



# UFZ-Bericht

Nr. 12/2000

Dissertation

---

**Raum-zeitliches Monitoring von  
Landschaftsstrukturen in der  
Tagebauregion Südraum Leipzig  
mit Methoden der Fernerkundung  
und Geoinformation**

---

Angela Lausch

**Raum–zeitliches Monitoring von Landschaftsstrukturen in der  
Tagebauregion Südraum Leipzig mit Methoden der  
Fernerkundung und Geoinformation**

**Dissertation**

zur

Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.)

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

*Archiv*

vorgelegt von

Diplom-Biologin Angela Lausch

aus

Leipzig

Bonn 2000



Angefertigt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle GmbH  
Postfach 120  
Permoserstraße 15  
04318 Leipzig

00-1458

1. Referent: Prof. Dr. habil. Gunter Menz (Universität Bonn)
2. Referent: Prof. Dr. sc. Rudolf Krönert (Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH)

Tag der Promotion: 28.05.2000

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsvorhabens  
FKZ: 50 EE 95 12

„Methodik zur Erkundung der Biotop- und Landschaftsdiversität in der  
Braunkohletagebaufolgelandschaft mit Fernerkundungsmethoden“

Laufzeit 01.01.1996 – 31.12. 1998

Förderung durch die DARA-GmbH (Deutsche Agentur für Raum-  
fahrtangelegenheiten GmbH) – jetzt DLR e.V.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die auf die eine oder andere Weise zum Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben.

Diese Arbeit entstand 1996 bis 1999 am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle. Sie ist das Ergebnis einer dreijährigen Forschungsarbeit (FKZ: 50 EE 9512), gefördert durch die DARA GmbH (jetzt DLR). Ganz besonderes danken möchte ich Herrn Bach, der mich in dieser Projektphase unterstützte.

Prof. R. Krönert (UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie) danke ich besonders für sein großes Interesse an dem Thema, die zahlreichen konstruktiven Diskussionen sowie sein bisher unermüdliches Engagement zur Unterstützung meiner Person in der wissenschaftlichen Laufbahn.

Herrn Prof. G. Menz (Univ. Bonn) danke ich für die so unkomplizierte Übernahme der Betreuung, für das Interesse an dem Thema sowie die fruchtbaren Diskussionen.

Mein besonderer Dank gilt Dr. F. Herzog (UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie). Durch dessen inhaltliche Anregungen und den fruchtbaren Gedankenaustausch in zahlreichen Gesprächen sowie seine Ermutigungen wurde die Fertigstellung der Arbeit sehr unterstützt.

Dr. H.-H. Thulke (UFZ, Sektion Ökosystemanalyse) danke ich für die unzähligen Tips und konstruktiven Hilfen bei der Statistik, seine Begeisterung für das Thema sowie die ausgezeichnete Fähigkeit, landschaftsökologische Fragestellungen anhand statistischer Verfahren zu analysieren.

Für die zahlreichen Ideen und wichtigen Gespräche sowie die besonders wichtigen Hilfen in der Anfangsphase der Arbeit möchte ich mich bei Dr. L. Tischendorf (ehem. UFZ, Sektion Ökosystemanalyse) bedanken. Die intensiven Diskussionen sowie seine Erfahrungen zum Thema Landschaftsstrukturmaße prägten einen Großteil der Arbeit.

Danken möchte ich ebenso (in mehr oder weniger willkürlicher Reihenfolge):

- A. Müller (UFZ) für die stetige seelische und moralische Unterstützung sowie die freundliche Überlassung von hohen Mengen an Speicherplatz auf Ihrem Computer.
- Dr. E. Banzhaf für den seelischen und moralischen Beistand in „Trockenzeiten“ sowie die zahlreichen konstruktiven Diskussionen.
- Dr. R.-U. Syrbe (Sächsische Akademie der Wissenschaften, Dresden) für den guten wissenschaftlichen Austausch sowie die Überlassung von Datenmaterialien.
- F. Spitzer (ehem. Univ. Regensburg) für die hilfreiche Unterstützung in die Einarbeitung und Bewältigung von Methoden der Fernerkundung und Rasterbildverarbeitung.
- A. Bellmann, H. Krug („Naturfördergesellschaft Ökologische Station Borna-Birkenhain e.V.“) für wichtige Anregungen sowie der Übergabe von Daten für das Untersuchungsgebiet.
- Dr. M. Altmoos (UFZ, PB Naturnahe Landschaften) und Dr. W. Durka (UFZ, Sektion Biozönoseforschung) für die gute Projektzusammenarbeit sowie die inhaltlichen Anregungen.
- Dr. W.-D. Grossmann und H.-D. Kasperidus, die mich bei den ersten Schritten wissenschaftlicher Arbeit begleiteten und mir die Weiterbildung auf dem Gebiet der Geoinformation und Fernerkundung ermöglichten.
- Den Kollegen und Kolleginnen der Arbeitsgruppe Geoinformation Dr. A. Kindler, S. Lehmann, G. Schulz, H. Hartmann sowie S. Erfurth und H. Dietsch für die stete Hilfeleistung zur Bereitstellung notwendiger digitaler Daten sowie wichtiger Materialien zur Anfertigung der Arbeit.
- U. Hädrich und Chr. Geyer (beide UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie) für die stete und ausgezeichnete Betreuung der Hard- und Software. Ohne Ihre Unterstützung hätte ich die anfallenden „Datenmassen“ nicht bewältigen können.
- Den Studenten und Diplomanden F. Soff (Univ. Leipzig), G. Rößner (Univ. Bonn), A. Ehrig (Univ. Rostock) sowie Chr. Tonk (Univ. Leipzig) für ihre engagierte Unterstützung bei der technischen und methodischen Hilfeleistung von Teilarbeiten.
- Dr. B. Meyer sowie D. Petry (beide UFZ, Sektion Angewandte Landschaftsökologie) für die kritische Durchsicht der Arbeit und wichtige Hinweise zur Korrektur.
- Dr. Berkner („Regionale Planungsstelle“ des Staatlichen Umweltfachamtes) sowie Dr. Jansen (Staatliches Umweltfachamt) für die Überlassung von Datenmaterial sowie für die freundliche Unterstützung bei der Dateneinsicht.

Außerdem möchte ich meiner Mutter sowie meinem verstorbenen Vater danken, die mich auf meinem Lebensweg liebevoll unterstützten.

Ganz zum Schluß, aber nicht zuletzt, danke ich jenen Menschen, denen ich unendlich viel gemeinsame Zeit vorenthalten habe, und ohne die alles, was in dieser Arbeit enthalten ist, für mich keinen Sinn machen würde: Bernd, Esther und Sara.



# I Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>AUFBAU DER ARBEIT .....</b>	<b>7</b>
2.1	HARD- UND SOFTWARE .....	9
2.2	DATENMATERIAL .....	9
<b>3</b>	<b>BEGRIFFE, DEFINITIONEN, BEZUGSRÄUME UND ERFASSUNGSEBENEN .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>LANDSCHAFTSSTRUKTURMAßE IN DER LANDSCHAFTSÖKOLOGIE .....</b>	<b>15</b>
4.1	DEFINITION VON LANDSCHAFTSÖKOLOGIE UND LANDSCHAFT .....	15
4.2	STRUKTUR DER LANDSCHAFT .....	16
4.3	RAUMEINHEITEN .....	17
4.4	LANDSCHAFTSSTRUKTURMAßE .....	18
4.5	EINSATZ VON LANDSCHAFTSSTRUKTURMAßEN IM LANDSCHAFTSMONITORING .....	21
<b>5</b>	<b>BERGBAULANDSCHAFT SÜDRAUM LEIPZIG .....</b>	<b>26</b>
5.1	NATURRAUM SOWIE RAUMSTRUKTURELLE CHARAKTERISTIKA .....	26
5.2	HISTORISCHE, GEGENWÄRTIGE UND ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG SOWIE FOLGEN DER ABBAUTÄTIGKEIT .....	30
<b>6</b>	<b>METHODISCHE ANSÄTZE ZUR ERFASSUNG VON BIOTOP- UND LANDSCHAFTS- STRUKTUREN MIT FERNERKUNDUNG UND GIS .....</b>	<b>35</b>
6.1	ERFASSUNG VON LANDSCHAFTSELEMENTEN MIT FERNERKUNDUNG UND GIS .....	35
6.1.1	Aufbereitung der Fernerkundungsdaten (Rasterdaten) .....	35
6.1.2	Monotemporale Analyse - SPOT-XS .....	35
6.1.2.1	Grundlagen der multispektralen Klassifikation .....	35
6.1.2.2	Vegetationsindizes .....	36
6.1.2.3	Überwachte hierarchische Klassifikation von SPOT-XS .....	36
6.1.3	Multitemporale Analyse – SPOT-XS (1990, 1994, 1996) - Planung (2020) .....	40
6.2	QUANTIFIZIERUNG VON BIOTOP- UND LANDSCHAFTSSTRUKTUREN .....	41
6.2.1	Modell sowie Modellparameter .....	41
6.2.2	Landschaftsstrukturmaße .....	41
6.3	STATISTISCHE ANALYSEN .....	47
<b>7</b>	<b>IST - ANALYSE VON LANDSCHAFTSELEMENTEN UND LANDSCHAFTSSTRUKTUREN ANHAND VON SATELLITENBILDDATEN .....</b>	<b>50</b>
7.1	BEDEUTUNG DER VISUELLEN INTERPRETATION FÜR DIE ERFASSUNG VON LANDSCHAFTSELEMENTEN .....	50
7.2	ERFASSUNG FLÄCHENHAFTER LANDSCHAFTSELEMENTE .....	52
7.3	ERFASSUNG LINEARER LANDSCHAFTSELEMENTE .....	60
<b>8</b>	<b>EINFLUßFAKTOREN DER ERFASSUNG UND QUANTIFIZIERUNG VON LANDSCHAFTS- STRUKTURMAßEN AUS FERNERKUNDUNGSDATEN .....</b>	<b>65</b>
8.1	REALITÄTSNAHE ABBILDUNG DER LANDSCHAFT DURCH DAS KLASSIFIZIERTE SATELLITENBILD? .....	66
8.2	WAHL VON DATEN UNTERSCHIEDLICHEN DATENURSPRUNGS (RASTER- UND VEKTORDATEN) .....	69
8.3	BEDEUTUNG DER WAHL UNTERSCHIEDLICHER RASTERZELLGRÖßEN .....	72
8.4	EINFLUß VON PHÄNOLOGIE UND NUTZUNGSÄNDERUNG .....	76
8.5	ZUSAMMENFASSUNG UND KONSEQUENZEN FÜR DAS MONITORING VON LANDSCHAFTS-VERÄNDERUNGEN MIT LANDSCHAFTSSTRUKTURMAßEN .....	80
<b>9</b>	<b>MONITORING VON LANDSCHAFTSELEMENTEN UND LANDSCHAFTSSTRUKTUREN .....</b>	<b>81</b>
9.1	GESAMTRAUM - SÜDRAUM LEIPZIG .....	81
9.1.1	Biotopwandel abgeleitet aus SPOT-XS-Daten 1990, 1994, 1996 und geplantem Zustand 2020 .....	81
9.1.2	Dichteanalysen und deren Dynamik abgeleitet aus SPOT-XS-Daten im Zeitraum von 1990 bis 1996 .....	93

9.1.3	Veränderungen von Landschaftsstrukturmaßen abgeleitet aus SPOT-XS-Daten – 1990 bis 1996 und geplantem Zustand 2020.....	102
9.1.3.1	Analysen der Veränderungen durch Flächenmaße .....	102
9.1.3.2	Analysen der Veränderungen durch Kantenmaße.....	104
9.1.3.3	Analysen der Veränderungen durch Formmaße (Formdeskriptoren) .....	110
9.1.3.4	Analysen der Veränderungen durch Maße der Nächsten-Nachbarschaft.....	113
9.1.3.5	Analysen der Veränderungen durch Maße der Diversität und Verteilung.....	117
9.1.3.6	Zusammenfassung.....	120
9.2	MIKROGEOCHOREN DES SÜDRAUMES LEIPZIG.....	124
9.2.1	Raumstrukturelle Untersuchung der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) .....	125
9.2.1.1	Charakteristik und Veränderung der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren der Typenhaupt- gruppen (THG-D,E,H).....	125
9.2.1.2	Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen D,E,H.....	133
9.2.1.3	Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren der THG-D,E,H bezüglich der Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig.....	135
9.2.2	Raumstrukturelle Untersuchung der Mikrogeochoren.....	136
9.2.2.1	Charakteristik und Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße für jede Mikrogeochore.....	136
9.2.2.2	Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße für jede Mikrogeochore bezüglich der Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig .....	143
9.3	ZUSAMMENFASSUNG ZUM MONITORING VON BIOTOP- UND LANDSCHAFTSSTRUKTUREN IM SÜDRAUM LEIPZIG .....	145
10	<b>EINSATZ VON LANDSCHAFTSSTRUKTURMABEN FÜR DIE BEWERTUNG DER LAND- SCHAFTSZERSCHNEIDUNG.....</b>	<b>147</b>
11	<b>PROBLEME IM EINSATZ DER FERNERKUNDUNG ZUR BERECHNUNG VON LANDSCHAFTS- STRUKTURMABEN.....</b>	<b>156</b>
12	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>157</b>
13	<b>LITERATUR .....</b>	<b>160</b>
14	<b>ANHANG .....</b>	<b>181</b>
14.1	ÜBERSICHT DER MIT FRAGSTATS BERECHNETEN LANDSCHAFTSSTRUKTURMAÙE.....	181
14.2	VEREINBARUNGEN UND MATHEMATISCHE AUSDRÜCKE (FORMELN).....	182



## II Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Satellitenbildkomposit – Region Leipzig 1994 .....	3
Abb. 2:	Struktur der Arbeit.....	10
Abb. 3:	Darstellung der kleinsten als homogen betrachteten Raumeinheit - Landschaftselement oder Patch – quantifiziert aus SPOT-XS-Daten (Rasterdaten) .....	18
Abb. 4:	Grundcharakteristika der Landschaft nach der Landschaftsdefinition von Forman & Godron (1986) und ihre Erfassung mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen .....	19
Abb. 5:	Untersuchungsräume der vorliegenden Arbeit .....	27
Abb. 6:	Biotoptypenkartierung Sachsen – Südraum Leipzig - 1994 .....	33
Abb. 7:	Synthesebild der Flächennutzung - Südraum Leipzig - 2020.....	34
Abb. 8:	Ablaufschema zur hierarchischen Klassifikation der Satellitenbilddaten SPOT-XS .....	39
Abb. 9:	Schematisierte Darstellung der Nutzung der visuellen Interpretation zur Erfassung von Landschaftselementen und Ableitung der Landschaftsstrukturmaße .....	51
Abb. 10:	Land-Cover-Klassifikation von SPOT-XS – Südraum Leipzig – 1994.....	55
Abb. 11:	Vergleich panchromatischer Bilddaten verschiedener Sensoren – Tagebau Espenhain.....	62
Abb. 12:	Satellitenbild sowie Satellitenbildkomposit – multisensorale Verschneidung von Bilddaten mit unterschiedlicher geometrischer und spektraler Auflösung – Tagebau Espenhain.....	64
Abb. 13:	SHAPE INDEX (patch-level) quantifiziert aus Satellitenbilddaten (SPOT-XS) sowie der Biotoptypenkartierung Sachsens – Südraum Leipzig - 1994.....	68
Abb. 14:	Thematische Daten unterschiedlicher Datenmodelle – Klassifikation SPOT-XS (1994) – Südraum Leipzig – Überlagerung mit Vektordaten der Biotoptypenkartierung Sachsens.....	71
Abb. 15:	Berechnungen der Landschaftsstrukturmaße SHAPE sowie PERIM auf Ebene der Patches für die Bilddaten der Land-Cover-Klassifikation von SPOT-XS (1994) mit Rasterauflösungen von 5 bis 30 Meter/Pixel .....	73
Abb. 16:	Veränderungen des SHAPE INDEX - quantifiziert aus Fernerkundungsdaten mit einer Rasterauflösung von 20 und 30 Meter.....	75
Abb. 17:	Auswirkungen der Änderung der Phänologie der Vegetation sowie der Nutzung innerhalb des Jahres auf die Flächenbilanz von klassifizierten SPOT-XS-Daten.....	76
Abb. 18:	Land-Cover-Klassifikation von SPOT-XS – 1996 - Originaldatensatz.....	78
Abb. 19:	SHAPE INDEX (patch-level) – quantifiziert aus der Land-Cover-Klassifikation von SPOT-XS - Originaldatensatz – Südraum Leipzig - 1996 .....	79
Abb. 20:	Multitemporale Analyse der Flächenbilanz ausgewählter Land-Cover-Klassen aus klassifizierten SPOT-XS-Daten sowie der „Entwicklungskonzeption Landschaft“ für den Zeitraum 1990 bis 2020 .....	86
Abb. 21:	Synthesebild der Flächennutzung – Südraum Leipzig - 1990 .....	87
Abb. 22:	Synthesebild der Flächennutzung – Südraum Leipzig - 2020 .....	88
Abb. 23:	Veränderung der Flächennutzungsklasse Gehölze – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020 .....	89
Abb. 24:	Veränderung der Flächennutzungsklasse Laubwald – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020 .....	90
Abb. 25:	Veränderung der Flächennutzungsklasse Wasser – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020 .....	91
Abb. 26:	Veränderung der Flächennutzungsklasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020.....	92
Abb. 27a-d:	Multitemporale Analysen der Dichten der Klassen Vegetationsloses Offenland (Tagebau), Gehölze, Laub- und Nadelwald sowie Bebauung für den Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996.....	96
Abb. 28:	Untersuchung der Gehölzdichte / ha– Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996.....	98
Abb. 29:	Untersuchung der Dichte von Laub- u. Nadelwald / ha – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996.....	99
Abb. 30:	Untersuchung der Dichte von Vegetationsloses Offenland (Tagebau) / ha – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996.....	100
Abb. 31:	Untersuchung der Bebauungsdichte / ha – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996.....	101



