen	1218	1405	+ 187
Landwirtschaftliche Flächen	4662	4496	- 166
Waldflächen	1116	1101	- 15
Wasserflächen	951	835	- 116
Flächen anderer Nutzung	1878	1373	- 505
Bodenfläche insgesamt	13507	13500	- 7

Bodennutzung der Stadt Halle, Quelle: Statistisches Jahrbuch Sachsen Anhalt 1994 & 2000

<i>Art der tatsächlichen Nutzung</i>	<i>Fläche 1993(in ha)</i>	<i>Fläche 2000 (in ha)</i>	<i>Veränderung in ha</i>
Gebäude und Freiflächen	81958	96925	+ 14967
Betriebsflächen	20647	21667	+ 1020
Erholungsflächen	7261	9656	+ 2395
Verkehrsflächen	72475	75619	+ 1144
Landwirtschaftliche Flächen	130713	128431	- 2282
Waldflächen	433538	435127	+ 1589
Wasserflächen	34634	34769	+ 135
Flächen anderer Nutzung	93361	86600	- 6761
Bodenfläche insgesamt	2044542	2044677	+ 135

Bodennutzung des Landes Sachsen-Anhalt, Quelle: Statistisches Jahrbuch Sachsen Anhalt 1994 & 2000

<i>Art der tatsächlichen Nutzung</i>	<i>Fläche 1992(in ha)</i>	<i>Fläche 2000 (in ha)</i>	<i>Veränderung in ha</i>
<b>Gebäude und Freiflächen</b>	2609	4034	+ 1425
<b>Betriebsflächen</b>	280	639	+ 359
<b>Erholungsflächen</b>	151	344	+ 193
<b>Verkehrsflächen</b>	2275	2513	+ 238
<b>Landwirtschaftliche Flächen</b>	52286	50576	- 1710
<b>Waldflächen</b>	1678	1797	+ 119
<b>Wasserflächen</b>	820	834	+ 14
<b>Flächen anderer Nutzung</b>	1674	2088	+ 414
<b>Bodenfläche insgesamt</b>	62816	62826	+ 10

Bodennutzung des Saalkreis, Quelle: Quelle: Statistisches Jahrbuch Sachsen Anhalt 1994 & 2000

## 13.6 Landschaftsstrukturmaße

### 13.6.1 Stadtteile: Landschaftsbezogene Strukturmaße

#### Stadtteile Halle/ Leipzig (1999)

Stadtteil	Jahr	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI	CONTAG
Leipzig City	1999	124,42	0,8	11,71	274,97	1,24	1,4	41,4	98,55	63,01	40,37
Halle City	1999	102,8	0,97	13,92	281,14	1,25	1,4	42,9	87,38	56,81	50,29
Plagwitz	1999	114,72	0,87	13,75	274,49	1,26	1,42	47,3	94,16	61,47	36,59
Freiimfelde	1999	99,19	1,01	15,39	276,21	1,36	1,46	49,1	94,69	74,1	59,27
Gohlis	1999	151,99	0,65	9,95	298,19	1,23	1,4	36,4	48,56	65,93	40,88
Südl. Innenstadt Halle	1999	136,29	0,73	6,84	291,75	1,2	1,39	31,1	44,61	64,93	54,47
Grünau	1999	120,65	0,83	15,56	256,51	1,25	1,41	43	47,19	66,22	41,72
Halle Neustadt	1999	103,86	0,96	19,87	256,68	1,26	1,42	47	46,66	72,14	54,77

#### Landschaftsbezogene Strukturmaße der Stadtteile basierende auf der Klassifikation von 1999

#### Stadtteile Halle/ Leipzig (1992/1999)

Stadtteil	Jahr	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI	CONTAG
Halle City	1992	115,34	0,86	14,03	284,91	1,32	1,26	43,9	70,38	57,95	62,41
Halle City	1999	102,8	0,97	13,92	281,14	1,25	1,4	42,9	87,38	56,81	50,29
Halle Neustadt	1992	114,6	0,87	18,05	257,64	1,43	1,37	47,9	57,32	70,87	51,88
Halle Neustadt	1999	103,86	0,96	19,87	256,68	1,26	1,42	47	46,66	72,14	54,77
Freiimfelde	1992	107,15	0,93	7,99	277,28	1,46	1,31	45,1	54,45	80,05	49,49
Freiimfelde	1999	99,19	1,01	15,39	276,21	1,36	1,46	49,1	94,69	74,1	59,27
Südl. Innenstadt	1992	123,38	0,81	10,88	288,97	1,3	1,29	37,2	49,04	61,23	56,6
Südl. Innenstadt	1999	136,29	0,73	6,84	291,75	1,2	1,39	31,1	44,61	64,93	54,47
Leipzig City	1992	128,49	0,78	13,54	278,52	1,24	1,4	42,8	81,12	63,26	40,74
Leipzig City	1999	124,42	0,8	11,71	274,97	1,24	1,4	41,4	98,55	63,01	40,37
Plagwitz	1992	117,48	0,85	9,86	276,85	1,26	1,41	42,7	66,81	68,17	36,71
Plagwitz	1999	114,72	0,87	13,75	274,49	1,26	1,42	47,3	94,16	61,47	36,59
Gohlis	1992	129,46	0,77	11,99	293,49	1,25	1,39	38,1	49,31	67,16	35,82
Gohlis	1999	151,99	0,65	9,95	298,19	1,23	1,4	36,4	48,56	65,93	40,88
Grünau	1992	124,24	0,8	15,32	258,76	1,23	1,42	43,6	62,37	65,61	40,45
Grünau	1999	120,65	0,83	15,56	256,51	1,25	1,41	43	47,19	66,22	41,72

#### Landschaftsbezogene Strukturmaße der Stadtteile basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999

## 13.6.2 Stadtteile: Klassenbezogene Strukturmaße (1999)

## Citybereiche Halle/Leipzig (1999)

Stadtteile	Jahr	Landnutzungs-Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
City Halle	1999	Wald	0,79	5,02	0,16	1,09	11,48	1,11	1,19	82,6	306,8	73,67
City Halle	1999	Flächen ohne Vegetation	2,89	12,8	0,23	0,47	20,8	1,27	1,02	75,14	77,3	79,22
City Halle	1999	Siedlung geringe Verdichtung	4,98	17,12	0,29	0,29	33,31	1,3	1,07	39,21	76,01	80,25
City Halle	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	12,08	33,32	0,36	0,42	78,7	1,26	1,21	38,37	42,03	66,25
City Halle	1999	Siedlung hohe Verdichtung	36,25	34,52	1,05	2,94	138,56	1,28	1,22	28,06	33,75	42,06
City Halle	1999	Straßen	43,02	0,02	2152,03	569,78	22,43	3,38	1,52	220,12	73,84	56,87
City Leipzig	1999	Wald	1,69	4,45	0,38	0,99	10,96	1,2	1,35	79,32	215,86	70,17
City Leipzig	1999	Gewässer	0,9	3,12	0,29	0,76	6,84	1,18	1,38	114,95	485,77	48,95
City Leipzig	1999	Flächen ohne Vegetation	5,73	20,17	0,28	0,44	46,51	1,18	1,34	46,1	45,5	57
City Leipzig	1999	Grünflächen	1,05	3,5	0,3	0,69	8,02	1,17	1,38	74,91	106,37	70,82
City Leipzig	1999	Siedlung geringe Verdichtung	3,81	19,98	0,19	0,22	39,11	1,17	1,44	43,1	60,48	59,37
City Leipzig	1999	Siedlungen mittlere Verdichtung	9,4	36,17	0,26	0,44	81,88	1,19	1,4	38,95	37,83	56,26
City Leipzig	1999	Siedlungen hohe Verdichtung	29,64	35,41	0,84	2,93	140,18	1,28	1,37	31,87	27,19	45,14
City Leipzig	1999	Straßen	47,88	1,61	29,75	116,41	216,43	2,87	1,7	25,61	2,44	75,82

## Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999

## Gründerzeitliche Wohngebiete: Südliche Innenstadt Halle / Gohlis (1999)

Stadtteile	Jahr	Landnutzungs-Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Südl. Innenstadt	1999	Wald	1,31	3,05	0,43	2,52	4,2	1,38	1,23	177,15	214,51	86,97
Südl. Innenstadt	1999	Gewässer	2,81	0,03	93,7	0,56	1,94	1,88	1,18	295,41	517,3	90,5
Südl. Innenstadt	1999	Flächen ohne Vegetation	6,28	12,26	0,51	1,48	35,66	1,3	1,25	46,08	51,82	84,97
Südl. Innenstadt	1999	Grünflächen	1,3	21,07	0,06	0,33	42,33	1,36	1,18	42,88	108,07	72,12
Südl. Innenstadt	1999	Siedlung geringe Verdichtung	7,84	34,31	0,23	1,12	96,52	1,25	1,24	28,57	23,62	67,67
Südl. Innenstadt	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	17,62	43,69	0,4	0,31	117,82	1,27	1,27	32,87	13,53	65,6
Südl. Innenstadt	1999	Siedlung hohe Verdichtung	26,25	20,85	1,26	2,13	89,02	1,27	1,27	30,42	38,51	42,94
Südl. Innenstadt	1999	Straßen	36,6	1,03	35,53	567,55	130,01	3,8	1,48	36,5	13,78	68,08
Gohlis	1999	Wald	0,75	3,6	0,21	0,27	6,89	1,19	1,46	98,27	166,21	47,91
Gohlis	1999	Gewässer	0,04	0,1	0,38	0	0,39	1,63		97,67	146,95	52,62
Gohlis	1999	Flächen ohne Vegetation	7,42	18,01	0,41	1,21	49,02	1,21	1,33	46,26	57,18	63,01
Gohlis	1999	Grünflächen	5,06	20,65	0,24	0,22	40,9	1,15	1,41	55,7	119,67	58,38
Gohlis	1999	Siedlung geringe Verdichtung	10,7	36,02	0,3	1,2	101,84	1,23	1,39	33,26	21,56	60,43
Gohlis	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	13,75	45,47	0,3	0,44	116,27	1,22	1,4	31,43	17,8	62,91
Gohlis	1999	Siedlung hohe Verdichtung	18,34	26,58	0,69	2,64	92,88	1,25	1,38	33,09	39,07	49,23
Gohlis	1999	Straßen	43,94	1,56	28,17	105,47	218,18	3,23	1,8	33,19	10,45	78,03

## Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999

## Plattenbausiedlungen: Halle Neustadt / Grünau (1999)

Stadtteile	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Neustadt Halle	1999	Wald	1,09	2,21	0,49	0,29	4,41	1,39	1,28	71,69	68,09	80,21
Neustadt Halle	1999	Gewässer	1,33	1,02	1,3	33,21	8,72	1,66	1,34	43,54	29,64	82,57
Neustadt Halle	1999	Flächen ohne Vegetation	11,06	16,63	0,67	2,11	43,27	1,41	1,28	41,36	54,22	79,96
Neustadt Halle	1999	Grünflächen	6,85	5,22	1,31	1,34	15,76	1,43	1,28	41,67	72,67	83,38
Neustadt Halle	1999	Siedlung geringe Verdichtung	23,95	31	0,77	0,7	65,88	1,46	1,33	41,01	46,53	65,58
Neustadt Halle	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	30,2	36,18	0,83	0,73	93,27	1,46	1,38	45,14	24,55	70,88
Neustadt Halle	1999	Siedlung hohe Verdichtung	5	8,5	0,59	0,26	15,65	1,27	1,37	78,93	165,52	61,98
Neustadt Halle	1999	Straßen	20,51	3,1	6,62	291,61	74,6	2,75	1,47	32,51	6,94	73,88
Grünau	1999	Wald	0,52	2,77	0,19	0,16	5,45	1,17	1,41	53,78	72,34	50,18
Grünau	1999	Gewässer	9,65	2,23	4,32	19,42	11,36	1,37	1,33	33,31	17,77	37,09
Grünau	1999	Grün- und Ackerland	5,88	15,18	0,39	1,08	37,8	1,21	1,35	39,49	41,78	57,43
Grünau	1999	Flächen ohne Vegetation	7,88	17,06	0,46	1,17	48	1,24	1,36	48,26	48,91	59,65
Grünau	1999	Grünflächen	3,1	4,47	0,69	1,36	14,6	1,27	1,38	40,29	117,65	62,05
Grünau	1999	Siedlung geringe Verdichtung	8,84	31,61	0,28	0,97	75,2	1,2	1,45	37,37	44,72	50,84
Grünau	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	12,26	38,31	0,32	0,57	101,25	1,23	1,43	31,95	15,57	47,7
Grünau	1999	Siedlung hohe Verdichtung	1,95	8,57	0,23	0,35	17,48	1,18	1,44	66,14	63,39	48,6
Grünau	1999	Straßen	50,59	0,45	112,4	224,89	201,88	6,11	1,75	27,07	4,14	83,14

## Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999

## Mischgebiete: Plagwitz / Freimfelde (1999)

Stadtteile	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Freimfelde	1999	Gewässer	0,14	0,1	1,4	0,92	0,16	1,31	1,13	218,37	223,89	66,42
Freimfelde	1999	Grün- und Ackerland	30,67	1,58	19,41	0,2	2,61	1,54	1,22	183,68	379,25	77,01
Freimfelde	1999	Flächen ohne Vegetation	9,4	12,3	0,76	0,77	44,79	1,36	1,22	59,19	69,3	76,93
Freimfelde	1999	Grünflächen	0,35	3,02	0,12	1,48	15,38	1,38	1,07	40,36	64,21	73,48
Freimfelde	1999	Siedlung geringe Verdichtung	6,48	17,28	0,38	0,98	52,34	1,32	1,28	48,53	54,82	73,44
Freimfelde	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	15,57	26,53	0,59	0,99	66,02	1,35	1,34	50	28,28	73,43
Freimfelde	1999	Siedlung hohe Verdichtung	19,05	34,34	0,55	1,84	119,84	1,4	1,3	23	23,17	63,94
Freimfelde	1999	Straßen	17,22	4,04	4,26	74,26	318,08	2,81	1,46	49,2	39,84	75,93
Plagwitz	1999	Wald	5,06	5,91	0,86	2,35	24,34	1,3	1,4	94,75	222,77	51,75
Plagwitz	1999	Gewässer	0,06	0,2	0,29	0	0,49	1,12	1,1	93,78	154,89	0
Plagwitz	1999	Grün- und Ackerland	0,27	1,77	0,15	0,14	2,66	1,07	1,31	228,26	454,36	68,55
Plagwitz	1999	Flächen ohne Vegetation	6,18	17,94	0,34	0,67	46,37	1,19	1,35	63,48	79,2	70,63
Plagwitz	1999	Grünflächen	2,45	4,73	0,52	1,27	16,75	1,23	1,32	41,83	60,99	39,66
Plagwitz	1999	Siedlungen geringe Verdichtung	7,33	19,71	0,37	0,97	54,75	1,21	1,44	46,83	67,28	62,12
Plagwitz	1999	Siedlungen mittlere Verdichtung	8,19	27,2	0,3	0,71	67,86	1,21	1,44	51	26,26	55,02
Plagwitz	1999	Siedlungen hohe Verdichtung	22,36	35,88	0,62	1,83	120,78	1,26	1,35	23	27,83	33,4
Plagwitz	1999	Straßen	47,43	1,38	34,38	83,36	214,96	3,73	1,78	43,61	29,43	73,81

## Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999

## 13.6.3 Stadtteile: Klassenbezogene Strukturmaße (1992/1999)

## Citybereiche Halle/Leipzig (1992/1999)

Stadtteil	Jahr	Landnutzungs- klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Halle	1992	Wald	0,55	5,02	0,11	1,47	14,35	1,43	0,92	81,37	313,76	60,08
Halle	1999	Wald	0,79	5,02	0,16	1,09	11,48	1,11	1,19	82,6	306,8	73,67
Halle	1992	Flächen ohne Vegetation	0,01	3,9	0,002	0,68	9,01	1,22	1,23	108,5	206,8	50,77
Halle	1999	Flächen ohne Vegetation	2,89	12,8	0,23	0,47	20,8	1,27	1,02	75,14	77,3	79,22
Halle	1992	Grünflächen	1,54	8,4	0,18	0,78	15,11	1,23	1,14	84,26	162,09	68,86
Halle	1999	Grünflächen	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Halle	1992	Siedlung gerin- ger Verdichtung	5,8	35,19	0,16	0,39	84,82	1,24	1,29	36,32	29,23	64,3
Halle	1999	Siedlung gerin- ge Verdichtung	4,98	17,12	0,29	0,29	33,31	1,3	1,07	39,21	76,01	80,25
Halle	1992	Siedlung middle- re Verdichtung	15,2	35,31	0,43	0,42	89,95	1,27	1,28	37,84	44,35	64,74
Halle	1999	Siedlung middle- re Verdichtung	12,08	33,32	0,36	0,42	78,7	1,26	1,21	38,37	42,03	66,25
Halle	1992	Siedlung hohe Verdichtung	33,85	27,5	1,23	3,43	108,16	1,3	1,23	31,29	40,76	38,2
Halle	1999	Siedlung hohe Verdichtung	36,25	34,52	1,05	2,94	138,56	1,28	1,22	28,06	33,75	42,06
Leipzig	1992	Wald	2,47	5,21	0,47	1,2	14,53	1,23	1,32	77,29	232,7	55,22
Leipzig	1999	Wald	1,69	4,45	0,38	0,99	10,96	1,2	1,35	79,32	215,86	70,17
Leipzig	1992	Gewässer	0,46	1,33	0,35	0,94	2,77	1,13	1,34	39,48	25,96	48,43
Leipzig	1999	Gewässer	0,9	3,12	0,29	0,76	6,84	1,18	1,38	114,95	485,77	48,95
Leipzig	1992	Flächen ohne Vegetation	1,22	3,88	0,32	0,73	9,89	1,23	1,44	111,55	214,02	61,37
Leipzig	1999	Flächen ohne Vegetation	5,73	20,17	0,28	0,44	46,51	1,18	1,34	46,1	45,5	57
Leipzig	1992	Grünflächen	1,96	9	0,22	0,25	18,98	1,17	1,39	74,8	150,71	64,5
Leipzig	1999	Grünflächen	1,05	3,5	0,3	0,69	8,02	1,17	1,38	74,91	106,37	70,82
Leipzig	1992	Siedlungen mit geringer Ver- dichtung	9,69	39,2	0,25	0,35	90,54	1,21	1,44	34,07	27,2	53,43
Leipzig	1999	Siedlung mit geringer Ver- dichtung	3,81	19,98	0,19	0,22	39,11	1,17	1,44	43,1	60,48	59,37
Leipzig	1992	Siedlungen mit mittlerer Ver- dichtung	11,09	38,73	0,29	0,47	92,86	1,2	1,4	38,92	39,56	58,55
Leipzig	1999	Siedlungen mit mittlerer Ver- dichtung	9,4	36,17	0,26	0,44	81,88	1,19	1,4	38,95	37,83	56,26
Leipzig	1992	Siedlungen mit hoher Verdich- tung	25,17	29,54	0,85	3,32	110,92	1,26	1,33	35,81	41,79	44,01
Leipzig	1999	Siedlungen mit hoher Verdich- tung	29,54	35,41	0,84	2,93	140,18	1,28	1,37	31,87	27,19	45,14

Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999

## Gründerzeitliche Wohngebiete: Südliche Innenstadt Halle / Gohlis (1992/1999)

Stadtteil	Jahr	Landnutzungs- klassens	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Südl. Innen- stadt	1992	Wald	1,28	4,06	0,32	2,08	6,25	1,33	1,28	175,44	230,65	76,25
Südl. Innen- stadt	1999	Wald	1,31	3,05	0,43	2,52	4,2	1,38	1,23	177,15	214,51	86,97
Südl. Innen- stadt	1992	Gewässer	0,92	0,01	91,93	0,65	0,81	1,86	1,51	309,12	218,11	75,85
Südl. Innen- stadt	1999	Gewässer	2,81	0,03	93,69	0,56	1,94	1,88	1,18	295,41	517,3	90,5
Südl. Innen- stadt	1992	Flächen ohne Vegetation	0,98	6,02	0,16	0,42	15,71	1,34	1,26	54,91	54,65	89,65
Südl. Innen- stadt	1999	Flächen ohne Vegetation	6,28	12,26	0,51	1,48	35,66	1,3	1,25	46,08	51,82	84,97
Südl. Innen- stadt	1992	Grünflächen	5,27	15,12	0,35	0,29	30,45	1,39	1,25	37,7	52,08	74,68
Südl. Innen- stadt	1999	Grünflächen	1,3	21,07	0,06	0,33	42,33	1,36	1,18	42,88	108,07	72,12
Südl. Innen- stadt	1992	Siedlung gerin- ge Verdichtung	9,98	40,54	0,25	0,76	100,52	1,26	1,26	26,48	17,53	67,68
Südl. Innen- stadt	1999	Siedlung gerin- ge Verdichtung	7,84	34,31	0,23	1,12	96,52	1,25	1,24	28,57	23,62	67,67
Südl. Innen- stadt	1992	Siedlung middle- re Verdichtung	14,36	40,72	0,35	0,94	114,27	1,23	1,29	36,84	22,4	67,34
Südl. Innen- stadt	1999	Siedlung middle- re Verdichtung	17,62	43,69	0,4	0,31	117,82	1,27	1,27	32,87	13,53	65,6
Südl. Innen- stadt	1992	Siedlung hohe Verdichtung	30,62	15,88	1,93	2,62	72,9	1,28	1,25	30,8	35,55	43,16
Südl. Innen- stadt	1999	Siedlung hohe Verdichtung	26,25	20,85	1,26	2,13	89,02	1,27	1,27	30,42	38,51	42,94
Gohlis	1992	Wald	1,09	4,48	0,24	0,27	9,4	1,24	1,44	96,63	188,05	58,62
Gohlis	1999	Wald	0,75	3,6	0,21	0,27	6,89	1,19	1,46	98,27	166,21	47,91
Gohlis		Gewässer	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Gohlis	1999	Gewässer	0,04	0,1	0,38	0	0,39	1,63		97,67	146,95	52,62
Gohlis	1992	Grün- und Ak- kerland	1,81	0,58	3,09	5,43	6,45	1,58	1,41	25	0	54,24
Gohlis	1999	Grün- und Ak- kerland	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Gohlis	1992	Flächen ohne Vegetation	2,04	7,69	0,27	0,32	17,04	1,17	1,32	55,27	65,66	53,49
Gohlis	1999	Flächen ohne Vegetation	7,42	18,01	0,41	1,21	49,02	1,21	1,33	46,26	57,18	63,01
Gohlis	1992	Grünflächen	3,15	15,16	0,21	0,12	31,52	1,16	1,4	47,09	54,99	63,87
Gohlis	1999	Grünflächen	5,06	20,65	0,24	0,22	40,9	1,15	1,41	55,7	119,67	58,38
Gohlis	1992	Siedlung gerin- ge Verdichtung	14,38	42,16	0,34	0,63	112,69	1,23	1,39	32,04	18,8	59,34
Gohlis	1999	Siedlung gerin- ge Verdichtung	10,7	36,02	0,3	1,2	101,84	1,23	1,39	33,26	21,56	60,43
Gohlis	1992	Siedlung middle- re Verdichtung	17,22	40,6	0,42	0,97	115,47	1,23	1,35	33,36	22,68	58,6
Gohlis	1999	Siedlung middle- rer Verdichtung	13,75	45,47	0,3	0,44	116,27	1,22	1,4	31,43	17,8	62,91
Gohlis	1992	Siedlung hohe Verdichtung	16,38	17,23	0,95	3	76,23	1,3	1,36	33,94	33,29	49,91
Gohlis	1999	Siedlung hohe Verdichtung	18,34	26,58	0,69	2,64	92,88	1,25	1,38	33,09	39,07	49,23

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

## Plattenbausiedlungen: Halle Neustadt / Grünau (1992/1999)

Stadtteil	Jahr	Landnutzungs- klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	LJI
Neustadt	1992	Wald	0,67	2,06	0,33	0,38	6,83	1,44	1,18	83,72	256,71	74,98
Neustadt	1999	Wald	1,09	2,21	0,49	0,29	4,41	1,39	1,28	71,69	68,09	80,21
Neustadt	1992	Gewässer	1,06	0,73	1,45	45,08	5,77	1,6	1,22	48,7	47,04	61,12
Neustadt	1999	Gewässer	1,33	1,02	1,3	33,21	8,72	1,66	1,34	43,54	29,64	82,57
Neustadt	1992	Grün- und Ak- kerland	11,27	13,32	0,85	3,38	18,71	1,49	1,3	58,95	65,09	72,81
Neustadt	1999	Grün- und Ak- kerland	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Neustadt	1992	Flächen ohne Vegetation	2,92	20,18	0,14	1,76	53,59	1,34	1,35	40,95	52,53	81,04
Neustadt	1999	Flächen ohne Vegetation	11,06	16,63	0,67	2,11	43,27	1,41	1,28	41,36	54,22	79,96
Neustadt	1992	Grünflächen	11,19	14,71	0,76	1,36	44,22	1,38	1,29	52,96	56,48	64,02
Neustadt	1999	Grünflächen	6,85	5,22	1,31	1,34	15,76	1,43	1,28	41,67	72,67	83,38
Neustadt	1992	Siedlung gerin- ge Verdichtung	35,23	41,21	0,85	0,47	105,73	1,45	1,39	37,11	24,11	74,21
Neustadt	1999	Siedlung gerin- ge Verdichtung	23,95	31	0,77	0,7	65,88	1,46	1,33	41,01	46,53	65,58
Neustadt	1992	Siedlung middle- re Verdichtung	13,73	16,89	0,81	0,32	33,29	1,37	1,37	49,56	60,25	60,31
Neustadt	1999	Siedlung middle- re Verdichtung	30,2	36,18	0,83	0,73	93,27	1,46	1,38	45,14	24,55	70,88
Neustadt	1992	Siedlung hohe Verdichtung	3,43	2,4	1,43	0,45	5,74	1,28	1,38	112,19	289,64	61,21
Neustadt	1999	Siedlung hohe Verdichtung	5	8,5	0,59	0,26	15,65	1,27	1,37	78,93	165,52	61,98
Grünau	1992	Wald	0,82	2,95	0,28	0,36	7,21	1,24	1,41	81,54	200,23	46,7
Grünau	1999	Wald	0,52	2,77	0,19	0,16	5,45	1,17	1,41	53,78	72,34	50,18
Grünau	1992	Gewässer	8,91	0,71	12,55	31,67	6,54	1,32	1,22	46,7	37,59	46,7
Grünau	1999	Gewässer	9,65	2,23	4,32	19,42	11,36	1,37	1,33	33,31	17,77	37,09
Grünau	1992	Grün- und Ak- kerland	6,65	15,63	0,43	1,39	39,41	1,21	1,35	47,79	63,37	62,07
Grünau	1999	Grün- und Ak- kerland	5,88	15,18	0,39	1,08	37,8	1,21	1,35	39,49	41,78	57,43
Grünau	1992	Flächen ohne Vegetation	8,35	22,42	0,37	1	57,56	1,21	1,39	43,14	41,92	59,06
Grünau	1999	Flächen ohne Vegetation	7,88	17,06	0,46	1,17	48	1,24	1,36	48,26	48,91	59,65
Grünau	1992	Grünflächen	6,4	15,9	0,4	1,38	46,15	1,24	1,44	53,03	53,26	60,33
Grünau	1999	Grünflächen	3,1	4,47	0,66	1,36	14,6	1,27	1,38	40,29	117,65	62,05
Grünau	1992	Siedlung gerin- ge Verdichtung	13,73	48,05	0,29	0,5	118,06	1,21	1,42	30,14	20,42	46,05
Grünau	1999	Siedlung gerin- ge Verdichtung	8,84	31,61	0,28	0,97	75,2	1,2	1,45	37,37	44,72	50,84
Grünau	1992	Siedlung middle- re Verdichtung	3,57	15,54	0,23	0,29	34,18	1,2	1,43	46,22	43,02	57,15
Grünau	1999	Siedlung middle- re Verdichtung	12,26	38,31	0,32	0,57	101,25	1,23	1,43	31,95	15,57	47,7
Grünau	1992	Siedlung hohe Verdichtung	0,99	2,59	0,38	0,69	6,54	1,27	1,41	157,7	214,76	55,75
Grünau	1999	Siedlung hohe Verdichtung	1,95	8,57	0,23	0,35	17,48	1,18	1,44	66,14	63,39	48,6

Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999

## Mischgebiete: Plagwitz / Freimfelde (1992/1999)

Stadtteil	Jahr	Landnutzungs- klassens	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Freimfelde	1999	Gewässer	0,14	0,1	1,4	0,92	0,16	1,31	1,13	218,37	223,89	66,42
Freimfelde	1992	Grün- und Ak- kerland	25,23	0,52	48,52	0,1	1,01	1,54	1,24	601,88	293,77	74,6
Freimfelde	1999	Grün- und Ak- kerland	30,67	1,58	19,41	0,2	2,61	1,54	1,22	183,68	379,25	77,01
Freimfelde	1992	Flächen ohne Vegetation	6,66	6,2	1,07	0,56	15,86	1,44	1,31	79	54,33	66,76
Freimfelde	1999	Flächen ohne Vegetation	9,4	12,3	0,76	0,77	44,79	1,36	1,22	59,19	69,3	76,93
Freimfelde	1992	Grünflächen	4,5	13,18	0,34	0,83	49,29	1,37	1,19	45,8	69,06	83,47
Freimfelde	1999	Grünflächen	0,35	3,02	0,12	1,48	15,38	1,38	1,07	40,36	64,21	73,44
Freimfelde	1992	Siedlung gerin- ge Verdichtung	12,72	22,41	0,57	1,08	70,74	1,41	1,35	36,81	24,28	78,31
Freimfelde	1999	Siedlungen geringe Ver- dichtung	6,48	17,28	0,38	0,98	52,34	1,32	1,28	48,53	54,82	73,44
Freimfelde	1992	Siedlungen mittlere Ver- dichtung	14,31	30,46	0,47	0,47	68,66	1,42	1,39	37,7	26,15	75,2
Freimfelde	1999	Siedlungen mittlere Ver- dichtung	15,57	26,53	0,59	0,99	66,02	1,35	1,34	50	28,28	73,43
Freimfelde	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	19,01	30,34	0,63	2,43	100,52	1,41	1,31	28,29	18,17	60,56
Freimfelde	1999	Siedlungen hohe Verdichtung	19,05	34,34	0,55	1,84	119,84	1,4	1,3	23	23,17	63,94
Plagwitz	1992	Wald	4,72	8,67	0,54	1,3	30,06	1,28	1,4	65,13	92,2	54,03
Plagwitz	1999	Wald	5,06	5,91	0,86	2,35	24,34	1,3	1,4	94,75	222,77	51,75
Plagwitz	1992	Gewässer	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Plagwitz	1999	Gewässer	0,06	0,2	0,29	0	0,49	1,12	1,1	93,78	154,89	0
Plagwitz	1992	Grün- und Ak- kerland	0,12	0,79	0,16	0,09	1,18	1,06	1,14	543,45	334,67	31,02
Plagwitz	1999	Grün- und Ak- kerland	0,27	1,77	0,15	0,14	2,66	1,07	1,31	228,26	454,36	68,55
Plagwitz	1992	Flächen ohne Vegetation	2,48	6,11	0,41	0,59	15,72	1,15	1,25	78	66,52	68,68
Plagwitz	1999	Flächen ohne Vegetation	6,18	17,94	0,34	0,67	46,37	1,19	1,35	63,48	79,2	70,63
Plagwitz	1992	Grünflächen	7,77	15,57	0,5	0,85	50,76	1,25	1,35	47,18	70,07	66,58
Plagwitz	1999	Grünflächen	2,45	4,73	0,52	1,27	16,75	1,23	1,32	41,83	60,99	39,66
Plagwitz	1992	Siedlungen geringe Ver- dichtung	10,43	23,26	0,45	1,04	71,16	1,25	1,4	35,52	29,01	64,89
Plagwitz	1999	Siedlungen geringe Ver- dichtung	7,33	19,71	0,37	0,97	54,75	1,21	1,44	46,83	67,28	62,12
Plagwitz	1992	Siedlungen mittlere Ver- dichtung	7,72	31,14	0,25	0,42	69,24	1,2	1,42	36,69	22,47	64,79
Plagwitz	1999	Siedlungen mittlere Ver- dichtung	8,19	27,2	0,3	0,71	67,86	1,21	1,44	51	26,26	55,02
Plagwitz	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	19,32	30,55	0,63	2,62	100,63	1,26	1,37	30,12	19,67	32,41
Plagwitz	1999	Siedlungen hohe Verdichtung	22,36	35,88	0,62	1,83	120,78	1,26	1,35	23	27,83	33,4