Abb. 32a-h: Flächenmaße – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020.....	103
Abb. 33a-d: Kantenmaße - quantifiziert auf der Landschaft- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020.....	106
Abb. 34: Veränderungen des prozentualen Flächenanteils der Landschaftselemente (Patchebene) an den VEDCON-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	106
Abb. 35: VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level) – Südraum Leipzig 1990 bis 2020 .....	108
Abb. 36: Veränderungen des VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020.....	109
Abb. 37: SHAPE INDEX (patch-level) – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020.....	111
Abb. 38a-c: Veränderungen des prozentualen Flächenanteils der Landschaftselemente an den SHAPE-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	112
Abb. 39a-b: Shape index (SHAPE) für die Land-Cover-Klassen vom Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020.....	113
Abb. 40a-f: Maße der Nächsten-Nachbarschaft – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020 .....	115
Abb. 41: PROXIMITY INDEX (patch-level) – Klasse Laubwald – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020 ..	116
Abb. 42a-b: Interspersion and Juxtaposition index (IJI) – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020 .....	117
Abb. 43: Veränderungen des prozentualen Flächenanteils an den LCCRD-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	118
Abb. 44: LAND-COVER-CLASS RICHNESS DENSITY (LCCRD) / 0,25 ha - Untersuchung der Anzahl vorkommender Land-Cover-Klassen pro Bezugseinheit - Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996..	119
Abb. 45: Übersicht zur Entwicklung der Landschaftsstrukturmaße für die Gesamtlandschaft sowie die raumcharakterisierenden Land-Cover-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	121
Abb. 46a-h: Flächenmaße - quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	126
Abb. 47a-d: Kantenmaße - quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	127
Abb. 48a-b: Formmaße – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	128
Abb. 49a-f: Maße der Nächsten Nachbarschaft– quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020.....	129
Abb. 50a-c: Maße der Diversität und Verteilung - quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020.....	131
Abb. 51a-d: Trendanalyse der Typenhauptgruppen (D,E,H) der Mikrogeochoren für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	134
Abb. 52: Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße bezüglich der Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig – Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen-D,E,H .....	136
Abb. 53a-d: Zeitreihen- und Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren im Südraum Leipzig von 1990 bis 2020 .....	138
Abb. 54: Charakteristik und Trenderfassung von LARGEST PATCH INDEX (LPI) für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020.....	139
Abb. 55: Charakteristik und Trenderfassung von PATCH SIZE COEFFICIENT OF VARIATION (PSCV) für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020 .....	140
Abb. 56: Charakteristik und Trenderfassung von MEAN NEAREST-NEIGHBOR DISTANCE (MNN) für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020.....	141
Abb. 57: Charakteristik und Trenderfassung von VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (VEDCON) für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020.....	142
Abb. 58: Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße bezüglich der Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig - Mikrogeochoren .....	144
Abb. 59: Verkehrsnetz – Flächen – Kontrast-Index (patch-level) – Südraum Leipzig – 1994 – SPOT-XS .....	152

Abb. 60: Bebauung / Verkehrsnetz – Flächen – Kontrast-Index (patch-level) – Südraum Leipzig-1994–SPOT-XS..	153
Abb. 61: Eingangsgrößen zur Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen – Südraum Leipzig - 1994 .....	154
Abb. 62: Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen – Südraum Leipzig - 1994 .....	155



### III Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht zu den verwendeten Fernerkundungsdaten (nach Hildebrandt 1996).....	11
Tab. 2:	Metainformationen für den Untersuchungsraum Südraum Leipzig .....	12
Tab. 3:	Forschungsschwerpunkte zum Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen.....	20
Tab. 4:	Markante Punkte der Entwicklung (historisch, gegenwärtig, zukünftig) sowie die wichtigsten Folgen des Braunkohlenbergbaus des Borna-Meuselwitzer Reviers (nach Regionaler Planungsverband Westsachsen 1998, Berkner 1998, verändert).....	30
Tab. 5:	Bergbauliche Landinanspruchnahme und Wiedernutzbarmachung im Südraum Leipzig (Stand Ende 1992 in km <sup>2</sup> ).....	32
Tab. 6:	Abfrageroutinen zur Erfassung wirklicher Veränderungen der Land-Cover-Klassen .....	40
Tab. 7:	Parameter zur Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstrukturen des Südraumes Leipzig.....	41
Tab. 8:	Beschreibung der mit FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 1994) berechneten Landschaftsstrukturmaße für die Untersuchungsräume der Arbeit .....	42
Tab. 9:	Maximale Höhenwerte der Land-Cover-Klassen zur Bestimmung der Wichtungsgößen für das Landschaftsstrukturmaß - Höhenkontrastindex.....	47
Tab. 10:	Zuordnungsmatrix für die Bildelemente der Trainingsgebiete (je 100 %) zu den verschiedenen Klassen für die Land-Cover-Klassifikation SPOT-XS 1994 .....	53
Tab. 11:	Flächenbilanz der Land-Cover-Klassen aus SPOT-XS-Daten für das Jahr 1994 .....	59
Tab. 12:	Möglichkeiten der visuellen / digitalen Erfassung von Landschaftselementen aus Fernerkundungsdaten .....	63
Tab. 13:	Vergleich des Shape index* der Tagebauflächen Südraum Leipzig von Daten unterschiedlicher Datenmodelle (Raster- und Vektordatenmodell, vgl. auch Abb. 14, S. 65) .....	72
Tab. 14:	Beispiele der Veränderung von LSM auf Landschaftsebene bei der Verwendung unterschiedlicher Rasterzellgrößen des klassifizierten Satellitenbildes SPOT-XS 1994.....	73
Tab. 15:	Einschätzung der Stärke der Änderung von Phänologie und Nutzung der Land-Cover-Klassen innerhalb eines Jahres.....	77
Tab. 16:	Flächenhafter Anteil der größeren Stillgewässer und Tagebaurestseen im Südraum Leipzig von 1990 bis 2020.....	84
Tab. 17:	Mikrogeochoren-Typen für den Südraum Leipzig (nach Haase & Mannsfeld 1987, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt- und Landesentwicklung 1997) .....	124
Tab. 18:	Notwendige Trendrichtung der Landschaftsstrukturmaße, welche für eine positive Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig erforderlich ist .....	135
Tab. 19:	Häufig Verwendung findende Indikatoren zur Beschreibung und Charakterisierung der Zerschneidung der Landschaft.....	147
Tab. 20:	Wichtungsgößen für die Bestimmung der Landschaftsstrukturmaße Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (VFKI) sowie Bebauungs/Verkehrsnetz/Flächen-Kontrast-Index (BVFKI) .....	149
Tab. 21:	Faktoren zur Untersuchung der Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf die umliegenden Flächen (Patches) .....	150



## IV Abkürzungsverzeichnis

CIR	Color-Infrarot
EBIS	Evidence-Based Interpretation of Satellite Images (engl.)
ERDAS	Earth Resource Data Analysis System
FN	Flächennutzung
FN-Klassen	Flächennutzungsklassen
GIS	Geographisches Informationssystem
IHS	Intensity-Hue-Saturation (engl.)
IRS-1C	Indian Remote Sensing Satellite 1-C (engl.)
Landsat-TM	Landsat-Thematic Mapper
LCK	Land-Cover Klassen
LE	Landschaftselemente
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft
LSM	Landschaftsstrukturmaße
MG	Mikrogeochoren
MIBRAG	Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (engl.)
Pixel	Picture Element (engl.)
RGB	Rot-Grün-Blau
RSM	Landschaftsstrukturmaße
SPOT	Systeme Probatoire d'Observation de la Terre (franz.)
THG	Typenhauptgruppen
THG-D	Typenhauptgruppe der Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland
THG-E	Typenhauptgruppe der Naturraumtypen auf Lockergestein im Hügelland
THG-H	Typenhauptgruppe der Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“

### Landschaftsstrukturmaße

%Land	Percent of landscape
*_Land	Landschaftsstrukturmaß – berechnet für die Landschaft (z.B. NP_Land)
BVFKI	Bebauungs/Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index
ED	Edge density
EDCON	Edge contrast index
ESI	Edge structural index
IJI	Interspersion and Juxtaposition index
LCCRD	Land-cover-class richness density
LPI	Largest patch index
LSI	Landscape shape index
LMSI	Landscape monitoring sensitivity index
MECI	Mean edge contrast index
MNN	Mean nearest-neighbor distance

MPI	Mean proximity index
MPS	Mean patch size
MVECI	Mean vertical edge contrast index
NNCV	Nearest-neighbor coefficient of variation
NNSD	Nearest-neighbor standard deviation
NP	Number of patches
PERIM	Perimeter
PD	Patch density
PRD	Patch richness density
PROXIM	Proximity index
PSCV	Patch size coefficient of variation
PSSD	Patch size standard deviation
SHAPE	Shape index
SHDI	Shannon´s diversity index
SHEI	Shannon´s evenness index
TA	Total landscape area
TE	Total edge
VEDCON	Vertical edge contrast index
VFKI	Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

„Keine anderen natürlichen oder nutzungsbedingten Prozesse haben Natur und Landschaft in Mitteldeutschland in relativ kurzer Zeit so nachhaltig beeinflußt wie der Bergbau“

Berkner (1998, S. 778)

Der Bergbau stellt eine der *radikalsten* nutzungsbedingten Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt des Ökosystems dar und doch bildet er andererseits die wichtigste Grundlage neuer Biotop- und Landnutzungsstrukturen der Kulturlandschaft des Mitteldeutschen Raumes.

Die ersten Nachweise des Braunkohlenabbaus in Mitteldeutschland reichen bis in das Jahr 1671 (Meuselwitz-Rositz), 1698 (Geiseltal) und 1882 (Lieskau bei Halle) zurück (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1998). In dem am Anfang dieses Jahrhunderts überwiegend landwirtschaftlich geprägten Gebiet des Südraumes Leipzig setzte mit der zunehmenden Verknappung der Brennholzvorräte seit Beginn des 19. Jahrhunderts und dem Ausbau eines leistungsfähigen Bahnnetzes eine starke wirtschaftliche Veränderung ein. Dem bis dahin noch lokal konzentrierten Kohleabbau in Tiefbaubetrieben und Kleinruben folgte in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts der Aufschluß der *Echten Großtagebaue* (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1998, S. 13). So wurde im Laufe von fast siebzig Jahren Braunkohlebergbau in Großtagebauen mit nachgelagerter Brikettierung, Verstromung und Karbochemie der ehemals durch Elster- und Pleißeauen mit zwischengeschalteten Grundmoränenplatten charakterisierte Südraum von Leipzig radikal verändert. Folgen der Abbautätigkeit, in deren Rahmen 3,3 Mrd. Tonnen Kohle gefördert und zwölf Kubikkilometer Masse bewegt wurden, waren ein Massendefizit von nahezu drei Kubikkilometern, Hohlformen mit bis zu 15 Quadratkilometern Ausmaß und beträchtlicher Tiefe, ein Gesamtflächenentzug von fast 250 Quadratkilometern, davon bisher 50% rekultiviert, Reliefveränderungen, die Schaffung tischebener Kippenflächen, die Zerstörung des ursprünglichen Ertragspotentials von Ackerflächen, die großflächige Abholzung von Waldgebieten, die Beseitigung der Auen bis auf Reste, die Verlegung von Flüssen über größere Strecken sowie die Devastierung von über 60 Ortslagen mit rund 24.000 Einwohnern, die andernorts angesiedelt wurden (Regiegruppe „Kulturlandschaft Südraum Leipzig“ 1994). Der großflächige Bergbau bewirkte eine völlige Veränderung des natürlichen Landschaftsgefüges und führte zur Verschiebung bzw. Schädigung der vorliegenden Landschaftsfunktionen sowie wichtiger raumfunktionaler Beziehungen. Durch diese Zerstörungen ist das Image des Südraumes Leipzigs stark negativ geprägt worden.

In den Braunkohleabbaugebieten stand bisher die agrarische und forstliche Rekultivierung im Vordergrund (Darmer 1971, Wünsche et al. 1984). Es konnten sich jedoch durch Rückstände im Rekultivierungsprozeß sowie durch vielfach unvorhergesehene Entwicklungen wie Hangrutschungen, Vernässungen auf Setzflächen, überproportionale Brachlegung von Kippenflächen, regionsbezogene Eigenarten wie ein sehr breites und heterogenes Spektrum an unterschiedlichen Reliefverhältnissen, hydrologischen Verhältnissen, Bodensubstrat sowie Bodeneigenschaften herausbilden, die ein differenziertes Mosaik von Lebensräumen für die spontane Entwicklung und Etablierung zahlreicher seltener Tier- und Pflanzenarten ermöglichen



(vgl. Abb. 1<sup>1</sup>, S. 3). Die große Bedeutung von Bergbaufolgefleichen des Südraum Leipzig für den Naturschutz wurde zuerst für hochmobile Tiergruppen (flugfähige Insekten, Vögel) erkannt (Beer 1964, 1984, Dorsch & Dorsch 1989). Nachfolgende Arbeiten bestätigten den ökologischen Wert dieser Braunkohlestandorte für Flora und Fauna (Wiedemann 1991, Höser 1993, Klaus & Krug 1993, Donath 1994, Jentsch 1994, Durka et al. 1996, 1997, Durka & Altmooos 1997a, 1997b, Krug et al. 1997, Lausch & Bellmann 1997, 1998, Klaus 1998, Altmooos 1999, Lausch 1999e, Steinhardt et al. 1999). Die bisherigen Untersuchungen lassen erkennen, daß spontane Entwicklungen wertvolle Beiträge zur Renaturierung von Bergbaufolgelandschaften leisten können. So ist die Erforschung spontaner Wiederbesiedlungsprozesse von Standorten des Braunkohletageabbaus schon seit langem Gegenstand wissenschaftlichen Interesses. Es liegen zahlreiche vegetationskundliche Arbeiten vor, die verschiedene Stadien der Sukzession beschreiben (Gründler 1930, Hanf 1937, 1939, Beer 1955, Pietsch 1973, 1979, Westhus 1981, Mahn 1993, Gutte 1995, Tischef 1996, 1998 sowie Durka & Altmooos 1997).

In Anlehnung an die große Bedeutung der Tagebaulandschaft erarbeiteten Durka et al. (1997) und Altmooos (1999) Handlungskonzepte für den Naturschutz im Südraum Leipzig. So wurde, ausgehend von dem übergeordneten Leitbild des Raumes, ein naturschutzfachliches Leitbild für die „*Erhaltung von Offenlandbereichen*“ und für die „*Ungestörte Sukzession*“ entwickelt, das in den anzustrebenden Naturschutzstrategien „*Pflege*“ und „*Prozeßschutz*“ ihren Ausdruck finden (Durka et al. 1997, Altmooos 1999). Diese Naturschutzstrategien können jedoch nur dann Erfolg haben, wenn die Biotop- und Habitatstrukturen, die ablaufenden biodynamischen Prozesse sowie Biotopmanagement und Pflegemaßnahmen des Raumes bekannt sind (Hovestadt et al. 1991), bzw. deren zeitlicher Fortgang beobachtet wird. Desweiteren befindet sich die Landschaft des Südraumes von Leipzig durch die genannten massiven Folgen des Abbaus von Kohle sowie durch die Maßnahmen der Renaturierung und Rekultivierung in einem Prozeß der „*Landschaftssukzession*“. Es handelt sich um eine instabile Landschaft, in deren Entwicklung es zu einer raum-zeitlichen Änderung von Landschaftsstrukturen und Raummustern der raumbestimmenden Landschaftselemente, Biotope und Landschaftseinheiten kommt. Diese Entwicklung zieht auch Änderungen in Funktion und Dynamik der Ökosysteme nach sich, die in ihrem Fortgang nur schwer erfaßbar und meßbar sind.

Die Verringerung der Biodiversität, die zunehmende Fragmentierung und Eutrophierung von Landschaften (Izrael 1990, SRU 1992, Bastian & Bernhardt 1993, Bastian & Schreiber 1994, SRU 1996, Schröder 1998b, Syrbe et al. 1998) sowie die Bestätigung, daß die Veränderungen nicht mehr nur ein lokal eingrenzbares Problem darstellen, sondern regionale bzw. globale Störungen von Ökosystemen hervorrufen (Izrael 1990, Schönwiese 1993, Enquete-Kommission 1995, Haber 1996), führte zu der Einsicht, die ganze Landschaft und nicht nur kleinräumige Kompartimente zum Untersuchungsgegenstand des Monitorings machen zu müssen.

Das *Landschaftsmonitoring* widmet sich der Kontrolle und der Prognose von Zustand und Dynamik von natürlichen bis technischen Ökosystemen. Es bezieht sich auf Landschaftskomponenten wie Vegetationsdecke, Bodendecke, Flächennutzung und räumliche Landschaftsstruktur (Krönert 1986, Bastian & Schreiber 1994).

---

<sup>1</sup> Nächste Seite – Abb.1: Satellitenbildkomposit – Region Leipzig 1994



# Satellitenbildkomposit - Region Leipzig 1994



## Beispiele unterschiedlicher Landbedeckungen:



Wald



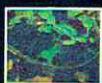
Tagebau



Ackerland



Städtische Siedlung



Aue



Ländliche Siedlung

## Datenquellen und Datenbearbeitung:

Satellitenbildkarte Raum Leipzig - Halle - Bitterfeld  
Ellen Banzhaf und Annegret Kindler  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Landsat-5-TM vom 21.07.1994 (Bodenauflösung 30 m x 30 m)  
Spot-PAN vom 16.05.1994 (Bodenauflösung 10 m x 10 m)  
Geometrisch entzerrt auf der Grundlage von topographischen  
Karten in den Maßstäben 1 : 25000 (N) und 1 : 10000 (AV)

Datenverschneidung von Landsat-5-TM mit Spot-PAN  
mittels "Resolution Merge" Transformation

Kanalkombination, spektrale Information und Farbuweisung:

Kanal 1 (Wellenlänge 0,45 - 0,52 µm - blau)	rot
Kanal 5 (Wellenlänge 1,55 - 1,75 µm - mittl. IR)	grün
Kanal 7 (Wellenlänge 2,08 - 2,35 µm - mittl. IR)	blau

Kilometer



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



Die durch den Umbruch im Osten Deutschlands rasch ablaufenden natürlichen und anthropogenen Veränderungen sind mit den klassischen Untersuchungsmethoden nur noch schwer erfassbar. Grundlegende Informationen zur potentiell natürlichen Struktur von Landschaften und Biotopen können durch punktuelle Untersuchungen kaum mehr beschafft werden. Klimatische, edaphische und biologische Grundlagen, die eine Charakterisierung der Standortbedingungen der natürlichen Vegetation erlauben würden, liegen zumeist nur in Fragmenten vor. Fehlende flächendeckende Kartierungen und zum Teil schwer zugängliche Räume führen zu einer geringen Dichte von Informationen ökologischer Parameter. Hieraus macht sich der Einsatz von Erfassungssystemen notwendig, die langfristige und kontinuierliche Messungen der terrestrischen Ökosystemvariablen und deren Dynamik erlauben (Bick 1982, Arndt et al. 1987, Sukopp 1988, Plachter 1991, Bastian & Schreiber 1994, Solbrig 1994).

Die rasant verlaufende Entwicklung der Informations- und Datenverarbeitung, insbesondere der Geoinformation und Fernerkundung brachte eine Vielzahl von Analysewerkzeugen hervor, die eine raum-zeitliche Erfassung der Landschaft und deren Veränderungen ermöglichte. Die Einbeziehung von Fernerkundungsdaten kann dazu beitragen, aktuelle Landschafts- und Landnutzungsstrukturen flächenhaft, kosten- und zeitgünstig zu erfassen und auf aktuellem Stand zu halten. Durch Fernerkundungsverfahren sind heute mit immer größerer Genauigkeit Aussagen zu abiotischen sowie biotischen Ökosystemkomponenten wie Landnutzung, Vegetationsbedeckung, Vegetationszustand, thermalen Strukturen, Bodenmosaik und -feuchtigkeit möglich. Hierbei geben zahlreiche Arbeiten zu Vitalitätsuntersuchungen (Landauer & Voß 1989, Steinhardt et al. 1992), zur Analyse der Landnutzungsklassen (Pyka et al. 1994, Smiatek 1994) sowie zu Untersuchungen abiotischer Parameter (Barsch et al. 1993) Hinweise über vielfach angewendete Methoden und Verfahren in der Fernerkundung. Auch bestehen erste Erfahrungen in der Verknüpfung von Daten unterschiedlicher räumlicher und spektraler Auflösung (Barsch et al. 1991). Durch die Nutzung der Theorie *unscharfer Mengen* sowie der *Einbeziehung von Texturparametern* wurden in jüngster Zeit spezielle Klassifikationsverfahren entwickelt, die bessere Kombinationsmöglichkeiten von Datensätzen unterschiedlicher Sensoren bzw. Quellen erlauben (Günther & Riekert 1992, Lohmann 1991, 1994). Auch der Einsatz von neuen Methoden der Fernerkundung und Geoinformation zeigt, daß aufgrund des dennoch bestehenden hohen Erfassungs- und Bearbeitungsaufwandes zur Datenanalyse im Landschaftsmonitoring nur ausgewählte abiotischen und biotischen Komponenten des Naturhaushaltes einbezogen werden können (Schmidt & Rembierz 1987). Nach Schröder (1998a, S. 67) stellen hierfür insbesondere funktionelle oder strukturelle Merkmale wichtige Untersuchungskomponenten dar, die „als *Indikatoren* für den jeweils beobachteten Objekt- bzw. Sachverhaltsbereich (*Indikandum*) möglichst aussagekräftig, d.h. gültig (=valide) sein sollen“. Es stellt sich jedoch hier die Frage, welche Indikatoren aussagekräftig genug sind, Veränderungen der Landschaft anzuzeigen.

Die Erfassung und Beschreibung räumlich dynamischer Prozesse macht den Einsatz quantitativer Methoden und Bewertungsansätze notwendig. So erweisen sich zur Kennzeichnung der Landschaftsstruktur die Ansätze der Landschaftsökologen Forman & Godron (1986), Turner (1989), Turner & Gardner (1991a, 1991b) zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen (LSM) als zielführend. Landschaftsstrukturmaße können als Indikatoren gelten, mit deren Hilfe die Muster, die Zusammensetzung, Komposition und Konfiguration der Landschaft sowie deren Kompartimente analysiert, beschrieben und quantifiziert werden. Anhand der raum-zeitlichen Änderung der Landschaftsstrukturmaße können wichtige Rückschlüsse bezüglich der Veränderung der Landschaft



gezogen werden. Die Analyse und Auswertung von raum- und strukturprägenden Merkmalen der Landschaftselemente (engl. *Patches*), Landschaftselementklassen, Landschaftsräume bzw. der gesamten Landschaft bilden bereits jetzt in zahlreichen Arbeiten eine wichtige Grundlage zum Landschaftsmonitoring (Poudevigne 1997; Zheng et al. 1997; Burnside et al. 1998; Palang et al. 1998). Ritters et al. (1995) weisen jedoch darauf hin, daß insbesondere die Sensitivität von Landschaftsstrukturmaßen auf Änderungen von Landschaftsstrukturen bisher nur sehr wenig untersucht wurde.

Hieraus ergab sich für die vorliegende Arbeit folgende Zielrichtung:

**Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Methodenabfolge, mit der auf Grundlage von Fernerkundungsdaten unterschiedlicher räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung die Beobachtung, Erfassung, Quantifizierung und Bewertung natürlicher und anthropogen geprägter Biotop- und Landschaftsstrukturen in Bergbaufolgelandschaften flächenhaft durchführbar ist.** Hierbei sollen auf unterschiedlichen Maßstabs- und Hierarchieebenen die Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft – Südraum Leipzig – quantitativ erfaßt und analysiert werden. Es sollen Methoden der Fernerkundung mit Daten eines Geographischen Informationssystems (GIS) kombiniert werden. Im Besonderen ist die Eignung von SPOT-Satellitenbilddaten zur Lösung der genannten Aufgaben zu testen.

**Die Zielsetzung beinhaltet sowohl methodische als auch inhaltliche Aspekte:**

1. Es wird die Eignung von SPOT-XS-Daten geprüft, Landschaftsdiversität in der Bergbaufolgelandschaft raum-zeitlich zu erfassen (fernerkundungs-methodische Zielsetzung).
2. Es wird ein Beitrag zum Monitoring der Biotop- und Landschaftsstruktur mit GIS und Fernerkundungsmethoden geleistet (anwendungsorientierte Zielsetzung).

**Als wesentliche Teilziele der Arbeit können genannt werden:**

Fernerkundungs-methodische Zielsetzung:

- *Analyse, Erfassung und Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen (flächenhaft und linear) mittels Fernerkundungsdaten (SPOT-XS)*
- *Untersuchung notwendiger Einflußfaktoren auf die Erfassung von Biotop- und Landschaftsstrukturen für das Landschaftsmonitoring sowie der Ableitung von Landschaftsstrukturmaßen zur Charakterisierung der Biotop- und Landschaftsstruktur der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzigs*
- *Entwicklung einer Methodik, Methodenabgrenzung und –vergleich zur*
  - a) *Erfassung von Biotop- und Landschaftsstrukturen*
  - b) *Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen zur Quantifizierung und Analyse der Biotop- und Landschaftsstruktur*
  - c) *Durchführung eines Landschaftsmonitoring mit GIS und Fernerkundungsdaten*

Anwendungsorientierte Zielsetzung:

- *Erfassung, Charakterisierung und Dokumentation von Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig*
- *Durchführung eines Landschaftsmonitorings der Tagebaulandschaft*



- a) unter Einbeziehung traditioneller sowie neuer methodischer Ansätze*
- b) auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalenniveaus*
- *Bewertung der Veränderungen der Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft von 1990 bis 2020*
- *Bestimmung von Landschaftsstrukturmaßen die sensitiv sind, die Dynamik der Biotop- und Landschaftsstrukturen des Südraumes Leipzig anzuzeigen.*

## 2 Aufbau der Arbeit

Die Studie wurde am Beispiel des Untersuchungsgebietes „Tagebaulandschaft Südraum Leipzig“ durchgeführt.

- Nach den Erläuterungen zur Gesamtkonzeption der Arbeit sowie der Problem- und Zielsetzung im Kap. 1 werden die in der Arbeit verwendete Hard- und Software, das in die Untersuchung einbezogene Datenmaterial sowie wichtige Begriffe, Definitionen, Bezugs- und Erfassungsebenen beschrieben (vgl. Kap. 2).
- Das Kap. 3 umfaßt eine Beschreibung der theoretischen Ansatzpunkte. Die Erfassung der Biotop- und Landschaftsstrukturen und deren Dynamik in der Tagebaulandschaft basiert auf den theoretischen Ansätzen der Landschaftsökologie von Forman & Godron (1986). Für das Verständnis der Arbeit sind die Theorieansätze der landschaftsökologischen, landschaftsstrukturellen Forschung und der damit verbundenen Konzepte sehr entscheidend. Hierzu sind die Definition der Landschaftsökologie sowie der Landschaftsmerkmale Struktur, Funktion und Dynamik außerordentlich wichtig. Die Untersuchung der Biotop- und Landschaftsstrukturen verlangt die Benennung und Charakterisierung der *Strukturen* der Landschaft. Der Begriff Struktur wird vielfach angewendet, wodurch es zu Mißverständnissen in seiner Handhabung kommt. Desweiteren bedürfen die Begriffe Landschaftselemente (*Patch*) sowie Klasse und Landschaft aufgrund unterschiedlicher Handhabungen einer eindeutigen Charakteristik und Definition. Ein zentrales Element dieser Arbeit stellt die analytische Erfassung von Indikatoren zur quantitativen Analyse der Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft dar. Mit ihrer Hilfe können Landschaftsstrukturen erfaßt, quantifiziert und bewertet werden. Eine umfassende Erläuterung und Diskussion der LSM in der Landschaftsökologie sowie im Landschaftsmonitoring für den Südraum Leipzig erleichtert das Verständnis für die vorliegende Arbeit.
- Im Kap. 5 wird das Untersuchungsgebiet Südraum Leipzig hinsichtlich Abgrenzung, Lage, Geologie und Boden beschrieben, raumstrukturelle Charakteristika sowie die wichtigsten historischen, gegenwärtigen sowie zukünftigen Entwicklungen der Tagebaulandschaft erläutert. Diese stehen z.T. mittelbar bzw. unmittelbar im Zusammenhang mit der Entwicklung und Dynamik der in der Untersuchung erfaßten Landschaftsstrukturen.
- Das Kap. 6 enthält die Beschreibung der methodischen Ansätze zur Charakterisierung der Biotop- und Landschaftsdiversität. Für die Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft ist die Erfassung von Landschaftselementen erforderlich. Die Einbeziehung von Satellitenbilddaten stellt ein geeignetes Verfahren zur Bereitstellung einer flächenhaften Datenbasis für die großräumige und z.T. unzugängliche Tagebaulandschaft dar. Zur Durchführung des Landschaftsmonitoring für die Tagebaulandschaft werden Daten der Zeitschnitte 1990, 1994 sowie 1996 des Sensors SPOT-XS ausgewertet. Durch die Einbeziehung der Entwicklungskonzeption Landschaft für das Jahr 2020 sind weitergehende Untersuchungen über das Jahr 1996 hinaus möglich. Die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße erfolgt mit Hilfe des Programmpaketes FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 1994). So werden neben dem Modell sowie der in die Untersuchungen eingehenden Modellparameter die Landschaftsstrukturmaße beschrieben.