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

## 13.6.4 Nutzungsgradient: Landschaftsbezogene Strukturmaße

## Nutzungsgradient Halle-Merseburg und Leipzig-Markranstädt (1999)

<i>Nutzungsgradient</i>	<i>Jahr</i>	<i>PD</i>	<i>MPS</i>	<i>PSSD</i>	<i>ED</i>	<i>MSI</i>	<i>DLFD</i>	<i>MNN</i>	<i>NNSD</i>	<i>CONTAG</i>	<i>IJI</i>
Halle-Merseburg											
Zone 1	1999	137,78	0,73	7,09	333,3	1,3	1,38	39	60,04	28,9	53,84
Zone 2	1999	133,09	0,75	6,36	320,93	1,29	1,3996	38,4	48,27	31,7	64,74
Zone 3	1999	93,16	1,07	7,22	288,19	1,44	1,4607	43,7	70,4	35,6	66,89
Zone 4	1999	84,38	1,19	7,01	288,19	1,49	1,46	48,3	90,3	35,7	73,03
Zone 5	1999	65,36	1,53	7,26	247,4	1,53	1,4629	55,2	69,86	34,3	80,99
Zone 6	1999	65,36	1,53	6,58	237,77	1,443	1,46	60,8	94,76	35,97	71,29
Zone 7	1999	58,28	1,72	6,91	214,05	1,46	1,42	42,4	48,66	37,81	67,41
Leipzig-Markranstädt											
Zone 1	1999	105	0,95	8,07	275,9	1,261	1,39	42	51,77	27,6	63,12
Zone 2	1999	123,04	0,81	8,11	263,2	1,26	1,3939	41,9	62,04	33,58	73,09
Zone 3	1999	114,81	0,87	9,78	245,8	1,304	1,41	48	75,37	44,46	68,2
Zone 4	1999	133,59	0,75	9,83	246,1	1,334	1,42	51,5	99,6	45,92	70
Zone 5	1999	136,22	0,73	9,03	242,6	1,387	1,4171	57,7	76,01	38,47	71,4
Zone 6	1999	101,74	0,98	8,58	236,31	1,378	1,4204	58,9	88	37,43	70,48
Zone 7	1999	105,14	0,95	9,54	208,38	1,313	1,39	50	92,64	45,19	64,77

**Landschaftsbezogene Strukturmaße der Nutzungsgradiente basierende auf der Klassifikation von 1999**

## Nutzungsgradient Halle-Merseburg und Leipzig-Markranstädt (1992/1999)

Nutzungsgradient	Jahr	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DFLD	MNN	NNSD	CONTAG	IJI
Halle-Merseburg											
Zone 1	1992	148,39	0,7	5,77	352	1,32	1,4033	38,7	69,7	27,5	60,86
Zone 1	1999	137,78	0,73	7,09	333,3	1,3	1,38	39	60,04	28,9	53,84
Zone 2	1992	138,12	0,72	5,6	336	1,31	1,4	40,2	79,09	30	61,75
Zone 2	1999	133,09	0,75	6,36	320,93	1,29	1,3996	38,4	48,27	31,7	64,74
Zone 3	1992	87,79	1,14	6	271,58	1,45	1,48	41,7	84,35	34,4	66,9
Zone 3	1999	93,16	1,07	7,22	288,19	1,44	1,4607	43,7	70,4	35,6	66,89
Zone 4	1992	64,38	1,55	5,59	279	1,507	1,4828	50,3	87,1	34,7	65,46
Zone 4	1999	84,38	1,19	7,01	288,19	1,49	1,46	48,3	90,3	35,7	73,03
Zone 5	1992	28,43	3,52	10,88	107,2	1,557	1,482	54,5	176,8	34,4	65,1
Zone 5	1999	65,36	1,53	7,26	247,4	1,53	1,4629	55,2	69,86	34,3	80,99
Zone 6	1992	43,8	2,28	14,88	224	1,448	1,4763	59	96,86	37,2	64,59
Zone 6	1999	65,36	1,53	6,58	237,77	1,443	1,46	60,8	94,76	35,97	71,29
Zone 7	1992	37,8	2,65	9,48	140,7	1,48	1,6	41,3	59,99	36,7	57,68
Zone 7	1999	58,28	1,72	6,91	214,05	1,46	1,42	42,4	48,66	37,81	67,41
Leipzig-Markranstädt											
Zone 1	1992	119,5	0,84	7,91	321	1,2815	1,4059	40	39,4	25,3	62,3
Zone 1	1999	105	0,95	8,07	275,9	1,2609	1,39	42	51,77	27,6	63,12
Zone 2	1992	134,81	0,74	8,04	285,76	1,2867	1,4032	40,7	42,65	32	62,5
Zone 2	1999	123,04	0,81	8,11	263,2	1,26	1,3939	41,9	62,04	33,58	73,09
Zone 3	1992	119,01	0,84	9,61	262	1,3117	1,432	39,7	59,17	36,6	61,5
Zone 3	1999	114,81	0,87	9,78	245,8	1,304	1,41	48	75,37	44,46	68,2
Zone 4	1992	133,94	0,75	9,69	257	1,338	1,44	48,3	72	42,9	64,9
Zone 4	1999	133,59	0,75	9,83	246,1	1,334	1,42	51,5	99,6	45,92	70
Zone 5	1992	132,49	0,75	8,8	235,87	1,397	1,443	48,7	92,9	36,9	67,63
Zone 5	1999	136,22	0,73	9,03	242,6	1,387	1,4171	57,7	76,01	38,47	71,4
Zone 6	1992	101,7	0,98	8,52	211	1,3992	1,4457	49,5	52,65	33,3	72,45
Zone 6	1999	101,74	0,98	8,58	236,31	1,378	1,4204	58,9	88	37,43	70,48
Zone 7	1992	102,19	0,98	9,29	218,02	1,3642	1,4	42,2	44,9	40,4	65,58
Zone 7	1999	105,14	0,95	9,54	208,38	1,313	1,39	50	92,64	45,19	64,77

**Landschaftsbezogene Strukturmaße der Nutzungsgradienten basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

## 13.6.5 Nutzungsgradient: Klassenbezogene Strukturmaße (1999)

## Nutzungsgradient Halle-Merseburg (1999)

Halle Merseburg	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DFLD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 1	1999	Wald	1,86	4,63	0,4	0,38	13,84	1,37	1,26	123,86	250,7	79,99
Zone 1	1999	Gewässer	1,27	0,73	1,74	2	6,28	1,54	1,68	116,67	58,93	87,66
Zone 1	1999	Acker	0,3	0,98	0,31	0,25	1,83	1,21	1,17	25	0	49,16
Zone 1	1999	Flächen ohne Vegetation	4,66	11,22	0,42	0,7	31,76	1,32	1,24	71,82	86,08	73,42
Zone 1	1999	Grünflächen	0,61	1,22	0,5	0,3	4,39	1,37	1,3	95,62	86,49	41,56
Zone 1	1999	Siedlungen geringe Verdichtung	6,84	16,34	0,42	0,52	50,97	1,41	1,3	47,16	35,16	41,49
Zone 1	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	13,06	38,53	0,34	0,41	104,31	1,38	1,25	31,95	18,97	61,1
Zone 1	1999	Siedlung hohe Verdichtung	30,2	63,4	0,48	0,63	204,24	1,3	1,26	27,53	13,32	35,9
Zone 1	1999	Straßen	41,2	0,73	56,5	79,37	248,99	1,83	7,51	25	0	52,48

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Halle burg	Merse-	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 2		1999	Wald	1,34	2,72	0,49	0,55	8,15	1,23	1,27	144,61	156,84	90,96
Zone 2		1999	Gewässer	1,76	0,74	2,38	1,26	8,64	1,71	1,96	25	0	76,84
Zone 2		1999	Flächen ohne Vegetation	6,6	16,05	0,41	0,41	49,75	1,36	1,29	51,02	56,19	75,39
Zone 2		1999	Grünflächen	0,56	1,98	0,28	0,16	4,81	1,48	1,34	138,39	175,19	65,34
Zone 2		1999	Siedlung geringe Verdichtung	9,23	20,99	0,44	0,9	58,58	1,3	1,22	43,29	47,76	67,48
Zone 2		1999	Siedlung mittlere Verdichtung	21,22	44,2	0,48	0,57	142,84	1,31	1,26	33,59	15,07	67,48
Zone 2		1999	Siedlung hohe Verdichtung	22,3	45,93	0,49	0,74	143,83	1,29	1,23	26,15	17,3	45,47
Zone 2		1999	Straßen	36,99	0,49	75,66	72,47	225,25	2,03	10,75	25	0	68,85

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Halle burg	Merse-	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 3		1999	Wald	1,57	0,98	1,61	0,93	9,27	1,46	1,95	124,3	12,5	34,23
Zone 3		1999	Flächen ohne Vegetation	8,44	10,49	0,81	0,94	47,86	1,35	1,39	88,81	82,95	67,04
Zone 3		1999	Grünflächen	1,22	0,73	1,67	1,12	5,24	1,23	1,51	494,87	664,5	89,33
Zone 3		1999	Siedlung geringe Verdichtung	30,93	29,26	1,06	2,04	169	1,46	1,49	29,96	13,82	66,31
Zone 3		1999	Siedlung mittlere Verdichtung	35,22	36,82	0,96	2,74	190,28	1,46	1,38	33,45	16,33	65,26
Zone 3		1999	Siedlung hohe Verdichtung	5,26	14,14	0,37	0,54	39,63	1,38	1,23	42,41	53,86	64,49
Zone 3		1999	Straßen	17,36	0,73	23,81	32,81	115,1	1,88	5,8	65,24	42,26	68,35

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Halle burg	Merse-	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 4		1999	Wald	2,53	1,22	2,07	1,38	12,56	1,35	1,88	142,17	110,28	74,63
Zone 4		1999	Gewässer	0,52	0,98	0,53	0,16	4,15	2,76	1,53	190,05	110,99	79,56
Zone 4		1999	Acker	8,4	9,75	0,86	1,12	48,71	1,37	1,39	50,26	37,78	73,89
Zone 4		1999	Flächen ohne Vegetation	12,3	15,36	0,8	1,49	70,11	1,37	1,4	58,47	64,12	81,26
Zone 4		1999	Grünflächen	5,75	2,44	2,36	2,75	21,03	1,32	1,62	87,81	41,41	66,11
Zone 4		1999	Siedlung geringe Verdichtung	15,76	23,9	0,66	0,9	107,97	1,47	1,43	36,5	22,46	68,43
Zone 4		1999	Siedlungen mittlere Verdichtung	33,3	21,46	1,55	3,47	165,58	1,47	1,57	28,09	10,94	72,4
Zone 4		1999	Siedlung hohe Verdichtung	3,44	8,54	0,4	0,31	26,7	1,34	1,29	55,42	72,8	55,04
Zone 4		1999	Straßen	18	0,73	24,6	34,18	119,55	1,87	5,97	75	0	70,67

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Halle burg	Merse-	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 5		1999	Wald	8,35	10,49	0,8	0,96	52,8	1,45	1,48	42,6	30,05	87,5
Zone 5		1999	Gewässer	4,72	3,41	1,38	1,5	21,34	1,36	1,39	109,3	163,85	88,76
Zone 5		1999	Acker	7,24	9,75	0,74	0,94	44,26	1,41	1,49	68,62	60,8	46,87
Zone 5		1999	Flächen ohne Vegetation	26,96	21,22	1,27	3,44	139,49	1,45	1,48	35,05	25,43	80,3
Zone 5		1999	Grünflächen	10,1	9,27	1,09	5,42	107,54	1,39	1,74	81,02	37,76	63,71
Zone 5		1999	Siedlung geringe Verdichtung	21,86	2,44	8,95	0,29	11,52	1,54	1,46	121,54	74,85	69,04
Zone 5		1999	Siedlung mittlere Verdichtung	8,49	8,54	0,99	1,67	37,31	1,28	1,33	50,58	108,18	79,23
Zone 5		1999	Straßen	12,28	0,24	51,38	0	80,54	-	12,15	-	-	82,29

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Halle burg	Merse-	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 6		1999	Wald	1,68	2,19	0,76	0,53	12,38	1,69	1,68	145,32	149,05	71,52
Zone 6		1999	Gewässer	2,07	1,22	1,7	0,87	11,4	1,51	1,93	384,13	324,72	82,75
Zone 6		1999	Acker	6,51	12,19	0,53	0,69	45,85	1,46	1,38	67,02	40,71	47,35
Zone 6		1999	Flächen ohne Vegetation	17,73	13,17	1,35	2,3	82,91	1,37	1,46	49,05	65,37	83,01
Zone 6		1999	Grünflächen	7,24	4,15	1,75	2,77	27,92	1,37	1,48	126,64	103,94	65,51
Zone 6		1999	Siedlung geringe Verdichtung	19,94	10	1,99	6,87	81,88	1,48	1,6	33,46	21,23	68,27
Zone 6		1999	Siedlung mittlere Verdichtung	32,17	19,27	1,67	9,34	141,56	1,45	1,45	28,91	10,66	66,01
Zone 6		1999	Siedlung hohe Verdichtung	0,53	1,71	0,31	0,17	4,76	1,38	1,26	33,29	142,31	64,1
Zone 6		1999	Straßen	12,13	1,46	8,29	18,12	66,88	1,73	2,59	145,11	178,79	74,52

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Halle burg	Merse-	Jahr	Klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 7		1999	Wald	3,41	1,46	2,33	1,98	12,44	1,23	1,53	52,81	38,49	70,36
Zone 7		1999	Gewässer	5,5	2,44	2,26	4,79	13,23	1,2	1,44	50	67,08	71,23
Zone 7		1999	Acker	14,2	10,49	1,4	3,87	49,02	1,28	1,42	44,4	28,11	44,65
Zone 7		1999	Flächen ohne Vegetation	7,21	12,44	0,58	1,25	40,54	1,32	1,28	44,29	30,7	74,33
Zone 7		1999	Grünflächen	0,15	1,22	0,12	0,08	1,59	1,3	1,08	148,96	202,63	58,49
Zone 7		1999	Siedlung geringe Verdichtung	15,12	11,71	1,29	2,29	77,85	1,47	1,51	39,53	40,34	67,39
Zone 7		1999	Siedlung mittlere Verdichtung	39,86	17,31	2,3	10,04	141,5	1,44	1,43	25,15	1,22	65,48
Zone 7		1999	Straßen	14,1	1,22	11,56	21,97	91,94	1,82	3,76	145,89	50,9	74,5

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**
**Nutzungsgradient Leipzig Markranstädt (1999)**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungsklassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 1	Wald	4,31	8,5	0,51	1,37	23	1,2	1,3	54,97	80,85	43,7
Zone 1	Gewässer	0,08	0,5	0,16	0,03	0,88	1,11	1,42	25	0	52,86
Zone 1	Flächen ohne Vegetation	6,77	19	0,36	0,6	50,12	1,19	1,34	37,77	28,32	53,56
Zone 1	Grünflächen	2,83	4	0,71	1,42	12,12	1,14	1,19	126,64	169,84	39,78
Zone 1	Siedlungen geringe Verdichtung	4,25	16,25	0,26	0,46	39,69	1,23	1,48	36,56	32,38	48,1
Zone 1	Siedlungen mittlere Verdichtung	6,38	23,25	0,27	0,32	55,75	1,22	1,41	50,57	38,83	53,99
Zone 1	Siedlung hohe Verdichtung	34,33	32	1,07	2,72	146,88	1,32	1,34	27,32	9,66	47,46
Zone 1	Straßen	41,05	1,5	27,36	60,46	205,56	3,72	1,81	44,38	17,96	76,73

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungsklassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 2	Wald	17,28	21,01	0,82	1,85	69,37	1,27	1,23	33,05	28,12	39,7
Zone 2	Gewässer	6,14	4,05	1,53	3,59	19,87	1,23	1,27	25	0	47,29
Zone 2	Flächen ohne Vegetation	7,03	16,96	0,41	0,65	49,62	1,24	1,34	38,57	35,42	71,5
Zone 2	Grünflächen	1,2	3,29	0,37	0,34	9,81	1,29	1,37	131,88	208,62	73,46
Zone 2	Siedlung geringe Verdichtung	6,09	26,84	0,23	0,25	70	1,22	1,45	46,48	46,43	68,6
Zone 2	Siedlungen mittlere Verdichtung	8,53	28,61	0,3	0,49	80	1,19	1,36	39,7	37,09	63,83
Zone 2	Siedlung hohe Verdichtung	8,35	20,76	0,4	0,72	96	1,25	1,38	45,76	87,23	39,63
Zone 2	Straßen	45,38	1,52	29,83	66,05	220,13	3,85	1,76	71,82	48,4	91,36

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungsklassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 3	Wald	14,83	15,06	0,98	5,29	46,91	1,18	1,29	27,61	6,86	43,79
Zone 3	Gewässer	1,37	8,4	0,16	0,14	15,06	1,17	1,48	44,49	79,56	36,56
Zone 3	Flächen ohne Vegetation	2,33	9,88	0,24	0,36	19,07	1,14	1,34	82,7	90,68	66,09
Zone 3	Grünflächen	0,8	4,44	0,18	0,17	7,47	1,11	1,23	127,11	238,82	43,44
Zone 3	Siedlungen geringe Verdichtung	3,01	14,32	0,21	0,3	27,1	1,15	1,33	65,68	84,25	65,22
Zone 3	Siedlungen mittlere Verdichtung	3,98	22,22	0,18	0,25	39,2	1,12	1,35	55,29	62,29	53,14
Zone 3	Siedlung hohe Verdichtung	21,7	39,01	0,56	1,77	123,77	1,26	1,38	26,92	8,14	28,77
Zone 3	Straßen	51,98	1,48	35,14	76,47	213,02	4	1,74	79,97	41,59	77,24

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungsklassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 4	Wald	0,65	2,41	0,27	0,21	5,96	1,25	1,45	154,67	284,08	56,34
Zone 4	Gewässer	0,69	2,41	0,29	0,24	6,38	1,33	1,41	170,31	254,08	59,53
Zone 4	Grün- und Ackerflächen	0,39	5,93	0,06	0,24	3,61	1,1	1,29	64,88	50,87	34,9
Zone 4	Flächen ohne Vegetation	6,44	25,29	0,25	0,35	55,59	1,2	1,36	48,65	47,59	52,71
Zone 4	Grünflächen	0,23	1,2	0,19	0,16	1,75	1,06	1,09	482,05	555,09	44,49
Zone 4	Siedlungen geringe Verdichtung	5,25	20,72	0,25	0,4	46,43	1,2	1,41	60,97	78,57	68,12
Zone 4	Siedlungen mittlere Verdichtung	11,1	39,02	0,28	0,52	95,39	1,22	1,43	36,09	29,87	58,39
Zone 4	Siedlungen hohe Verdichtung	20,1	35,89	0,56	1,13	121,35	1,28	1,37	108	116	40,88
Zone 4	Straßen	55,15	0,72	76,58	107,3	229,75	6,22	1,82	43,02	25,48	70,71

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungsklassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 5	Wald	0,92	4,58	0,2	0,18	9,88	1,23	1,55	38,33	24,56	43,88
Zone 5	Gewässer	1,77	3,13	0,57	0,86	11,2	1,32	1,39	82,82	185,58	46,68
Zone 5	Grün- und Ackerflächen	7,9	24,21	0,33	1,46	48,78	1,25	1,3	33,89	24,48	58,12
Zone 5	Flächen ohne Vegetation	13,57	18,07	0,75	2,2	60,22	1,23	1,3	38,64	25,96	60,1
Zone 5	Grünflächen	5,83	9,39	0,62	1,53	32,34	1,26	1,36	61,34	101,92	59,26
Zone 5	Siedlung geringe Verdichtung	5,74	30,35	0,19	0,31	56,67	1,16	1,42	44,46	35,25	66,14
Zone 5	Siedlung mittlere Verdichtung	12,37	33,97	0,36	0,57	88,53	1,24	1,44	53	24,34	56,74
Zone 5	Siedlung hohe Verdichtung	2,09	11,56	0,18	0,14	21,5	1,15	1,37	45	186,69	48,78
Zone 5	Straßen	49,83	0,96	51,84	88,82	213,73	4,97	1,74	27,59	4,48	89,31