- Die Erfassung der Landschaftsveränderung der Tagebaulandschaft erfordert eine Charakterisierung des Ist-Zustandes (Kap. 7). Hierbei werden die Verfahren der visuellen Interpretation sowie die Klassifikation von Satellitenbilddaten hinsichtlich der Eignung der Erfassung von Landschaftselementen und Landschaftsstrukturen verglichen. Desweiteren werden anhand der Auswertung der Satellitenbilddaten von SPOT-XS die für die weitergehenden Untersuchungen relevanten flächenhaften und linearen Biotop- und Flächennutzungsstrukturen ermittelt sowie deren flächenhafte Verteilung im Südraum Leipzig charakterisiert.
- Die Durchführung des Landschaftsmonitorings mit Satellitenbilddaten für die Tagebaulandschaft ist möglich, wenn hierfür notwendige Rahmenbedingungen eingehalten werden. So werden im Kap. 8 folgende Fragen beantwortet:
  - Wird durch das klassifizierte Satellitenbild die Landschaft realitätsnah abgebildet?
  - Welchen Einfluß hat die Wahl von Daten unterschiedlichen Datenursprunges sowie der Einsatz unterschiedlicher Rasterzellgrößen auf die Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstrukturen durch LSM?
  - Inwieweit beeinflussen die Phänologie der Vegetation sowie die Nutzungsänderungen landwirtschaftlicher Kultur- und Fruchtarten die Durchführbarkeit des Landschaftsmonitorings sowie die Ableitung der LSM?

Die Beantwortung dieser Fragen gibt wichtige methodische Hinweise für die Durchführung des Landschaftsmonitorings in der Arbeit.

- Zentrales Element dieser vorgelegten Arbeit ist das Landschaftsmonitoring mit GIS und Fernerkundung für die Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig (vgl. Kap. 9). Hierbei werden die Veränderungen der Landschaft von 1990 bis 1996 bzw. durch die Einbeziehung der *Entwicklungskonzeption Landschaft* bis zum Jahr 2020 erfaßt, quantifiziert, verglichen und bewertet. Schwerpunkte stellen neben den traditionellen Verfahren der Flächenbilanzierung und der Dichteuntersuchung neue Verfahren der Quantifizierung der Landschaftsstrukturen anhand geeigneter Strukturindikatoren dar. Der Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen im Landschaftsmonitoring in einer stark dynamischen Tagebaulandschaft wird erstmalig in dieser Arbeit untersucht.

Für die Erfassung raum-zeitlicher Veränderungen der Biotop- und Landschaftsstrukturen wird ein hierarchischer Ansatz auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus (Ebene 1 bis 3) vorgeschlagen.

- Ebene 1: Landschaft Südraum Leipzig
- Ebene 2: Landschaft der Typenhauptgruppen der Mikrogeochoren
- Ebene 3: Landschaft jeder einzelnen Mikrogeochore

Es werden Aussagen bezüglich der Entwicklung der Gesamtlandschaft, der raumcharakterisierenden Klassen Gehölze, Laubwald, Wasser und Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie beispielhaft für einzelne Klassen zur Flächennutzungsänderung, der Dichte sowie hinsichtlich der untersuchten Landschaftsstrukturmaße gemacht. Desweiteren werden anhand unterschiedlicher deskriptiver und statistischer Verfahren (Trendanalyse) einerseits die raum-zeitliche Dynamik der Landschaftsstrukturmaße von 1990 bis 2020 bestimmt sowie andererseits untersucht, welche Landschaftsstrukturmaße als Anzeiger der Veränderungen der Tagebaulandschaft von 1990 bis 2020 gelten können. Im Kap. 10 werden aus den Satellitenbilddaten SPOT-XS (1994) erfaßte Landschaftsstrukturmaße hinsichtlich ihrer Eignung in Bewertungsansätzen zur Landschaftszerschneidung getestet. Für diesen Ansatz wurden neue Landschaftsstrukturmaße entwickelt und mit bereits bekannten Maßen im Bewertungsverfahren kombiniert. Es werden wichtige Aussagen zur Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen bei der Bestimmung der Zerschneidung der Landschaft durch das Verkehrsnetz gemacht.

- In einer abschließenden Betrachtung werden im Kap. 11 die wichtigsten Rahmenbedingungen, die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Satellitenbilddaten für das Landschaftsmonitoring sowie der Erfassung raum-zeitlicher Änderungen der Biotop- und Landschaftsstrukturen diskutiert. Im Kap. 12 werden die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit zusammengefaßt und ein Ausblick für kommende Untersuchungen im Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen im Landschaftsmonitoring gegeben.

Die Struktur der Arbeit ist der Abb. 2 (S. 10) zu entnehmen.

## 2.1 Hard- und Software

Zur digitalen Bildverarbeitung der Fernerkundungsdaten (Luft- und Satellitenbilddaten) kam das Softwarepaket ERDAS/IMAGINE (Vers. 8.3) unter UNIX (Sun-Solaris (Vers. 2.5), SPARC-ULTRA 20) zur Anwendung. Diese Software stellt neben den Grundfunktionalitäten der digitalen Bildauswertung auch die Zusatzmodule EBIS, VECTOR sowie VIRTUAL GIS zur Verfügung. Für die digitale Umsetzung der Vektordaten wurde neben ERDAS/IMAGINE (Vers. 8.3) auch das Programm ARC/INFO (Vers. 7.2) unter UNIX (Sun-Solaris (Vers. 2.5), SPARC-ULTRA 20) verwendet.

Die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße für die Ebenen *Patch*, Klasse und Landschaft (vgl. Kap. 4.2, S. 16) auf Rasterbasis erfolgte mit Hilfe des Programmes FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 1994).

Für die statistische Auswertung der Daten wurde das Programm STATISTICA (Vers. 5.0) herangezogen. Die weiteren Verarbeitungsschritte von Text und Grafik wurden unter Zuhilfenahme des Programmpaketes MICROSOFT-OFFICE sowie ERDAS/IMAGINE (Vers. 8.3) realisiert.

## 2.2 Datenmaterial

Datengrundlage dieser Arbeit bilden die in Tab. 1 (S. 11) zusammengestellten Satellitenbildszenen. Bei der Wahl der Satellitenbilddaten des Untersuchungsraumes Südraum Leipzig wurde insbesondere auf die Kriterien Wolkenbedeckung, Aufnahme datum sowie vollständige Abdeckung des gesamten Untersuchungsraumes geachtet.



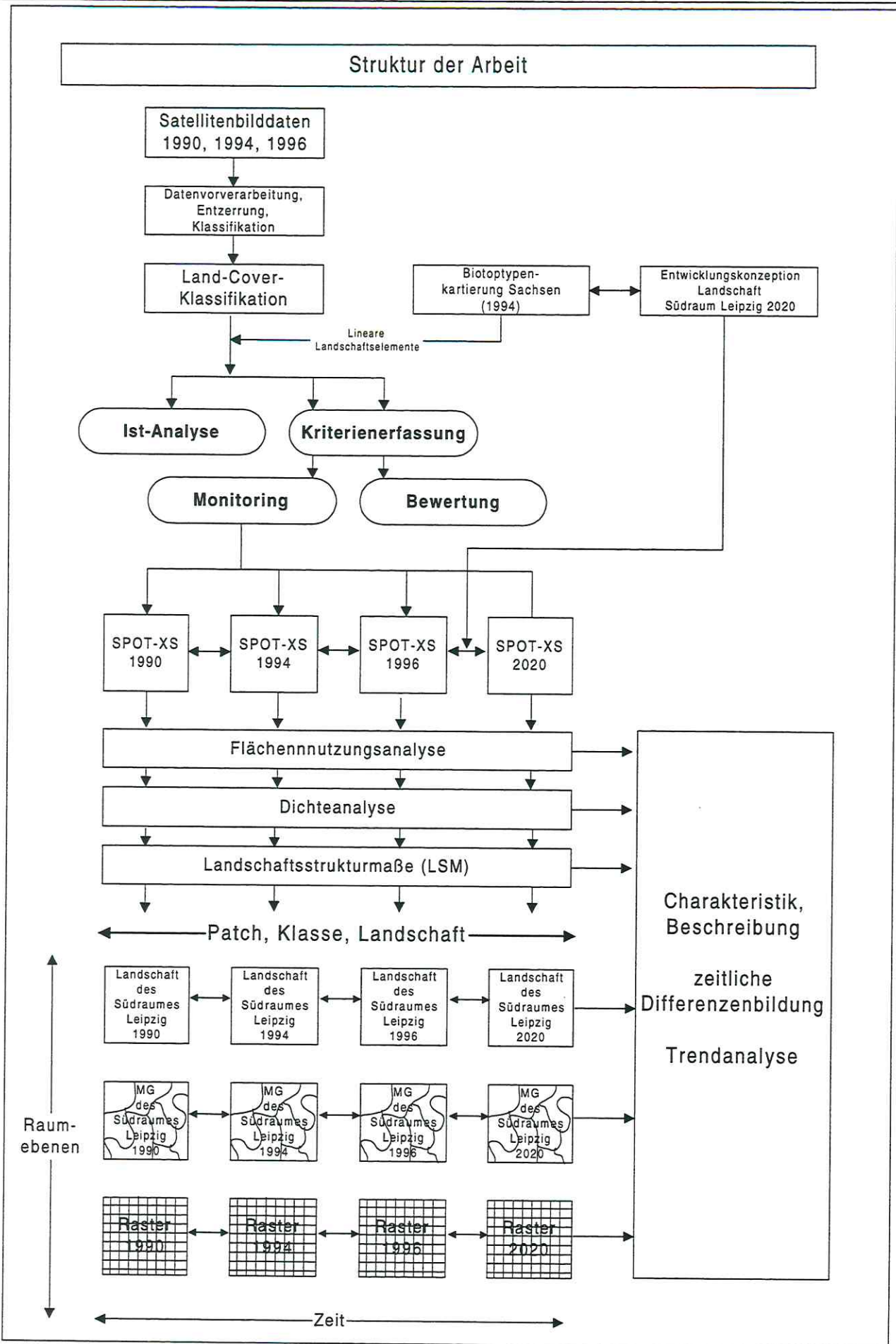


Abb. 2: Struktur der Arbeit

Die Analyse der Biotoptypen- und Landschaftsdiversität bzw. der sie abbildenden Biotop- und Landschaftsstrukturen steht in der wissenschaftlichen Diskussion in Deutschland erst am Anfang. Die beim Arbeiten mit Fernerkundungsdaten auftretende Vielzahl von noch ungeklärten Fragestellungen (Verwendung unterschiedlicher Rasterzellgrößen, Integration linearer Elemente wie das Verkehrsnetz, Verwendung unterschiedlicher Datenmodelle, Zunahme der Klassenanzahl, Möglichkeit der multitemporalen Vergleichbarkeit) macht eine tiefgreifende qualitative Auswertung ausgewählter Fernerkundungsdaten erforderlich. So bilden die Fernerkundungsdaten des französischen Satelliten SPOT mit einer geometrischen Auflösung von 20 x 20 m<sup>2</sup> (SPOT-XS) bzw. 10 x 10 m<sup>2</sup> (SPOT-PAN) die Grundlage der multitemporalen Analyse. Durch die höhere Bodenauflösung der SPOT-XS-Daten gegenüber den häufig verwendeten Landsat-TM-Daten (30 x 30 m<sup>2</sup> Bodenauflösung) ist die Erfassung und Differenzierung von kleinräumigen Strukturen möglich, wodurch eine höhere Detailgenauigkeit innerhalb einzelner Klassen erreicht wird. Nachteilig wirkt sich jedoch die im Vergleich zu den Landsat-TM-Bilddaten vorliegende geringere Anzahl der aufgezeichneten Spektralkanäle von SPOT-XS-Daten (vgl. Tab. 1, S. 11) aus. Es können daher spektral sehr ähnliche Klassen mit SPOT-XS-Daten weit schlechter als mit Landsat-TM-Daten getrennt werden.

Die SPOT-PAN-Szene (1994) diente als sogenanntes Master-Bild der relativen Bild-auf-Bild-Entzerrung aller raumbezogenen digitalen Daten. Ergänzt wurden die Satellitenbilddaten durch die in Tab. 2 (S. 12) aufgeführten Metainformationen. Hierbei kamen insbesondere die Luftbildbefliegungsdaten (Biotoptypenkartierung Sachsen, 1 : 10 000, Landesamt für Umwelt und Geologie, Ausgabe 1993), die topographischen Karten 1 : 25 000 (Landesvermessungsamt Sachsen), die Karte Südraum Leipzig – Realnutzung 1 : 50 000 (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996c) sowie Geländeerhebungen zur Suche von Trainingsgebieten und Verifizierung der Satellitenbildklassifikation zum Einsatz. Die Karte Entwicklungskonzeption Landschaft – Zeitschnitt für das Jahr 2020 – (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996b) ermöglicht die Einbeziehung künftiger Raumplanungsmaßnahmen im Südraum Leipzig bezüglich der sich hieraus ergebenden strukturellen Änderungen der Biotop- und Landschaftsstruktur. Eine wichtige Grundlage der Arbeit stellen die Naturraumeinheiten mikrogeochorischen Ranges, kurz „Mikrogeochoren“ dar (vgl. Kap. 9.2, S. 124, Abb. 5, S. 27). Hierdurch ist ein Vergleich von Landschaftsstrukturmaßen unterschiedlicher naturräumlich definierter Landschaften des Südraumes Leipzig mono- und multitemporal möglich.

Tab. 1: Übersicht zu den verwendeten Fernerkundungsdaten (nach Hildebrandt 1996)

Sensor	Geometrische Auflösung	Spektrale Auflösung, Spektralkanäle in [µm]	Temporale Auflösung	Radiometrische Auflösung	Größe der Bildszene in [km]	Datum der bearbeiteten Szenen
Landsat-TM	30 m  120 m 30 m	1: 0,45 – 0,52 2: 0,52 – 0,60 3: 0,60 – 0,69 4: 0,78 – 0,90 5: 1,55 – 1,75 6: 10,4 – 12,5 7: 2,08 – 2,35	16 d	8 Bit (256 Graustufen)	185 x 185	21. 07. 1994 14. 10. 1996
SPOT-XS	20 m	1: 0,50 – 0,59 2: 0,61 – 0,69 3: 0,79 – 0,89	□ 26 d	8 Bit (256 Graustufen)	60 x 60	06. 05. 1990 25. 06. 1994 31. 05. 1996
SPOT-PAN	10 m	0,51 – 0,73	□ 26 d	8 Bit (256 Graustufen)	60 x 60	16. 05. 1994



IRS-1C /LISS-III	23 m	1: 0,52 – 0,59 2: 0,62 – 0,68 3: 0,77 – 0,86	24 d	7 Bit (127 Graustufen)	142 x 142	23. 08. 1996
	70 m	4: 1,55 – 1,70			148 x 148	
IRS-1C /PAN	5,8 m	0,50 – 0,75	24 d	7 Bit (127 Graustufen)	70 x 70	23. 08. 1996
KVR-1000	2,0 m	0,40 – 0,70	Abhängig von der Befliegung	8 Bit (256 Graustufen)	Abhängig von der Flughöhe	16. 05. 1992
DAEDALUS	Abhängig von der Flughöhe <sup>2</sup>	2: 0,45 – 0,52 3: 0,52 – 0,60 4: 0,60 – 0,63 5: 0,63 – 0,69 7: 0,76 – 0,90	Abhängig von der Befliegung (Flugzeugmeßkam- pagne PRIRODA)	8 Bit (256 Graustufen)	Abhängig von der Flughöhe	14. 09. 1996
CIR-Luftbilder	Abhängig von der Flughöhe <sup>3</sup>	Abhängig von der Empfindlichkeit des Filmes <sup>4</sup>	Abhängig von der Befliegung	-	Abhängig von der Flughöhe	25. 06. 1994
Echtfarb- Luftbilder	Abhängig von der Flughöhe <sup>5</sup>	Abhängig von der Empfindlichkeit des Filmes <sup>6</sup>	Abhängig von der Befliegung	-	Abhängig von der Flughöhe	26. 06. 1992

Tab. 2: Metainformationen für den Untersuchungsraum Südraum Leipzig

Datenmaterial	Zeit	Anwendung
Topographische Karten 1 : 25 000 <sup>7</sup>	1989	Grundlagenkarten für die Georeferenzierung
Biotoptypenkartierung Sachsen 1 : 10 000 <sup>8</sup>	1993	Suche von Trainingsgebieten, vergleichende Untersuchungen zu den Fernerkundungsdaten
Südraum Leipzig – Realnutzung 1 : 50 000 <sup>9</sup>	1996 1998	Suche von Trainingsgebieten, Abgrenzung rekultivierter und nicht rekultivierter Tagebaubereiche
Mikrogeochoren 1 : 50 000 <sup>10</sup>	1994	Abgrenzung der naturräumlichen Einheiten, Berechnung von LSM auf Landschaftsebene
Entwicklungskonzeption Landschaft - Zeitschnitt für das Jahr 2020 – 1 : 75 000 <sup>11</sup>	2020	Untersuchungen der zukünftigen Raumplanung des Südraum Leipzig in Bezug auf die Landschaftsstrukturmaße
Vegetationskartierung Tagebau Borna Ost/Bockwitz <sup>12</sup>	1995/1996	Suche von Trainingsgebieten, vergleichende Untersuchungen zu den Fernerkundungsdaten
Vegetationskartierung Tagebau Hochhalde Trages <sup>13</sup>	1996/1997	Suche von Trainingsgebieten, vergleichende Untersuchungen zu den Fernerkundungsdaten

<sup>2</sup> Hildebrandt (1996, S. 93)

<sup>3</sup> Hildebrandt (1996, S. 93)

<sup>4</sup> Hildebrandt (1996, S. 93)

<sup>5</sup> Hildebrandt (1996, S. 93)

<sup>6</sup> Hildebrandt (1996, S. 93)

<sup>7</sup> Landesvermessungsamt Sachsen

<sup>8</sup> Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen, Radebeul 1993

<sup>9</sup> Regionaler Planungsverband Westsachsen (1996c)

<sup>10</sup> Sächsisches Staatsministerium für Umwelt- und Landesentwicklung (1997)

<sup>11</sup> Regionaler Planungsverband Westsachsen (1996b)

<sup>12</sup> Die Vegetationskartierung wurde im Zuge der Diplomarbeit von Bellmann, A. (1996) durchgeführt.

<sup>13</sup> Die Vegetationskartierung ist Bestandteil eines vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung geförderten Projektes (Z-8802.3525/7) vgl. Durka et al. (1997).

### 3 Begriffe, Definitionen, Bezugsräume und Erfassungsebenen

Im Rahmen der Anwendung von Verfahren der digitalen Satellitenbilddauswertung sowie Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen werden eine Vielzahl von Begriffen sowie unterschiedliche Bezugsräume und Erfassungsebenen verwendet, die im Vorfeld inhaltlich zu definieren sind.

Begriffe	Synonym	Definition
<b>Begriffe im Rahmen der Digitalen Bildauswertung / Fernerkundung</b>		
<i>Land-Cover-Klassen</i>	Klassen	Gruppe von thematischen Klassen in einer Klassifikation (Kraus 1988). <i>Land-Cover-Klassen</i> stellen das Ergebnis der <i>Land-Cover-Klassifikation</i> dar.
<i>Land-Cover-Klassifikation</i>	Klassifikation	Unterscheidung verschiedener <i>Land-Cover-Klassen</i> (Klassen) auf der Grundlage vorliegender Meßdaten (digitale Bilddaten), die im Regelfall mit Hilfe von Multispektral-Scannern erfaßt wurden (Albertz 1991, S. 140).
Landnutzung	Flächennutzung Biotope und Flächennutzung	<p>Unter der Landnutzung wird die „Inanspruchnahme von Grund und Boden durch die menschliche Gesellschaft“ (Bastian &amp; Schreiber 1994, S. 162) verstanden, für die auch die Begriffe Flächennutzung bzw. <i>Land-Use</i> verwendet werden können. Auf Grund der Anwendung von Satellitenbilddaten zur Erfassung thematischer Klassen in der vorliegenden Arbeit ist eine Konkretisierung des Begriffes Landnutzung erforderlich. Unter der Land- bzw. Flächennutzung im Rahmen der digitalen Bildauswertung und Fernerkundung findet der Begriff <i>Land-Cover</i> Anwendung. Die Flächennutzung wird hierbei nicht durch die Flächennutzungsarten (z.B. Industrie- und Gewerbeflächen, Sport- und Freizeitflächen, = <i>Land-Use</i> charakterisiert, sondern stellt ein digitales Abbild der Landbedeckungsoberfläche dar. Die Abgrenzung der Flächennutzung wird auf Basis von Grauwertvarianzen im digitalen Fernerkundungsbild (Satelliten- und Luftbild) bestimmt. Die Abgrenzung unterschiedlicher Flächennutzungen kann mit den Flächennutzungsarten der Landnutzung (<i>Land-Use</i>) zum Teil übereinstimmen (z.B. Grünland, Wald, Wasser)</p> <p>In dieser Arbeit bilden Satellitenbilddaten die Grundlage zur Abgrenzung der thematischen Klassen. Daher sind die Begriffe Landnutzung bzw. Flächennutzung in der vorliegenden Arbeit immer im Sinne von <i>Land-Cover</i> zu verstehen.</p> <p>Unter einem Biotop wird nach Schaefer und Tischler (1993) der „abgrenzbare Lebensraum bzw. die Lebensstätte einer spezifischen Lebensgemeinschaft (Biozönose) von Pflanzen und Tieren verstanden, die durch einheitliche Lebensbedingungen gekennzeichnet sind. Nach Bastian &amp; Schreiber (1994) besitzt jedoch „grundsätzlich jeder beliebige Raumausschnitt Biotopfunktion, soweit er von Lebewesen besiedelt werden kann“. Die Begriffe Biotope und Flächennutzung wird daher als Synonym für Landnutzung bzw. Flächennutzung in der vorliegenden Arbeit verwendet. Die Grundlage hierfür stellen wie bereits oben genannt die Klassen der <i>Land-Cover-Klassifikation</i>, erfaßt aus Satellitenbilddaten, dar.</p>



---

<b>Begriffe – Bezugs- und Erfassungsebenen</b>		
<i>Patch</i> (engl.)	Landschafts- element	Jede Einzelfläche einer thematisch abgegrenzten Klasse ( <i>Land-Cover-Klasse</i> ). Weitere Ausführungen sind dem Kap. 4.3 (S 17) zu entnehmen. In der vorliegenden Arbeit wird unterschieden zwischen: <ul style="list-style-type: none"><li>• Patches des Südraumes Leipzig (vgl. Kap. 9.1, S.81)</li><li>• Patches der Mikrogeochoren (vgl. Kap. 9.2, S. 124)</li></ul>
Klasse		Gesamtheit aller Einzelflächen ( <i>Patches</i> ) einer thematisch abgegrenzten Klasse. In der vorliegenden Arbeit wird unterschieden zwischen: <ul style="list-style-type: none"><li>• Klassen des Südraumes Leipzig (vgl. Kap. 9.1, S.81)</li><li>• Klassen der Mikrogeochoren (vgl. Kap. 9.2, S. 124)</li></ul>
Landschaft		Gesamtheit aller thematisch abgegrenzten Klassen eines Raumes. In der vorliegenden Arbeit wird unterschieden zwischen: <ul style="list-style-type: none"><li>• Landschaft des Südraumes Leipzig (vgl. Kap. 9.1, S.81)</li><li>• Landschaft der Mikrogeochoren (vgl. Kap. 9.2, S. 124)</li></ul>
Gesamtraum	Gesamt- untersuchungs- raum	Unter Gesamttraum wird der vollständige Raum der Untersuchung – Südraum Leipzig – verstanden (vgl. auch Kap. 5, S. 26)

---

## 4 Landschaftsstrukturmaße in der Landschaftsökologie

### 4.1 Definition von Landschaftsökologie und Landschaft

Die Entwicklung der Landschaftsökologie steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Diskussion um den Landschaftsbegriff (Finke 1995). Dieser greift weit zurück und wurde insbesondere durch Arbeiten von Bobek & Schmithüsen (1949), Neef (1963, 1967), Barthels (1968), Leser (1997), Forman & Godron (1986). geprägt. Innerhalb des Wissensgebietes Landschaftsphysiologie wurde die Vorstellung entwickelt, daß die Landschaft die Synthese einer Vielzahl von Einzelelementen sei. Diese Konzeption fand später in der Naturräumlichen Gliederung Eingang und gewann für die Landschaftsökologie eine zentrale Bedeutung (Finke 1994). Zunächst stand die Erfassung und Beschreibung der räumlichen Verbreitungsmuster der Ökosysteme im Vordergrund. In der Folge wurden jedoch die Begrenzungen der stark isolierten Betrachtungsweise deutlich und Fragen, wie sich Ökosysteme gegenseitig beeinflussen, wie ökologische Nachbarschaftsbeziehungen räumlich und zeitlich ablaufen, rückten stärker in den Vordergrund. Finke (1978) sah in der Erfassung des räumlichen Verteilungsmusters und des räumlich-funktionalen Zusammenwirkens der Ökosysteme die zentrale Aufgabe der Landschaftsökologie.

Im Gegensatz zu den *klassischen* Ansätzen der deutschsprachigen Landschaftsökologen wie Bobeck & Schmithüsen (1949) und Neef (1963, 1967), bildete sich in den 80er und 90er Jahren die Arbeitsrichtung der *quantitativen landscape ecology*<sup>14</sup> heraus, die insbesondere durch die nordamerikanischen Landschaftsökologen Forman & Godron (1986), Urban et al. (1987), Turner (1989), Turner & Gardner (1991a), Hansen & Castri (1992), O'Neill (1995), Hansson et al. (1995) und Wickham et al. (1997) entwickelt wurde. Die Ansätze basieren auf der Definition der Landschaftsökologie von Forman & Godron (1986), die besagt:

*„Landscape ecology explores how a heterogeneous combination of ecosystems – such as woods, meadows, marshes, corridors and villages – is structured, functions and changes. From wilderness to urban landscapes, 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.“*

Die Landschaftsökologie untersucht somit drei wesentliche Merkmale der Landschaft (Forman & Godron 1986):

- 1. Struktur** bezieht sich auf die raumbezogenen Eigenschaften von Elementen des Ökosystems bzw. deren räumliche Beziehung in der Landschaft untereinander. Durch sie wird die Verteilung von Energie, Material und Art in bezug auf die Größe, Form, Anzahl, Art und Anordnung (Konfiguration) von Ökosystemen in einer Landschaft beschrieben.
- 2. Funktion** beschreibt die bestehende Wechselwirkung zwischen den räumlichen Elementen des Ökosystems, welche sich in Austauschprozessen von Energie, Material sowie Stoffen ausdrückt.

---

<sup>14</sup> „*quantitative landscape ecology*“ versucht begrifflich die starke Dominanz der Verwendung von GIS, Fernerkundung sowie digitaler Bildverarbeitung zur Analyse räumlicher Phänomene hervorzuheben. Umgangssprachlich wird auch vielfach der Begriff „*landscape ecology*“ verwendet.



3. **Dynamik** zeigt sich in der Veränderung von Strukturen und Funktionen der Landschaftsstruktur bzw. des Landschaftsmosaiks über die Zeit.

Strukturelle Merkmale der terrestrischen Landbedeckung sind in komplexer Weise mit einer Vielzahl von Funktionen in direkter oder indirekter Weise verknüpft. Somit lassen sich durch die Gewinnung von Informationen zur Landschaftsstruktur Aussagen über den Zustand sowie die Dynamik der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig ableiten. Die Landschaft des Südraumes Leipzig befindet sich in einem Prozeß der Regenerierung zerstörter Landschaftsfunktionen. Gleichzeitig etablieren sich neue Landschaftsstrukturen, die neuartige Entwicklungs- und Prozeßabläufe im Raum ermöglichen. Anhand dieser „instabilen“ Landschaft besteht die einmalige Möglichkeit, Indikatoren der Landschaftsstruktur für ein Landschaftsmonitoring zu erfassen und deren Eignung als Meß- und Indikatorgrößen für Veränderungen zu überprüfen.

#### 4.2 Struktur der Landschaft

Um die Strukturen der Landschaft zu untersuchen, müssen diese benannt und charakterisiert werden. Der Begriff Struktur ist ein häufig verwendeter Begriff, der in seiner Handhabung oft zu Mißverständnissen führt. So bezieht sich die Struktur auf die raumbezogenen Eigenschaften von Elementen des Ökosystems bzw. deren räumliche Beziehung in der Landschaft untereinander. Durch sie wird die Verteilung von Energie, Material und Art in bezug auf die Größe, Form, Anzahl, Art und Anordnung von Ökosystemen in einer Landschaft beschrieben (Forman & Godron 1986). Die raumbezogenen Eigenschaften bzw. die hierbei existierenden räumlichen Beziehungen finden ihren Ausdruck in der *Zusammensetzung (Komposition)* und *Anordnung (Konfiguration)* der Landschaftselemente eines Ökosystems. So können sich Landschaften hinsichtlich ihrer Landschaftszusammensetzung und / oder ihrer Landschaftsanordnung unterscheiden.

Die Landschaftszusammensetzung bezieht sich hierbei auf die Anzahl, proportionale Häufigkeit sowie Vielfalt (Diversität) der Landschaftselemente innerhalb der Landschaft, wobei die konkreten räumlichen Bezüge vernachlässigt werden. Die Zusammensetzung der Landschaft kann beispielsweise durch Parameter wie dem Verhältnis der Fläche eines Elementes zur Gesamtfläche der Landschaft (*Largest patch index, LPI*) bzw. der Anzahl vorkommender Elemente unterschiedlichen Types innerhalb eines normierten Landschaftsausschnittes (*Patch richness density, PRD*) beschrieben werden.

Die Anordnung der Landschaftselemente, Landschaftsanordnung oder *Konfiguration*, umfaßt alle raumbezogenen Eigenschaften und beschreibt vorrangig die räumliche Lage sowie die räumliche Verteilung der Elemente innerhalb einer Landschaft. In der vorliegenden Arbeit sind beispielsweise konkrete Nachbarschaftsbeziehungen, Abstände von Elementen untereinander (*Nearest neighbour distance, NEAR*) bzw. die Ausrichtung von Grenzen zueinander (*Interspersion and Juxtaposition index, IJI*) zur Beschreibung der Landschaftskonfiguration bedeutsam.

Die Zusammensetzung sowie Anordnung der Landschaftselemente (Landschaftselementstruktur), der Biotope (Biotopstruktur) sowie der gesamten Landschaft (Landschaftsstruktur, Landschaftsmuster, Landschaftsgefüge) stellen nach Forman & Godron (1986) wichtige Schlüsselaspekte der Landschaftsökologie dar.



Für den Südraum Leipzig werden über die Quantifizierung unterschiedlicher Strukturmerkmale die verschiedenen Eigenschaften der Strukturen erfaßt bzw. konkretisiert und somit in ihren Eigenschaften und der Veränderung bewertbar gemacht.