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungsklassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 6	Grün- und Ackerflächen	12,01	14,44	0,83	4,17	57,98	1,26	1,19	40,91	48,05	56,35
Zone 6	Flächen ohne Vegetation	11,58	17,31	0,67	3,44	53,96	1,24	1,39	49,43	46	65,31
Zone 6	Grünflächen	0,51	1,95	0,26	0,19	5	1,28	1,55	43,75	10,83	69,85
Zone 6	Siedlung geringe Verdichtung	18,51	29,75	0,62	1,48	91,45	1,25	1,47	35,71	22,97	69,81
Zone 6	Siedlung mittlere Verdichtung	14,81	32,68	0,45	0,44	79,2	1,21	1,46	44,2	16,55	54,17
Zone 6	Siedlung hohe Verdichtung	0,91	5,12	0,18	0,19	9,82	1,15	1,53	131,94	131,06	58,21
Zone 6	Straßen	41,67	0,49	85,01	82,69	175,22	8,24	1,89	25	0	83,99

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999**

Leipzig Mark- ranstädt	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	MSI	DLFD	MNN	NNSD	IJI
Zone 7	Wald	3,6	3,9	0,92	1,53	14,81	1,26	1,28	36,38	22,63	28,88
Zone 7	Gewässer	29,04	3,17	9,16	30,97	21,95	1,24	1,21	32,03	13,26	32,62
Zone 7	Grün- und Ackerflächen	0,6	25,22	0,02	0,26	44,57	1,19	1,39	40,74	38,19	56,88
Zone 7	Flächen ohne Vegetation	7,38	12,68	0,58	0,95	41,94	1,27	1,28	72,07	113,4	49,54
Zone 7	Grünflächen	0,34	1,46	0,23	0,13	3,05	1,23	1,38	320,87	330,66	49,4
Zone 7	Siedlung geringe Verdichtung	8,56	23,1	0,37	0,29	48	1,12	1,31	47,84	119,52	68,45
Zone 7	Siedlung mittlere Verdichtung	9,18	30,73	0,3	0,44	74,5	1,19	1,37	27,77	8,5	39,6
Zone 7	Siedlung hohe Verdichtung	0,61	3,9	0,16	0,13	7,19	1,16	1,52	102,76	90,93	33,29
Zone 7	Straßen	41,12	0,98	41,95	63,45	172,66	5,77	1,9	202,18	14,7	85,71

Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf der Klassifikation von 1999

### 13.6.6 Nutzungsgradient: Klassenbezogene Strukturmaße (1992/1999)

Nutzungsgradient Halle-Merseburg (1992/1999)

Halle Merse- burg	Jahr	Landnutzungs- klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 1	1992	Wald	2,23	3,66	0,61	0,67	12,92	1,29	1,26	109,68	247,43	75,61
Zone 1	1999	Wald	1,86	4,63	0,4	0,38	13,84	1,37	1,26	123,86	250,7	79,99
Zone 1	1992	Gewässer	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Zone 1	1999	Gewässer	1,27	0,73	1,74	2	6,28	1,54	1,68	116,67	58,93	87,66
Zone 1	1992	Grün und Acker- land	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Zone 1	1999	Grün- und Acker- land	0,3	0,98	0,31	0,25	1,83	1,21	1,17	25	0	49,16
Zone 1	1992	Flächen ohne Vegetation	0,34	0,49	0,69	0,25	2,93	1,82	1,79	1353,7	0	73,73
Zone 1	1999	Flächen ohne Vegetation	4,66	11,22	0,42	0,7	31,76	1,32	1,24	71,82	86,08	73,42
Zone 1	1992	Grünflächen	2,82	6,34	0,44	0,32	22,86	1,58	1,42	78,35	114	84,69
Zone 1	1999	Grünflächen	0,61	1,22	0,5	0,3	4,39	1,37	1,3	95,62	86,49	41,56
Zone 1	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	8,02	27,07	0,3	0,4	67,92	1,4	1,23	35,66	24,9	73,69
Zone 1	1999	Siedlungen geringe Verdichtung	6,84	16,34	0,42	0,52	50,97	1,41	1,3	47,16	35,16	41,49
Zone 1	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	17,31	44,87	0,39	0,59	130,35	1,4	1,26	29,77	13,67	70,04
Zone 1	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	13,06	38,53	0,34	0,41	104,31	1,38	1,25	31,95	18,97	61,1
Zone 1	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	28,04	65,23	0,42	0,49	194,91	1,32	1,25	27,63	14,25	41,09
Zone 1	1999	Siedlung hohe Verdichtung	30,2	63,4	0,48	0,63	204,24	1,3	1,26	27,53	13,32	35,9

Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999

Halle Merse-Burg	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 2	1992	Wald	1,98	2,96	0,67	0,95	9,63	1,26	1,29	73,22	96,84	74,74
Zone 2	1999	Wald	1,34	2,72	0,49	0,55	8,15	1,23	1,27	144,61	156,84	90,96
Zone 2	1992	Gewässer	0,23	0,74	0,31	0,09	1,85	0,95	1,37	46,71	30,71	88,68
Zone 2	1999	Gewässer	1,76	0,74	2,38	1,26	8,64	1,71	1,96	25	0	76,84
Zone 2	1992	Flächen ohne Vegetation	1,45	1,48	0,98	1	6,98	1,33	1,3	665,02	256,24	78,42
Zone 2	1999	Flächen ohne Vegetation	6,6	16,05	0,41	0,41	49,75	1,36	1,29	51,02	56,19	75,39
Zone 2	1992	Grünflächen	3,32	7,65	0,43	0,44	22,96	1,33	1,28	68,9	92,63	73,77
Zone 2	1999	Grünflächen	0,56	1,98	0,28	0,16	4,81	1,48	1,34	138,39	175,19	65,34
Zone 2	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	12,99	35,31	0,37	0,39	99,44	1,35	1,24	33,85	39,16	68,37
Zone 2	1999	Siedlung geringe Verdichtung	9,23	20,99	0,44	0,9	58,58	1,3	1,22	43,29	47,76	67,48
Zone 2	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	16,33	40,49	0,4	0,78	115,74	1,36	1,23	31,34	19,85	68,61
Zone 2	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	21,22	44,2	0,48	0,57	142,84	1,31	1,26	33,59	15,07	67,48
Zone 2	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	26,71	49	0,54	0,69	167,78	1,3	1,25	27	10,23	45,67
Zone 2	1999	Siedlung hohe Verdichtung	22,3	45,93	0,49	0,74	143,83	1,29	1,23	26,15	17,3	45,47

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

Halle Merse-Burg	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 3	1992	Wald	2,15	0,73	2,94	1,5	9,69	1,97	2,16	93,33	11,79	30,3
Zone 3	1999	Wald	1,57	0,98	1,61	0,93	9,27	1,46	1,95	124,3	12,5	34,23
Zone 3	1992	Flächen ohne Vegetation	1,22	1,46	0,84	0,67	6,46	1,25	1,35	503,88	335,66	72,25
Zone 3	1999	Flächen ohne Vegetation	8,44	10,49	0,81	0,94	47,86	1,35	1,39	88,81	82,95	67,04
Zone 3	1992	Grünflächen	5,58	10,97	0,51	0,46	40,85	1,44	1,36	74,73	86,11	69,08
Zone 3	1999	Grünflächen	1,22	0,73	1,67	1,12	5,24	1,23	1,51	494,87	664,5	89,33
Zone 3	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	40,28	25,61	1,57	4,18	174,55	1,43	1,45	30,07	23,79	71,14
Zone 3	1999	Siedlung geringe Verdichtung	30,93	29,26	1,06	2,04	169	1,46	1,49	29,96	13,82	66,31
Zone 3	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	25,42	32,68	0,78	1,09	157,23	1,43	1,43	30,08	13,99	73,66
Zone 3	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	35,22	36,82	0,96	2,74	190,28	1,46	1,38	33,45	16,33	65,26
Zone 3	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	7,99	15,61	0,51	0,7	57,61	1,42	1,36	43,15	40,06	67,66
Zone 3	1999	Siedlung hohe Verdichtung	5,26	14,14	0,37	0,54	39,63	1,38	1,23	42,41	53,86	64,49

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

Halle Merse-Burg	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 4	1992	Wald	0,55	0,98	0,56	0,23	3,78	1,66	1,43	434,64	239,46	55,91
Zone 4	1999	Wald	2,53	1,22	2,07	1,38	12,56	1,35	1,88	142,17	110,28	74,63
Zone 4	1992	Gewässer	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Zone 4	1999	Gewässer	0,52	0,98	0,53	0,16	4,15	2,76	1,53	190,05	110,99	79,56
Zone 4	1992	Acker	13,23	1,71	7,74	9,03	21,89	1,19	1,5	53,37	37,91	80,47
Zone 4	1999	Acker	8,4	9,75	0,86	1,12	48,71	1,37	1,39	50,26	37,78	73,89
Zone 4	1992	Flächen ohne Vegetation	2,32	2,44	0,95	0,99	13,53	1,52	1,43	105,3	130,53	62,47
Zone 4	1999	Flächen ohne Vegetation	12,3	15,36	0,8	1,49	70,11	1,37	1,4	58,47	64,12	81,26
Zone 4	1992	Grünflächen	6,23	11,46	0,54	0,57	43,59	1,4	1,36	74,08	82,22	78,96
Zone 4	1999	Grünflächen	5,75	2,44	2,36	2,75	21,03	1,32	1,62	87,81	41,41	66,11
Zone 4	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	43,55	18,05	2,41	5,2	178,33	1,43	1,63	26,71	9,43	59,76
Zone 4	1999	Siedlung geringe Verdichtung	15,76	23,9	0,66	0,9	107,97	1,47	1,43	36,5	22,46	68,43
Zone 4	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	13,75	24,87	0,55	0,73	104,92	1,53	1,46	35,84	21,63	51,64
Zone 4	1999	Siedlungen mittlere Verdichtung	33,3	21,46	1,55	3,47	165,58	1,47	1,57	28,09	10,94	72,4
Zone 4	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	2,38	4,15	0,57	0,74	15,91	1,4	1,32	59,73	38,8	57,52
Zone4	1999	Siedlung hohe Verdichtung	3,44	8,54	0,4	0,31	26,7	1,34	1,29	55,42	72,8	55,04