### 4.3 Raumeinheiten

Das Ökosystem bzw. die Landschaft selbst ist sehr komplexer Natur. Daher ergibt sich die Notwendigkeit der Zerlegung des Landschaftsökosystems in handhabbare, methodisch bearbeitbare Teilsysteme (Leser 1991). Nach Paffen (1950, S. 16) sollte die landschaftliche Raumgliederung „vom Kleinen zum Großen fortschreiten, indem wir von den Bausteinen ausgehen und ähnlich wie bei einem Bauwerk durch Zusammenfügen zu immer größeren Einheiten gelangen.“ Die Akzeptanz und Anwendung der *Hierarchie der Landschaftsökosysteme* integrierte somit die Frage nach der *Hierarchie der zu untersuchenden Raumeinheiten*. Was sind die kleinsten Bausteine bzw. die kleinsten Raumeinheiten? Als entscheidend für die Abgrenzung der kleinsten Raumeinheiten erwies sich das Homogenitätskriterium. Als homogen kann nach Neef (1964, S. 1) ein geographisches Areal betrachtet werden, „wenn es die gleiche Struktur und das gleiche Wirkungsgefüge und deswegen einen einheitlichen Stoffhaushalt – mithin gleiche ökologische Verhaltensweisen zeigt.“ Die Vielzahl der bisher diskutierten Begriffe wie *Landschaftszelle* (Paffen 1953), *Fliese* (Schmithüsen 1948), *Physiotop* (Richter 1965, Herz 1974) sowie *Ökotope* (Neef 1963) für die kleinste homogene Raumeinheit zeigt, daß die praktische Umsetzung und die Handhabung des Begriffs Homogenität sehr unterschiedlich angewendet wird und daher einer Begriffsbestimmung bedarf.

In der vorliegenden Arbeit wird das kleinste als weitgehend homogen betrachtete Einzelelement der Landschaft als *Landschaftselement* (*landscape element*) oder *Patch* bezeichnet (Forman & Godron 1986, Wiens 1989, McGarigal & Marks 1994). *Patches* stellen diskrete Bereiche (Funktionsbereiche) mit eigenständigen Merkmalen wie Größe, Umfang und Form dar, die in Abhängigkeit vom Erfassungs- und Beobachtungsmaßstab qualitativ beschrieben werden.

Für die vorliegende Untersuchung wird ein *Patch* durch die zusammenhängenden Pixel jeweils einer *Land-Cover-Klasse* des klassifizierten Satellitenbildes (vgl. Abb. 3, S. 18) bzw. eines Biotoptyps und einer Flächennutzungsklasse der Biotoptypenkartierung gebildet. Die Gesamtanzahl der *Patches*, die vom gleichen Typ sind, bilden eine Klasse (*Patches*, Landschaftselemente  $\in$ <sup>15</sup> Klasse  $\in$  Landschaft). So repräsentieren im Untersuchungsraum die *Patches* u. a. zusammenhängende Gehölze, Laubwald, Wasserflächen bzw. Vegetationsloses Offenland (Tagebau) aber auch rein anthropogene Landnutzungsformen wie Bebauung bzw. das Verkehrsnetz. Durch die Wahl eines einheitlichen Maßstabes bzw. der gleichen Rasterzellgröße der zur Auswertung kommenden Bilddaten variieren die *Patches* nicht in Abhängigkeit von den genannten Größen.

Landschaften setzen sich nach Urban et al. (1987) aus einem Muster aus *Patches* zusammen. So entscheiden die Merkmale bzw. die räumlichen Lagebeziehungen von *Patches* mit gleichen Merkmalen untereinander (Entfernung, Lage zueinander) und die qualitativen Nachbarschaftsbeziehungen über die Komposition sowie Konfiguration der Landschaft.

---

<sup>15</sup> Element von ....



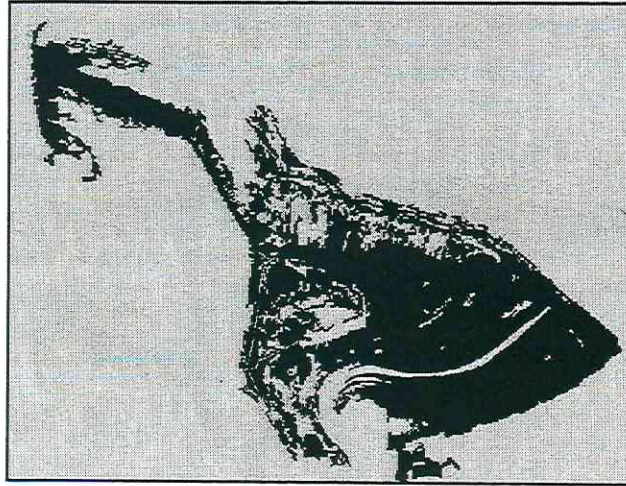


Abb. 3: Darstellung der kleinsten als homogen betrachteten Raumeinheit - *Landschaftselement* oder *Patch* – quantifiziert aus SPOT-XS-Daten (Rasterdaten)

#### 4.4 Landschaftsstrukturmaße

Durch die von Forman & Godron (1986) gegebene begriffliche und theoretische Basis der Landschaftsökologie wurde ein wichtiger Grundstein zum Verständnis der Zusammenhänge von Landschaftsstruktur, Landschaftsfunktion und deren Dynamik gelegt. Die Einsicht, daß *Umweltprobleme* nichts anderes „als das Resultat gestörter Wechselbeziehungen zwischen Prozessen und Strukturen sind“ (Tischendorf 1995, S. 3) zeigt, daß zur Ableitung notwendiger Handlungsstrategien bzw. im Sinne einer Umweltvorsorge ein landschaftsbezogener Ansatz notwendig ist, mit dessen Hilfe Landschaftsstrukturen, Funktionen und deren Dynamik quantitativ bestimmt werden können.

Zur Kennzeichnung der Landschaftsstruktur erweisen sich hierbei die Ansätze der Landschaftsökologen Forman & Godron (1986), Turner (1989), Turner & Gardner (1991a, 1991b) zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen (LSM, *landscape metrics*, *landscape indicators*, *landscape indices*) als zielführend. LSM können als Indikatoren gelten, durch die das Muster, die Zusammensetzung bzw. Komposition und Konfiguration der Landschaft analysiert, beschrieben und quantifiziert werden (vgl. Abb. 4, S. 19).



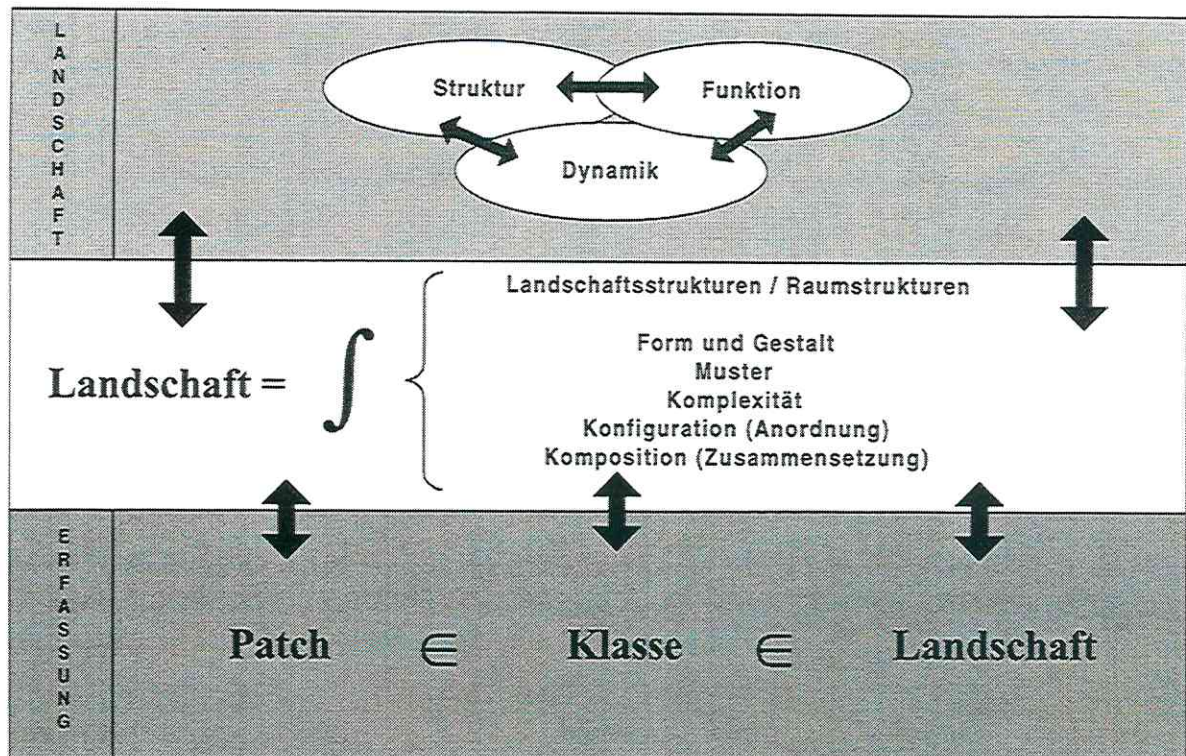


Abb. 4: Grundcharakteristika der Landschaft nach der Landschaftsdefinition von Forman & Godron (1986) und ihre Erfassung mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen

Aus zahlreichen Arbeiten wird die Bedeutung von Landschaftsstrukturmaßen für landschaftsökologische Fragestellungen ersichtlich. Der Tab. 3 (S. 20) ist zu entnehmen, daß die Forschungsschwerpunkte zum Einsatz von LSM insbesondere in der Populationsökologie zu finden sind.

Dabei stehen insbesondere Fragen zur Isolation, Zerschneidung und Vernetzung von Habitaten, Isolation, Flächenbedarf, Biotopqualität, dem notwendigen Flächenbedarf, Ökotontheorie, Korridore sowie Barrieren im Vordergrund. In jüngster Zeit wurde verstärkt erkannt, daß ein wirksamer Populationsschutz nur über den Wandel des Leitbildes im Naturschutz einerseits sowie andererseits der Integration eines flächenbezogenen und landschaftsstruktur erfassenden Ansatzes erreicht werden kann (vgl. Durka et al. 1996, Altmöös 1999). Arbeiten von Tischendorf (1995), Kuhn (1997) und Samietz (1998) bestätigen, daß Populationsmodellierungen *nur unter Berücksichtigung der Landschaftsstruktur* zu einem richtigen Verständnis ablaufender Prozesse führen.

Das Erscheinungsbild der Landschaft wird einerseits durch seine „natürliche Ausstattung und deren Wirkungskomplex sowie andererseits durch die gesellschaftliche Inanspruchnahme ..... in der Art und Weise der Flächennutzung bzw. –beanspruchung“ geprägt (Bastian & Schreiber 1994, S. 170). So zeigt sich die Inanspruchnahme von Ökosystemen durch den Menschen in der *Schaffung* von Landschaftsstrukturen aus einem Mosaik natürlicher und anthropogen geprägter Landschaftselemente, die in Abhängigkeit des Types sowie der Intensität und Dauer des anthropogenen Einflusses in ihrer Größe, Form und der Anordnung variieren (Burgess & Sharpe 1981, Forman & Godron 1986, Urban et al. 1987, O’Neill et al. 1988, Turner & Ruscher 1988, Bastian & Schreiber 1994). Die dabei entstehenden Veränderungen werden „oft rein



gesellschaftlich adäquaten Werten untergeordnet. Dies drückt sich z.B. in der Linearität landschaftsverändernder Maßnahmen (Ackerschläge, Flußbegradigungen, Straßen, Korridore...) aus, welche als Spiegel des unermüdlichen Strebens nach mehr Effizienz gedeutet werden müssen“ (Tischendorf 1996, S. 4). So konnten Krummel et al. (1987), O’Neill et al. (1988), Turner (1990) durch die Analyse der Formkomplexität (*SHAPE, Fraktalität*) zeigen, daß anthropogen beeinflusste Landschaften einfachere Muster gegenüber natürlichen Landschaften aufweisen. Krummel et al. (1987) sowie Wickham & Norton (1994) ermittelten zwischen dem Landschaftsstrukturmaß *Fractal dimension (FD)* und dem Anteil der anthropogenen Landnutzung einen eindeutigen Zusammenhang.

Tab. 3: Forschungsschwerpunkte zum Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen

Schwerpunktt Themen	Referenz / Beispiele
Landschaftsmuster als Klassifikationsalgorithmus für Satellitenbilddaten	Lam (1990), Lam & Quattrochi (1992)
Quantitative Zustandsbeschreibung und -bewertung von Landschaften, Landschaftsausschnitten, Flächen	Gustafson & Parker (1992), Wickham & Norton (1994), Menz (1997), Lioubimtseva (1998), Koch & v. Werder (1998), von Werder (1999)
Landschaftsmonitoring	Kienast (1993), Luque et al. (1994), Simpson et al. (1994), Thibault & Zipperer (1994), Hulshoff (1995), Medley et al. (1995), Ruuska & Helenius (1996), Maekawa & Nakagoshi (1997), Poudevigne & Alard (1997), Zheng et al. (1997), Burnside et al. (1998), Palang et al. (1998)
Landschaftsbewertung, Landschaftszerschneidung, Hemerobie <sup>16</sup> , Umweltqualität	Ripple et al. (1991), Li et al. (1992), Wallin et al. (1994), Hoffmann-Kroll et al. (1998), Steinhardt et al. (1998a, 1998b)
Untersuchungen zur Diversität (Biotop-u. Landschaftsdiversität)	Hoover & Parker (1991), Nielsen & Haeusler (1998)
Beziehungen zwischen Landschaftsstruktur und Landschaftsfunktion (Erholungsfunktion, Erosion, Klima, nachhaltige Landnutzung, Grundwasserneubildung, Stoffeinträge in Fließgewässer)	Gardner & O’Neill(1991), Wrbka (1998), Zhang et al. (1998)
Populationsökologische, vegetationskundliche Untersuchungen (Isolation, Zerschneidung, Vernetzung, Flächenbedarf, Ökotope, Korridore, Barrieren, Habitatqualität, kritischer Habitatanteil, Habitatdiversität)	Settele et al. (1996), Cale & Hobbs (1994), Short & Turner (1994), Blaschke (1997), Jonson & Fahrig (1997), Kuhn, W. (1997), Miller et al. (1997), Verboom & Huitema (1997), Wickham et al. (1997), Mörtberg (1998), Pino et al. (1998), Samietz (1998), Tischendorf (1995), Gardner et al. (1993)

<sup>16</sup> Hemerobie nach Jalas (1955), verändert durch Blume & Sukopp (1976), beschreibt den Grad des menschlichen Einflusses auf die Landschaft durch die Einteilung in sogenannte Hemerobiestufen.

Turner & Ruscher (1988) und Menz (1997) weisen darauf hin, daß mit Hilfe quantitativer Maße ein Vergleich unterschiedlicher Landschaften hinsichtlich ihrer Funktionalität möglich ist, die sich, bedingt durch dominante Nutzungsstrukturen, in den Landschaftsstrukturen widerspiegeln. O'Neill et al. (1988) formulierte die Vision, ausschließlich anhand der Informationen über die Landschaftsstruktur Aussagen zum Zustand der Landschaft machen zu können.

Die Ausmaße des menschlichen Einwirkens auf räumliche Strukturen und Muster sind nach Plachter (1991) und Fiedler et al. (1996) so durchgreifend, daß der Flächennutzung eine Indikatorfunktion zur Kennzeichnung und Wertung des gesellschaftlichen Einflusses zukommt (Schönfelder 1984). Die mit der Flächennutzung erfaßten Merkmalskombinationen als Ausdruck eines rezenten oder ehemaligen Wirkungsgefüges bieten die Möglichkeit, auf ablaufende Prozesse und Funktionszustände zu schließen, ohne diese selbst flächenhaft zu untersuchen (Symader 1980).

#### **4.5 Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen im Landschaftsmonitoring**

Obwohl das globale Ökosystem über ein enormes Regenerationspotential verfügt, zeigen sich zunehmend Degradationen, die sich nicht mehr nur punktuell auswirken, sondern sowohl regionale als auch globale Ausmaße annehmen (Izrael 1990, SRU 1992, Bastian & Bernhardt 1993, Bastian & Schreiber 1994, SRU 1996, Schröder 1998a, Syrbe et al. 1998, Schönwiese 1993, Enquete-Kommission 1995, Haber 1996). Die verminderte Fähigkeit, Umweltveränderungen rechtzeitig wahrzunehmen und steuernd eingreifen zu können zeigt die Notwendigkeit, ein System der Beobachtung, Kontrolle und Bewertung des Zustandes der Umwelt zu etablieren, um die Zustandsveränderungen erfaßbar, quantifizierbar und bewertbar zu machen.

Landschaftsmonitoring, verstanden als ein System von Beobachtungen, das Veränderungen im Zustand der Landschaft unter der Einwirkung menschlichen Handelns erkennen läßt, bezieht sich auf Landschaftskomponenten wie Vegetationsdecke, Bodendecke, Flächennutzung sowie Landschaftsstruktur und umfaßt die

- Beobachtung und Bewertung von Faktoren, die einen Einfluß auf die Landschaft und ihren Zustand haben,
- die Einschätzung und Bewertung der einwirkenden Faktoren sowie
- die Prognose und Abschätzung der Entwicklung des Zustandes der Landschaft (Bastian & Schreiber 1994, Zierdt 1997).

Bisherige Beobachtungssysteme (Erfassung von Waldschäden, Luftqualität, Bodendauerbeobachtungsflächen) zeigen jedoch, daß zur Erhaltung von Landschaftsfunktionen, Ressourcen sowie wichtigen Habitaten ein nicht nur punktuelles und sektorales sondern integratives, räumlich orientiertes Landschaftsmonitoring erforderlich ist. Es muß die Erfassung der landschaftlichen Eigenarten, des landschaftlichen Gefüges, wesentliche landschaftliche Funktionen beinhalten und Aussagen zu Nutzungsänderungen, Zerschneidung, Zersiedelung, Änderungen im räumlichen Gefüge der Landschaft (natürliche, nicht natürliche) sowie dem Habitatverlust ermöglichen.

Spektral und geometrisch hochauflösende Sensoren bieten die Möglichkeit, in relativ kurzen Zeitabständen detaillierte Klassifikationen der Landoberflächenbedeckung eines Raumes



durchzuführen. Zahlreiche Arbeiten weisen auf die Bedeutung des Einsatzes von Satellitenbilddaten im Landschaftsmonitoring hin (Burger 1992, Backhaus 1995, Schmidt 1995, Hildebrandt 1996, Baruth 1998, Birger et al. 1998, Heinz 1999, Lausch 1999a, Herzog & Lausch 1999, Lausch & Herzog 1999 u.v.a.). Die hierbei gewonnenen Erfahrungen in der methodischen Handhabung der Daten werden jedoch nur partiell ausgenutzt, wenn die vorliegende Information allein für rein statistische Aussagen zur Flächennutzungsverteilung Verwendung findet.

In unterschiedlichen Großprojekten der *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, den Projekten *Environmental Monitoring and Assessment Program's Landscape Components (EMAP-L)* (Hunsaker et al. 1994), das *North American Landscape Characterisation Project (NALC)* und das *Landscape Analysis and Assessment Project (LAA)* mit dem Teilprojekt *Mid-Atlantic Landscape Indicators Project* (EPA 1996) wird ein inhaltlich als auch methodisch neuartiger Weg der Durchführung des Landschaftsmonitorings beschritten. Unter Einsatz der Fernerkundung und Geoinformation erfolgt die Entwicklung und Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen zur flächendeckenden, kontinentalweiten Charakterisierung von Landschaften sowie der Erfassung der Dynamik von Umweltveränderungen.

Die Analyse und Auswertung von raum- und strukturprägenden Merkmalen der Landschaftselemente (*Patches*), Landschaftselementklassen, Landschaftsräume bzw. der gesamten Landschaft bilden bereits jetzt in zahlreichen Arbeiten eine wichtige Grundlage zum Landschaftsmonitoring (vgl. Poudevigne & Alard 1997; Zheng et al. 1997; Burnside et al. 1998; Palang et al. 1998). So sind über die Erfassung der Landschaftsstruktur Aussagen zum Ist- Zustand und der Veränderung von Landschaftselementen, Biotopen bzw. der Landschaft möglich. Dazu werden geeignete Indikatoren benötigt, mit deren Hilfe Veränderungen der Raumstrukturen der Landschaft erfaßt werden können.

Beim Landschaftsmonitoring werden Landschaftsstrukturmaße seit Anfang der 90er Jahre auf verschiedenen Maßstabsebenen eingesetzt. Als Ausgangsdaten werden Topographische Karten (Hulshoff 1995, Herzog et al. 1999a, 1999b), Luftbilddaten (Kienast 1993, Simpson et al. 1994, Thibault & Zipperer 1994, Medley et al. 1995, Ruuska und Helenius 1996, Maekawa und Nakagoshi 1997, Poudevigne & Alard 1997, Burnside et al. 1998, Dramstad et al. 1998, Olmos & De Lucio 1998, Palang et al. 1998) sowie Satellitenbilder (Lam & Quattichi 1992, Gulinck et al. 1993, Haines-Young & Bunce 1994, Luque et al. 1994, Zheng et al. 1997, Pino et al. 1998, Lioubimtseva 1998, Lausch 1999b) eingesetzt. So stellt die Analyse historischer Muster die Basis für den Vergleich jetziger sowie zukünftiger Landschaftsstrukturen dar und ermöglicht durch die Analyse der Veränderungen des Musters Aussagen zur Dynamik der Landschaft (Franklin & Forman 1987, Herzog et al. 1999a, 1999b, Lausch 1999c, Lausch et al. 1999). Untersuchungen von Hulshoff (1995), Riitters et al. (1995) Lawrence & Ripple (1996) sowie Wickham et al. (1997) zeigen, daß sich besonders die Flächenmaße für die Charakterisierung und Beschreibung der Landschaftsstruktur eignen, wohingegen andere Landschaftsstrukturmaße (Formmaße, Kantenmaße), quantifiziert aus Rasterdaten, eine eindeutige Abhängigkeit von der verwendeten Berechnungsgrundlage zeigen. Haines-Young & Chopping (1996) untersuchten in einer Studie die Sensitivität von Landschaftsstrukturmaßen gegenüber Veränderungen der Landschaftsstruktur in einem Zeitraum von 50 Jahren. Sie konnten zeigen, daß fraktale Formindizes keine Änderungen aufweisen, wohingegen Flächenmaße die Dynamik der Flächen eindeutig wiedergaben.

Sehr häufig werden LSM benutzt, die den Rand (*edge*) und die Form (*shape*) von *Patches* oder die Vielfalt (*diversity*) einer Landschaft messen. Ebenfalls weit verbreitet sind Maße für Anzahl und



Fläche der *Patches*, während Kennzahlen für ihre Anordnung (*contagion*) eher selten angewendet werden. Der Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen zur Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen und deren Dynamik erfordert einerseits das Wissen ihrer methodischen Handhabungen sowie andererseits die Kenntnis ihrer inhaltlichen Anwendung.

Wichtige methodische Ergebnisse zum Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen im klassifizierten Satellitenbild lieferten die Arbeiten von Zenkuhi (1995) Wickham et al. (1997), Gustafson & Parker (1992), Gasper (1997), Menz (1997), Rami (1997), Herzog et al. (1999a, 1999b), Lausch (1999a, 1999b, 1999c), Lausch & Menz (1999), Lausch et al. (1999). So wurden in der Arbeit von Zhenkui (1995) alle *Patches* mit einer Flächengröße von  $< 1$  ha eliminiert, um einerseits den sogenannten *salt and pepper* Effekt aus Fernerkundungsdaten zu beseitigen. Forman & Godron (1986) geben desweiteren den Hinweis, daß *Patches* mit einer nur geringen Größe (3-4 Pixel) bereits von sich aus geringe Werte der Formkomplexität (*SHAPE*) aufweisen, da sie einem Quadrat sehr ähnlich sind. In Arbeiten von Ritters et al. (1995) sowie Wickham et al. (1997) wurde der Einfluß von Fehlklassifikationen auf die Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen aus Fernerkundungsdaten untersucht. Er konnte anhand eines *error simulation model* zeigen, daß sich der Einfluß von Klassifikationsfehlern auf die Quantifizierung der Landschaftsstrukturmaße - *Average patch compaction (APC)*, *Contagion (C)*, *Fractal dimension (FD)*, *Index of landscape pattern (I<sub>LP</sub>)* unterschiedlich auswirkt. So ergaben sich bei einem Klassifikationsfehler von 12 % bei den Landschaftsstrukturmaßen *APC*, *FD*, *I<sub>LP</sub>* nur Abweichungen von 6 %, wohingegen der *contagion (C)* viel sensitiver in der Werteabweichung reagierte. In seinen Untersuchungen kommt er zu dem Ergebnis, daß die auftretenden Klassifikationsfehler in der Auswertung von Satellitenbilddaten mit einer prozentual gleich hohen Abweichung der Landschaftsstrukturmaße korrelieren.

Vielfältig werden in den Untersuchungen unterschiedlicher Satellitenbilddaten hinsichtlich der raumstrukturellen Charakteristik *binäre Masken* der Klassen eingesetzt (Gustafson & Parker 1992, Gasper 1997, Menz 1997, Rami 1997). Dies bringt die Möglichkeit, Störungen durch andere nicht spektral gut erfaßbaren Klassen zu eliminieren sowie eine bessere Vergleichbarkeit hinsichtlich unterschiedlicher Satellitenbilddaten zu gewährleisten. Als ungünstig erweist es sich jedoch, daß nur Landschaftsstrukturmaße in die Betrachtung einbezogen werden können, die insbesondere Aussagen zur Landschaftsanordnung (Komposition) zulassen. So ist für die Erfassung unterschiedlicher Diversitätsmaße (*Shannon's diversity index*, *Simpson's diversity index*, *Patch richness density*, *Interspersion and Juxtaposition index*) die Einbeziehung aller Klassen des Raumes erforderlich.

Landschaften stellen a priori räumlich heterogene Gebiete dar, deren Raumstrukturen, Funktionen und die ablaufenden Prozesse skalenabhängig sind. So konnte in zahlreichen Untersuchungen der Beweis erbracht werden, daß räumliche Landschaftsmuster eine Abhängigkeit von der jeweils untersuchten Skalenebene zeigen. Dies wurde durch Berechnungen von LSM mit unterschiedlichen Rasterzellauflösungen erreicht (Gardner et al. 1987, Turner et al. 1989, Turner 1990, O'Neill et al. 1991, Turner & Gardner 1991a 1991b, Moody & Woodcock 1995, O'Neill 1995, Wickham et al. 1995, Wickham & Tiiters 1995, Gasper 1997, Kuhn 1997, Rami 1997, Whickham et al. 1997, Lausch 1999a). Die Ergebnisse dieser Arbeiten dokumentieren, daß beim Einsatz geometrisch unterschiedlicher Satellitenbilddaten zur Erfassung landschaftsstruktureller Indikatoren Veränderungen von Form- Kanten- und Flächenmaßen erfaßt wurden, wohingegen Maße der Diversität keine nennenswerten Änderungen zeigten.



Die Analyse der Tagebaulandschaft, ihre Sensibilität und Belastung sowie die Dynamik müssen räumlich korrekt erfaßt werden, um die damit verbundenen Informationen in die laufenden Planungs- und Entscheidungsprozesse mit einbeziehen zu können bzw. wissensbasierte Grundlagen für die Bewertung und Vorsorge bereitstellen zu können. Eine wichtige Grundlage bildet hierbei die Erfassung des Ist-Zustandes sowie der Dynamik in Gefüge und Zusammensetzung der Tagebaulandschaft. Dies kann auf der Basis der Anwendung multitemporaler Fernerkundungsdaten unterschiedlicher räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung erfolgen, mit denen eine Beobachtung natürlicher und anthropogen geprägter Landschaftsmuster in Bergbaufolgelandschaften flächenhaft durchführbar ist.

Der Einsatz von Methoden der Fernerkundung in Tagebaulandschaften stellt an sich keinen neuen methodischen Aspekt dar. So wurde durch die rasante Zunahme des großflächigen Kohleabbaus und der damit einhergehenden Landschaftsveränderungen die Bedeutung der großflächigen und detaillierten Erfassung bzw. Beobachtung der Tagebaulandschaften bereits relativ frühzeitig erkannt (Coker 1977, Mamula 1978). Desweiteren war eine methodische Handreichung erforderlich, die über die punktuell möglichen Kartierungen hinaus Aussagen zur Landschaft des Raumes ermöglicht bzw. der Überwachung und Kontrolle laufender Rekultivierungen dient.

Aufgrund der großen zeitlichen und räumlichen Dynamik der Tagebaulandschaften erkannte man bereits in den 60er und 70er Jahren die Bedeutung der Fernerkundung. So führten Mamula (1978), Halverson (1988) detaillierte Untersuchungen der Tagebaulandschaft unter Einsatz von Luftbilddaten durch. In den 80er Jahren wurden mit Beginn der Operationalisierung von Satelliten (Landsat-TM) diese zur großflächigen und kostengünstigeren Beobachtung von Bergbaugebieten eingesetzt (Coker 1977, Carrel 1978, Barr 1982, Legg 1990, Collins 1991, Marek 1992, Vaughan 1993). Hauptaugenmerk der Untersuchungen war neben einer gesamt-räumlichen Erfassung der Tagebaugebiete die Untersuchung und Kontrolle der ablaufenden Rekultivierungsmaßnahmen. Unter Einsatz von Luft- und Satellitenbilddaten wurden durch Barr (1982) und Kenny (1982) Aussagen bezüglich bergbaulich bedingter Veränderungen des Bodens wie Erosions- und Senkungserscheinungen gemacht. Oberg (1990), Dunker (1991), Jung (1995), Schmidt (1995), Weichelt et al. (1996) und Birger et al. (1998) Pilarski & Oppitz (1998) sowie Schmidt (1995) legten den Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Analyse und Erfassung unterschiedlicher Sukzessionsstadien sowie vegetationskundlicher Veränderungen der Tagebaulandschaft. So konnten Schmidt (1995), Weichelt et al. (1996), sowie Pilarski & Oppitz (1998) unter Einsatz unterschiedlicher Sensoren wie Landsat-TM, SPOT-XS, KFA 1000 unterschiedliche Vegetationszusammensetzungen erfassen bzw. Analysen zum Alter der Bestände durchführen.

Der Einsatz von Satellitenbilddaten sowie von Zusatzinformationen wurde von Oberg (1992) für ein Landschaftsmonitoring von bergbaulich beeinflussten Gebieten durchgeführt. Gegenstand der Untersuchung war die raum-zeitliche Dynamik der Tagebaulandschaft, die unter Einsatz von Landsat-TM und SPOT-XS-Daten sowie von zusätzlichen Geodaten erfaßt wurde.

Die politischen und wirtschaftlichen Veränderungen in den neuen Bundesländern führten zu einer abrupten Stilllegung eines Großteils der bis 1990 noch aktiven Tagebaue (Berkner 1998). Dies erfordert die Konzeption, Durchführung und Überwachung von Maßnahmen land- und forstwirtschaftlicher Rekultivierungen. Desweiteren besteht die große Chance, in der noch relativ *unverplanten* Landschaft, Strategien des Naturschutzes („Pfleger und Prozeßschutz“) umzusetzen. Die hohe Dynamik ablaufender Veränderungen und Prozesse erfordern und ermöglichen zugleich die Durchführung eines Landschaftsmonitoring.

Mit der vorliegenden Arbeit werden traditionell bewährte Methoden des Landschaftsmonitorings mit neuen methodischen Ansätzen verknüpft. Es werden erstmalig die Ansätze der Untersuchung von Biotop- und Landschaftsstrukturen unter Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen in einer stark dynamischen Tagebaulandschaft eingesetzt. Es sollen Indikatoren gefunden werden, die in geeigneter Weise als Anzeiger der Veränderungen der Tagebaulandschaft gelten. Hierbei wird auf unterschiedlichen Maßstabsebenen die Analyse der Biotop- und Landschaftsstruktur durchgeführt.