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

Halle Merse-Burg	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 5	1992	Wald	0,43	0,24	1,79	0	1,16	-	1,13	-	-	52,27
Zone 5	1999	Wald	8,35	10,49	0,8	0,96	52,8	1,45	1,48	42,6	30,05	87,5
Zone 5	1992	Gewässer	2,33	0,98	2,39	2,71	10,24	1,41	1,94	310,1	493,8	43,89
Zone 5	1999	Gewässer	4,72	3,41	1,38	1,5	21,34	1,36	1,39	109,3	163,85	88,76
Zone 5	1992	Acker	65,02	13,8	4,71	14,98	121,32	1,28	1,53	25,27	1,66	66,47
Zone 5	1999	Acker	7,24	9,75	0,67	0,94	44,26	1,41	1,49	68,62	60,8	46,87
Zone 5	1992	Flächen ohne Vegetation	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Zone 5	1999	Flächen ohne Vegetation	26,96	21,22	1,27	3,44	139,49	1,45	1,48	35,05	25,43	80,3
Zone 5	1992	Grünflächen	10,73	5,12	2,1	2,58	37,56	1,25	1,45	77,45	113,05	37,28
Zone 5	1999	Grünflächen	10,1	9,27	1,09	5,42	107,54	1,39	1,74	81,02	37,76	63,71
Zone 5	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	6,97	6,1	1,14	1,15	38,96	1,41	1,6	66,18	126,77	59,79
Zone 5	1999	Siedlung geringe Verdichtung	21,86	2,44	8,95	0,29	11,52	1,54	1,46	121,54	74,85	69,04
Zone 5	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	2,29	1,46	1,57	1,03	10,49	1,48	1,5	345,44	316,46	57,35
Zone 5	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	8,49	8,54	0,99	1,67	37,31	1,28	1,33	50,58	108,18	79,23
Zone 5	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	0,05	0,49	0,09	0,03	0,43	1,17	1,03	55,9	0	21,08
Zone 5	1999	Siedlung hohe Verdichtung	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

Halle Merse-Burg	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 6	1999	Wald	1,68	2,19	0,76	0,53	12,38	1,69	1,68	145,32	149,05	71,52
Zone 6	1992	Gewässer	2,18	1,22	1,79	1,67	10,97	1,47	1,72	34,14	18,28	65,21
Zone 6	1999	Gewässer	2,07	1,22	1,7	0,87	11,4	1,51	1,93	384,13	324,72	82,75
Zone 6	1992	Acker	20,42	13,8	1,48	4,07	62,31	1,27	1,41	34,4	24,36	57,25
Zone 6	1999	Acker	6,51	12,19	0,53	0,69	45,85	1,46	1,38	67,02	40,71	47,35
Zone 6	1992	Flächen ohne Vegetation	0,11	0,24	0,45	0	0,85	-	1,32	-	-	51,61
Zone 6	1999	Flächen ohne Vegetation	17,73	13,17	1,35	2,3	82,91	1,37	1,46	49,05	65,37	83,01
Zone 6	1992	Grünflächen	22,65	4,15	5,46	0,79	18,23	1,53	1,54	178,99	200,88	80,85
Zone 6	1999	Grünflächen	7,24	4,15	1,75	2,77	27,92	1,37	1,48	126,64	103,94	65,51
Zone 6	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	37,87	13,17	2,88	24,5	96,2	1,33	1,39	29,99	12,39	66,92
Zone 6	1999	Siedlung geringe Verdichtung	19,94	10	1,99	6,87	81,88	1,48	1,6	33,46	21,23	68,27
Zone 6	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	4,53	8,78	0,52	0,48	33,9	1,45	1,39	75,53	77,99	47,54
Zone 6	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	32,17	19,27	1,67	9,34	141,56	1,45	1,45	28,91	10,66	66,01
Zone 6	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	0,11	0,98	0,11	0,05	1,34	1,25	1,05	37,5	12,5	51,17
Zone 6	1999	Siedlung hohe Verdichtung	0,53	1,71	0,31	0,17	4,76	1,38	1,26	33,29	142,31	64,1

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

Halle Merse-Burg	Jahr	Landnutzungs-klassen	%LAND	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 7	1999	Wald	3,41	1,46	2,33	1,98	12,44	1,23	1,53	52,81	38,49	70,36
Zone 7	1992	Gewässer	0,55	0,24	2,25	0	2,07	-	1,58	-	-	64,85
Zone 7	1999	Gewässer	5,5	2,44	2,26	4,79	13,23	1,2	1,44	50	67,08	71,23
Zone 7	1992	Acker	21,31	7,8	2,73	6,3	55,36	1,26	1,43	57,87	51,25	57,81
Zone 7	1999	Acker	14,2	10,49	1,4	3,87	49,02	1,28	1,42	44,4	28,11	44,65
Zone 7	1992	Flächen ohne Vegetation	0,17	0,49	0,34	0,03	1,34	-	1,5	35,36	0	0
Zone 7	1999	Flächen ohne Vegetation	7,21	12,44	0,58	1,25	40,54	1,32	1,28	44,29	30,7	74,33
Zone 7	1992	Grünflächen	3,99	0,98	4,09	6,59	5,55	1,14	1,32	101,35	196,02	70,45
Zone 7	1999	Grünflächen	0,15	1,22	0,12	0,08	1,59	1,3	1,08	148,96	202,63	58,49
Zone 7	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	46,29	17,31	2,67	11,52	134,67	1,4	1,49	34,44	44,13	63,72
Zone 7	1999	Siedlung geringe Verdichtung	15,12	11,71	1,29	2,29	77,85	1,47	1,51	39,53	40,34	67,39
Zone 7	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	13,05	9,75	1,39	2,02	62,06	1,36	1,49	41,34	38,86	68,98
Zone 7	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	39,86	17,31	2,3	10,04	141,5	1,44	1,43	25,15	1,22	65,48

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

## Nutzungsgradient Leipzig Markranstädt (1992/1999)

Leipzig Markranstädt	Jahr	Landnutzungs-klassen	%Land	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 1	1992	Wald	3,92	6,5	0,6	1,44	21,62	1,36	1,32	66,45	154,29	43,46
Zone 1	1999	Wald	4,31	8,5	0,51	1,37	23	1,3	1,2	54,97	80,85	43,7
Zone 1	1992	Gewässer	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Zone 1	1999	Gewässer	0,08	0,5	0,16	0,03	0,88	1,42	1,11	25	0	52,86
Zone 1	1992	Flächen ohne Vegetation	0,27	1,5	0,18	0,1	2,38	1,28	1,11	254,2	33,75	60,68
Zone 1	1999	Flächen ohne Vegetation	6,77	19	0,36	0,6	50,12	1,34	1,19	37,77	28,32	53,56
Zone 1	1992	Grünflächen	4,45	8,5	0,52	1,1	24	1,25	1,19	45,38	20,42	52,47
Zone 1	1999	Grünflächen	2,83	4	0,71	1,42	12,12	1,19	1,14	126,64	169,84	39,78
Zone 1	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	7,86	30,75	0,26	1,36	68,25	1,36	1,17	35,78	22,34	77,13
Zone 1	1999	Siedlung geringe Verdichtung	4,25	16,25	0,26	0,46	39,69	1,48	1,23	36,56	32,38	48,1
Zone 1	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	11,52	33,5	0,34	0,53	91,5	1,4	1,23	37,22	11,39	66,56
Zone 1	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	6,38	23,25	0,27	0,32	55,75	1,41	1,22	50,57	38,83	53,99
Zone 1	1992	Siedlung hohe Verdichtung	30,97	37,25	0,83	3,07	131,31	1,35	1,31	28,27	17,96	48,57
Zone 1	1999	Siedlung hohe Verdichtung	34,33	32	1,07	2,72	146,88	1,34	1,32	27,32	9,66	47,46

## Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999

Leipzig Markranstädt	Jahr	Landnutzungs-klassen	%Land	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 2	1992	Wald	17,01	15,7	1,08	2,1	62,97	1,26	1,32	35,45	26,06	38,74
Zone 2	1999	Wald	17,28	21,01	0,82	1,85	69,37	1,23	1,27	33,05	28,12	39,7
Zone 2	1992	Gewässer	5,08	2,53	2,01	3,53	17,47	1,31	1,34	38,03	31,43	51,18
Zone 2	1999	Gewässer	6,14	4,05	1,53	3,59	19,87	1,27	1,23	25	0	47,29
Zone 2	1992	Flächen ohne Vegetation	3,64	9,87	0,37	0,53	28,23	1,36	1,25	43,92	58,65	68,93
Zone 2	1999	Flächen ohne Vegetation	7,03	16,96	0,41	0,65	49,62	1,34	1,24	38,57	35,42	71,5
Zone 2	1992	Grünflächen	5,17	18,23	0,28	0,46	42,53	1,37	1,19	46,65	18,77	71,92
Zone 2	1999	Grünflächen	1,2	3,29	0,37	0,34	9,81	1,37	1,29	131,88	208,62	73,46
Zone 2	1992	Siedlung geringe Verdichtung	7,58	26,33	0,29	0,43	65,7	1,42	1,23	34,18	28,05	73,65
Zone 2	1999	Siedlung geringe Verdichtung	6,09	26,84	0,23	0,25	70	1,45	1,22	46,48	46,43	68,6
Zone 2	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	8,75	31,9	0,27	0,35	80,82	1,46	1,25	37,16	60,21	72,58
Zone 2	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	8,53	28,61	0,3	0,49	80	1,36	1,19	39,7	37,09	63,83
Zone 2	1992	Siedlung hohe Verdichtung	7,39	28,73	0,26	0,53	53,67	1,36	1,26	50,82	48,4	47,22
Zone 2	1999	Siedlung hohe Verdichtung	8,35	20,76	0,4	0,72	96	1,38	1,25	45,76	87,23	39,63

## Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999

Leipzig Markran- städt	Jahr	Landnutzungs- klassen	%Land	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 3	1992	Wald	16,14	18,02	0,9	4,95	54,75	1,29	1,18	33,4	62,29	32,82
Zone 3	1999	Wald	14,83	15,06	0,98	5,29	46,91	1,29	1,18	27,61	6,86	43,79
Zone 3	1992	Gewässer	0,31	3,46	0,09	0,03	4,38	1,63	1,08	56,33	202,15	35,08
Zone 3	1999	Gewässer	1,37	8,4	0,16	0,14	15,06	1,48	1,17	44,49	79,56	36,56
Zone 3	1992	Flächen ohne Vegetation	0,46	3,95	0,12	0,09	5,56	1,41	1,08	109,83	124,19	53
Zone 3	1999	Flächen ohne Vegetation	2,33	9,88	0,24	0,36	19,07	1,34	1,14	82,7	90,68	66,09
Zone 3	1992	Grünflächen	1,6	5,93	0,27	0,32	12,35	1,19	1,13	95,44	49	53,59
Zone 3	1999	Grünflächen	0,8	4,44	0,18	0,17	7,47	1,23	1,11	127,11	238,82	43,44
Zone 3	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	3,32	15,8	0,21	0,23	32,28	1,41	1,17	49,23	27,74	68,18
Zone 3	1999	Siedlung geringe Verdichtung	3,01	14,32	0,21	0,3	27,1	1,33	1,15	65,68	84,25	65,22
Zone 3	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	9,38	37,28	0,25	0,47	81,54	1,4	1,19	39,14	29,27	52,36
Zone 3	1999	Siedlungen mittlere Verdichtung	3,98	22,22	0,18	0,25	39,2	1,35	1,12	55,29	62,29	53,14
Zone 3	1992	Siedlung hohe Verdichtung	16,81	33,09	0,51	1,92	96,23	1,38	1,24	33,69	41,59	31,75
Zone 3	1999	Siedlung hohe Verdichtung	21,7	39,01	0,56	1,77	123,7	1,38	1,26	26,92	8,14	28,77

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen <sup>7</sup> von 1992 und 1999**

Leipzig Markran- städt	Jahr	Landnutzungs- klassen	%Land	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 4	1992	Wald	0,33	1,45	0,23	0,16	3,25	1,35	1,26	343,36	-	56,23
Zone 4	1999	Wald	0,65	2,41	0,27	0,21	5,96	1,45	1,25	154,67	284,08	56,34
Zone 4	1992	Gewässer	0,03	0,24	0,12	0	0,24	-	1,06	-	176,76	27,04
Zone 4	1999	Gewässer	0,69	2,41	0,29	0,24	6,38	1,41	1,33	170,31	254,08	59,53
Zone 4	1992	Grün- und Acker- flächen	0,69	4,1	0,17	0,12	7,83	1,46	1,18	98,18	56,57	57,92
Zone 4	1999	Grün- und Acker- flächen	0,39	5,93	0,06	0,24	3,61	1,29	1,1	64,88	50,87	34,9
Zone 4	1992	Flächen ohne Vegetation	2,6	10,12	0,26	0,28	21,02	1,47	1,18	57,34	133,64	59,11
Zone 4	1999	Flächen ohne Vegetation	6,44	25,29	0,25	0,35	55,59	1,36	1,2	48,65	47,59	52,71
Zone 4	1992	Grünflächen	3,6	6,74	0,53	0,22	11,86	1,43	1,12	128,51	26,73	60,38
Zone 4	1999	Grünflächen	0,23	1,2	0,19	0,16	1,75	1,09	1,06	482,05	555,09	44,49
Zone 4	1992	Siedlungen geringe Verdichtung	8,8	48,42	0,18	0,57	75	1,39	1,18	35,63	29,9	47,27
Zone 4	1999	Siedlung geringe Verdichtung	5,25	20,72	0,25	0,4	46,43	1,41	1,2	60,97	78,57	68,12
Zone 4	1992	Siedlungen mittlere Verdichtung	10,9	29,39	0,37	0,28	61,73	1,43	1,2	44,61	43,46	51,27
Zone 4	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	11,1	39,02	0,28	0,52	95,39	1,43	1,22	36,09	29,87	58,39
Zone 4	1992	Siedlungen hohe Verdichtung	17	32,76	0,52	1,55	110,7	1,32	1,26	34,7	25,48	32,94
Zone 4	1999	Siedlung hohe Verdichtung	20,1	35,89	0,56	1,13	121,3	1,37	1,28	108	116	40,88

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen <sup>5</sup> von 1992 und 1999**

Leipzig Markran- städt	Jahr	Landnutzungs- klassen	%Land	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 5	1992	Wald	1,93	5,78	0,33	0,43	16,02	1,38	1,28	37,72	36,09	35,26
Zone 5	1999	Wald	0,92	4,58	0,2	0,18	9,88	1,55	1,23	38,33	24,56	43,88
Zone 5	1992	Gewässer	1,34	2,17	0,62	0,83	7,59	1,28	1,34	44,29	50,19	51,78
Zone 5	1999	Gewässer	1,77	3,13	0,57	0,86	11,2	1,39	1,32	82,82	185,58	46,68
Zone 5	1992	Grün- und Acker- flächen	8,79	17,1	0,51	1,28	48,84	1,32	1,2	48,37	57,09	68,64
Zone 5	1999	Grün- und Acker- land	7,9	24,21	0,33	1,46	48,78	1,3	1,25	33,89	24,48	58,12
Zone 5	1992	Flächen ohne Vegetation	11,58	20,96	0,55	1,25	66,97	1,36	1,25	44,55	72,99	61,21
Zone 5	1999	Flächen ohne Vegetation	13,57	18,07	0,75	2,2	60,22	1,3	1,23	38,64	25,96	60,1
Zone 5	1992	Grünflächen	7,51	16,14	0,47	1,97	46,25	1,41	1,24	71,1	10,57	65,11
Zone 5	1999	Grünflächen	5,83	9,39	0,62	1,53	32,34	1,36	1,26	61,34	101,92	59,26
Zone 5	1992	Siedlung geringe Verdichtung	15,48	48,42	0,32	0,57	45	1,39	1,23	29,51	43,99	48,79
Zone 5	1999	Siedlung geringe Verdichtung	5,74	30,35	0,19	0,31	56,67	1,42	1,16	44,46	35,25	66,14
Zone 5	1992	Siedlung mittlere Verdichtung	3,03	16,62	0,18	0,24	31,92	1,48	1,16	47,14	167,75	55,72
Zone 5	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	12,37	33,97	0,36	0,57	88,53	1,44	1,24	53	24,34	56,74
Zone 5	1992	Siedlung hohe Verdichtung	0,51	4,34	0,11	0,12	6,08	1,55	1,11	121,98	4,48	48,13
Zone 5	1999	Siedlung hohe Verdichtung	2,09	11,56	0,18	0,14	21,5	1,37	1,15	45	186,69	48,78

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

Leipzig Markran- städt	Jahr	Landnutzungs- klassen	%Land	PD	MPS	PSSD	ED	DLFD	MSI	MNN	NNSD	IJI
Zone 6	1992	Grün- und Acker- flächen	14,34	12,92	1,11	3,05	45,48	1,27	1,28	41,47	76,79	57,68
Zone 6	1999	Grün- und Acker- flächen	12,01	14,44	0,83	4,17	57,98	1,19	1,26	40,91	48,05	56,35
Zone 6	1992	Flächen ohne Vegetation	18,17	19,27	0,94	4,13	60,97	1,29	1,17	53,41	40,5	62,57
Zone 6	1999	Flächen ohne Vegetation	11,58	17,31	0,67	3,44	53,96	1,39	1,24	49,43	46	65,31
Zone 6	1992	Grünflächen	13,11	20,48	0,64	2,03	73,83	1,38	1,25	42,39	12,44	73,78
Zone 6	1999	Grünflächen	0,51	1,95	0,26	0,19	5	1,55	1,28	43,75	10,83	69,85
Zone 6	1992	Siedlung geringe Verdichtung	9,74	37,56	0,26	0,44	69	1,43	1,2	30,41	61,42	53,26
Zone 6	1999	Siedlung geringe Verdichtung	18,51	29,75	0,62	1,48	91,45	1,47	1,25	35,71	22,97	69,81
Zone 6	1992	Siedlung mittlere Verdichtung	2,87	10	0,29	0,39	24,57	1,41	1,22	50,38	160,73	60,47
Zone 6	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	14,81	32,68	0,45	0,44	79,2	1,46	1,21	44,2	16,55	54,17
Zone 6	1992	Siedlung hohe Verdichtung	0,11	0,98	0,11	0,08	1,4	1,58	1,12	177,95	0	34,3
Zone 6	1999	Siedlung hohe Verdichtung	0,91	5,12	0,18	0,19	9,82	1,53	1,15	131,94	131,06	58,21

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

<i>Leipzig Markran- städt</i>	<i>Jahr</i>	<i>Landnutzungs- klassen</i>	<i>%Land</i>	<i>PD</i>	<i>MPS</i>	<i>PSSD</i>	<i>ED</i>	<i>DLFD</i>	<i>MSI</i>	<i>MNN</i>	<i>NNSD</i>	<i>IJI</i>
Zone 7	1992	Wald	2,64	3,66	0,72	0,77	15,42	1,39	1,5	36,2	0	53,32
Zone 7	1999	Wald	3,6	3,9	0,92	1,53	14,81	1,28	1,24	36,38	22,63	28,88
Zone 7	1992	Gewässer	28,06	1,22	23,01	38	16,34	1,15	1,19	25	63,55	40,34
Zone 7	1999	Gewässer	29,04	3,17	9,16	30,97	21,95	1,21	1,24	32,03	13,26	32,62
Zone 7	1992	Grün- und Acker- flächen	9,42	23,17	0,41	0,8	63,22	1,36	1,25	40,24	68,37	57,71
Zone 7	1999	Grün- und Acker- flächen	0,6	25,22	0,02	0,26	44,57	1,39	1,19	40,74	39,19	56,88
Zone 7	1992	Grün- und Acker- flächen ohne Vegetation	6,77	20	0,34	0,72	53,47	1,41	1,23	51,71	71,36	56,3
Zone 7	1999	Grün- und Acker- flächen ohne Vegetation	7,38	12,68	0,58	0,95	41,94	1,28	1,27	72,07	113,4	49,54
Zone 7	1992	Grünflächen	2,1	7,56	0,28	0,3	19,45	1,48	1,27	72,74	7,62	67,46
Zone 7	1999	Grünflächen	0,34	1,46	0,23	0,13	3,05	1,38	1,23	320,87	330,66	49,4
Zone 7	1992	Siedlung geringe Verdichtung	7,68	34,39	0,22	0,25	45	1,4	1,17	27,68	31,61	38,77
Zone 7	1999	Siedlung geringe Verdichtung	8,56	23,1	0,37	0,29	48	1,31	1,12	47,84	119,52	68,45
Zone 7	1992	Siedlung mittlere Verdichtung	2,16	10,97	0,2	0,15	21,52	1,37	1,16	42,99	0	35,82
Zone 7	1999	Siedlung mittlere Verdichtung	9,18	30,73	0,3	0,44	74,5	1,37	1,19	27,77	8,5	39,6
Zone 7	1992	Siedlung hohe Verdichtung	0,05	0,24	0,21	0	0,61	-	1,44	-	113,55	32,37
Zone 7	1999	Siedlung hohe Verdichtung	0,61	3,9	0,16	0,13	7,19	1,52	1,16	102,76	90,93	33,29

**Klassenbezogene Strukturmaße basierende auf den Klassifikationen von 1992 und 1999**

## **Erklärung**

Ich versichere, daß ich die Arbeit selbständig verfaßt habe, daß ich keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutze und die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Fall als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen, Kartenskizzen und Abbildungen.

Bonn, im August 2001

Kerstin Schallenberg