## 5 Bergbaulandschaft Südraum Leipzig

### 5.1 Naturraum sowie raumstrukturelle Charakteristika

Für die vorliegende Untersuchung wird unter „Südraum Leipzig“ die Region zwischen Leipzig, Otterwisch, Frohburg und Pegau verstanden. Der gesamte Raum liegt in Sachsen und reicht im Süden und Südwesten an die thüringische Landesgrenze (vgl. Abb. 5<sup>17</sup>, S. 27, Abb. 6, S. 33).

Der „Südraum Leipzig“ unterliegt sehr ähnlichen naturräumlichen, historischen und gesellschaftspolitischen Bedingungen und ist ein inzwischen eingeführter Regionsbegriff (Hönsch 1992, Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996, Ring 1997).

Die Begriffe Bergbaulandschaft, Bergbaufolgelandschaft sowie Tagebaulandschaft werden in der vorliegenden Arbeit als Synonym für den Regionsbegriff Südraum Leipzig verwendet. Für die Begriffe Bergbau- und Bergbaufolgelandschaft werden unterschiedliche räumliche Abgrenzungen verwendet. Während die Sanierungsgesellschaft (LMBV 1996) nur die sanierten, gestalteten und rekultivierten ehemaligen Bergbaugebiete als Bergbaufolgelandschaft bezeichnet, verstehen Schmidt (1995), Regionaler Planungsverband Westsachsen (1996), Durka & Altmooß (1997a) sowie Altmooß (1999), darunter die gesamte verritzte bzw. Ring (1997) und Lausch (1999a, 1999b) die verritzten und unverritzten Bereiche der Landschaft des Südraumes Leipzig. Eine klare Abgrenzung und Definition ist daher dringend erforderlich.

In Deutschland entstanden während der letzten einhundert Jahre insgesamt zehn Braunkohlebezirke. Eines davon ist das Bornaer Braunkohlenbergbaugebiet, nach Barthel (1960) auch als Borna-Meuselwitzer Braunkohlenrevier bzw. nach Brüning et al. (1965) als Leipzig-Bornaer Braunkohlenrevier bezeichnet, zu dem der Südraum Leipzig mit einer Gebietsfläche von ca. 700 km<sup>2</sup> gehört. Nach Berkner (1996) nehmen die Tagebaue hierbei eine Gebietsfläche von ca. 200 km<sup>2</sup> ein.

Das Bornaer Bergbaugebiet gehört nach der naturräumlichen Gliederung (Meynen & Schmithüsen 1961) überwiegend zum Leipziger Land, nur die Bergbaubereiche südlich von Borna reichen in das Altenburg - Zeitzer Lößgebiet. Nach Haase (1988) und Richter (1995) nimmt das Leipziger Land den südöstlichen Bereich der wesentlich größeren und naturräumlich vielgestaltigeren Leipziger Tieflandsbucht ein. Südlich folgt das Altenburg-Zeitzer Lößhügelland.

Das Leipziger Land war slawisches Altsiedelgebiet, dessen aufgelockerte Walddecke vom Mittelalter bis zur Gegenwart immer weiter reduziert wurde. Die Bezeichnung Land verweist auf die überwiegende landwirtschaftliche Bodennutzung. Die ursprünglich vorliegende Vegetation des winterlindenreichen Eichen-Hainbuchen-Mischwaldes (Neef 1960) der Region hat sich flächenhaft als auch pflanzensoziologisch stark geändert. So nehmen nach Haase (1988) Gehölze und Wälder nur noch einen Flächenanteil von 6 % ein.

Der Südraum Leipzig ist relativ reliefarm und steigt vom südlichen Rand der Stadt Leipzig (110 m ü NN) bis in den Raum Borna (160 m ü NN) nur geringfügig an. So umfaßt der Gesamthöhenunterschied auf ca. 45 km Entfernung nur 130 m (Berkner 1998).

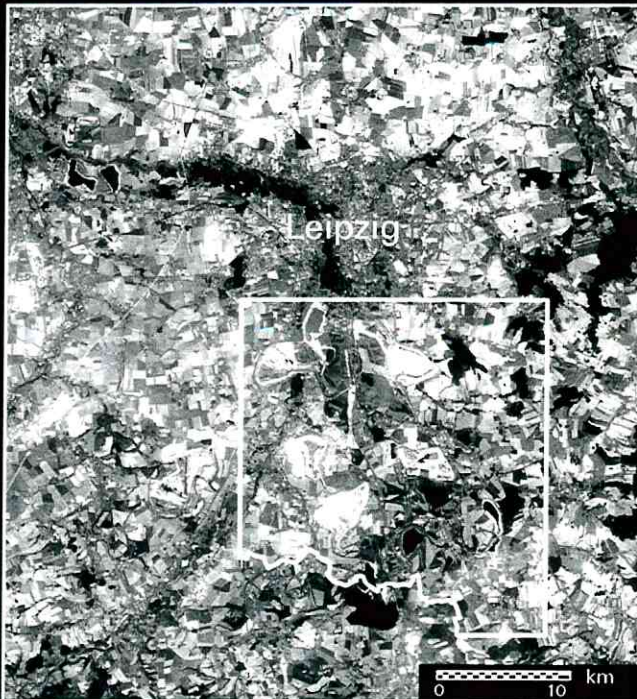
---

<sup>17</sup> Nächste Seite – Abb. 5: Untersuchungsräume der vorliegenden Arbeit



# Untersuchungsräume

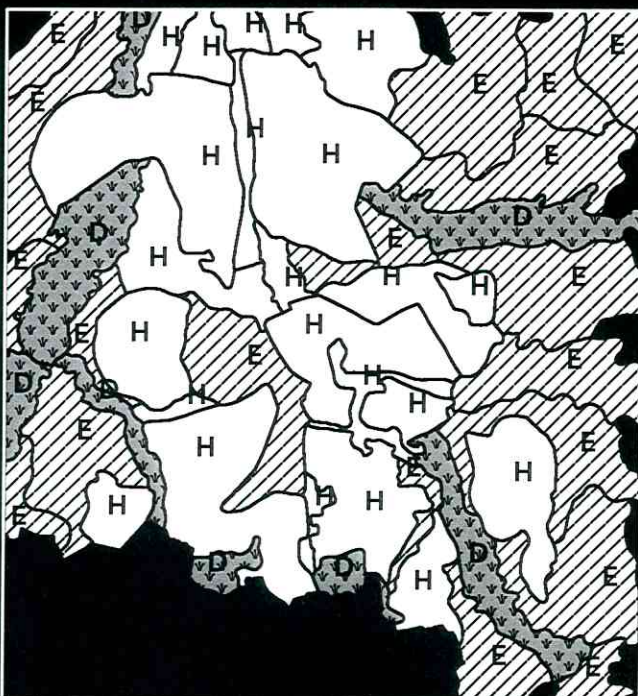
## Untersuchungsgebiet - Südraum Leipzig -



## Naturräumliche Einheiten - Mikrogeochoren



## Typenhauptgruppen der Mikrogeochoren



## Typenhauptgruppen der Mikrogeochoren

D = Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland

E = Naturraumtypen auf Lockergestein im Hügelland

H = Mosaik in technogen veränderten oder neu geschaffenen Naturräumen

## Datengrundlagen:

IRS-1C/LISS 13.08.1997, Kanal 1  
 Spot-PAN 16.05.1994, Kantenfilterung - 3x3 Edge Enhance,  
 Mikrogeochoren Sächsische Akademie der Wissenschaften,  
 im Auftrag des Staatsministerium f. Umwelt und  
 Landesentwicklung Sachsen

- |   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|
| 1 Rehbacher Moränen-Platte                    | 14 Tagebau Zwenkau                | 27 Lippendorf-Neukientzcher Moränen-Ebene    | 40 Borna-Frohburger Wyhra-Tal                   |
| 2 Knautnaundorfer Schotter-Moränen-Ebene      | 15 Belgershainer Moränen-Platte   | 28 Alltagebau Witznitz                       | 41 Pautzcher Löß-Hügelgebiet                    |
| 3 Knautkleeberger Elster-Aue                  | 16 Zwenkau-Böhlener Moränen-Ebene | 29 Euler Flachriedel und Täler               | 42 Bornaer Kohlepfeiler                         |
| 4 Alltagebau Cospuden                         | 17 Zwenkauer Elster-Aue           | 30 Großzössener Kohlepfeiler                 | 43 Alltagebau Groitzscher Dreieck               |
| 5 Zöbiger Moränen-Platte                      | 18 Göselbach-Rinne                | 31 Pegauer Elster-Aue                        | 44 Deutzener Kohlepfeiler                       |
| 6 Markkleeberger Pleiße-Aue                   | 19 Röthaer Moränen-Ebene          | 32 Schnauder-Tal                             | 45 Neukirchen-Nenkersdorfer Moränen-Hügelgebiet |
| 7 Leipzig-Lößniger Talhang                    | 20 Röthaer Pleiße-Aue             | 33 Groitzscher Löß-Hügelgebiet               | 46 Kohrener Löß-Hügelgebiet                     |
| 8 Stötteritz-Liebertwolkwitzer Moränen-Platte | 21 Stockheimer Moränen-Platte     | 34 Alltagebau Großzössen                     | 47 Alltagebaue Neukirchen-Thräna-Kraft          |
| 9 Oberholz-Großpösnaer Moränen-Platte         | 22 Pegauer Löß-Platte             | 35 Tagebaue Schleenhain-Haselbach            | 48 Schnauder-Tal                                |
| 10 Köhraer Moränen-Ebene                      | 23 Espenhainer Moränen-Ebene      | 36 Fürstenholz-Moränen-Platte                | 49 Pleiße-Gerstenbach-Weitung                   |
| 11 Naunhofer Moränen-Ebene                    | 24 Audigaster Moränen-Ebene       | 37 Pödelwitzer Kohlepfeiler                  | 50 Wyhra-Eschefeldler Moränen-Platte            |
| 12 Gaschwitz-Böhlener Kohlepfeiler            | 25 Hakle Trages                   | 38 Alltagebau Bockwitz-Borna-Ost             |   |
| 13 Alltagebau Espenhain                       | 26 Alltagebau Peres               | 39 Alltagebau Deutzen-Regis-Breitingen-Borna |   |



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



Hydrographisch wird der Südraum Leipzig zum Einzugsgebiet der Pleiße und Weißen Elster einschließlich ihrer Nebenflüsse gezählt. Der ursprüngliche Zustand des Gewässernetzes und der Auen war eine von zahlreichen Mäandern durchzogene Auelandschaft, die eine typische Auewaldvegetation trug. Vergleiche des Fließgewässernetzes der Zeitschnitte 1944 und 1994 im Südraum Leipzig lassen das Ausmaß der Veränderung der Landschaft deutlich werden (vgl. Lausch 1999d). Durch Flußverlegungen und Grundwasserabsenkungen im Zuge des Braunkohlenbergbaus wurde das Wasserregime in den Flußauen entscheidend verändert. Die ursprünglich anhydromorphen Bedingungen brachten Aueböden hervor, die vorrangig als Grün- und Ackerland genutzt werden. Desweiteren bilden sie gute Waldstandorte.

Regionalgeologisch wird der Südraum Leipzig dem Weißelsterbecken<sup>18</sup> zugeordnet, in dem sich während des Alttertiärs vor 40 bis 50 Millionen Jahren wiederholt ausgedehnte Waldmoore entwickelten, die das Ausgangsmaterial für die Kohlebildung lieferten. So entstanden die Kohleflöze im Südraum Leipzig zeitgeschichtlich früher als die des Nordraumes von Leipzig.

Während des Eozäns kam es viermal zur Bildung mehrerer 100 qkm umfassender abbauwürdiger Braunkohleflöze. So liegt in den Hauptflözen, entsprechend der Klassifikation von Meyer (1950) von unten nach oben mit Flöz I (Sächsisch-thüringisches Unterflötz), Flöz II (Bornaer Hauptflöz), Flöz III (Thüringisches Hauptflöz) und Flöz IV (Böhlener Oberflöz) die Braunkohle des Südraumes Leipzig vor (Barthel 1960).

Nach der Bildung des Böhlener Oberflözes wurden weite Teile des Weißelsterbeckens vom Mitteloligozänmeer bedeckt. Die in dieser Zeit gebildete Schichtfolge weist im Übergangsbereich von vollmarinen (im Norden) bis fluviatil-limnischen Sedimentationsbedingungen einen raschen Fazieswechsel auf (Wünsche 1975). Teilweise sind die Braunkohlenflöze mit den tertiären Sanden verzahnt, was eine unregelmäßige Abbauwürdigkeit hervorruft. In den Tagebaugebieten Peres und Groitscher Dreieck wurden große Mengen dieser Sande abgebaut. Gegen Ende des Mitteloligozäns führte eine weiträumige Heraushebung Nordwestsachsens zum Rückzug des Meeres und leitete eine flächenhafte und lineare Erosion ein. Eine intensive Flußtätigkeit führte zu Flözaufspaltungen und flözleeren Gebieten. Eines der tief eingeschnittenen oberoligozänen Flußtäler ist in dem 2-5 km breiten „Tierbacher Fluß“ östlich der Pleiße erhalten geblieben (Wünsche 1995).

Die tertiären Deckgebirgsschichten werden von pleistozänen Bildungen unterschiedlicher Mächtigkeit aus Kiesen und Geschiebemergel, z.T. Auelehm bzw. Lößauflagerungen (Tagebau Profen) überlagert. Dieser Geschiebelehm oder -mergel ist kulturfähig und basisch. Da er saures tertiäres Material neutralisieren kann, wurden nach dem Braunkohlenabbau Gemische diesen Materials als kulturfähiger Kippbodenauftrag verwendet.

Die dritte nordische Vereisung (Weichseleiszeit) erreichte das Untersuchungsgebiet nicht. Doch es kam in dieser Zeit zur Anwehung einer fast durchgehend entwickelten Löß- bzw. Sandlößdecke, deren Mächtigkeit von nur wenigen Dezimetern im Norden auf bis über 2 Meter im südlichen Altenburger Raum reicht. Der Löß ist meist verlehmt (Barthel 1960).

Ein typisches Substrat der Kippen und Halden der Tagebaulandschaft stellen stark heterogene tertiäre nährstoffarme z.T. stark saure Mischsubstrate aus Sand, Schluff und Kies dar. Für die heutigen rekultivierten Bereiche der Bergbauflächen wurde insbesondere Quartärmaterial verwendet, welches hochwertiges Abraummateriale darstellt. In Bereichen, wo das Quartärmaterial



nicht mehr vorrätig war, wurde nach Brüning et al. (1965) eine sogenannte Grundmelioration, bestehend aus Kalkung, Asche und mineralischer Volldüngung, durchgeführt.

Die auf Kippen und Halden vorliegenden Böden (Kipp-Rohböden) weisen aufgrund einer nur geringen Bodenentwicklung noch keine bis nur geringmächtige Horizontdifferenzierungen auf (Wünsche 1991). Nach Ausbildung eines Humushorizontes entwickeln sich auf kalkfreien Substraten Kipp-Ranker bzw. kalkhaltigem Substrat Kipp-Rendzinen. Staunässe sowie ein hoher Grundwasserstand ermöglichen die Bildung von Kipp-Staugleyen und Kipp-Gleyen. Nach Durka et al. (1997) und Altmooos (1999) stellt die Bodenbildung (Pedogenese) und -entwicklung einen entscheidenden Prozeß dar, welcher einerseits die Vegetationsentwicklung sowie andererseits die Art und Weise der gesamtäumlichen Entwicklung der Vegetationsstrukturen der Tagebaulandschaft bestimmt.

Nach Darmer (1971), Donath (1990, 1994) Jentsch (1994), Durka et al. (1996, 1997), Durka & Altmooos (1997a, 1997b), Berkner (1998) sowie Altmooos (1999) besitzt die Tagebaulandschaft vielfältige Charakteristika sowie Biotop- und Nutzungsstrukturen, die folgendermaßen zusammengefaßt werden können:

- Die vielfältigen geologischen Bedingungen erforderten die Anwendung unterschiedlicher Abbautechnologien der Kohlegewinnung, die wiederum die Entstehung heterogener Reliefformen wie Halden, Kippen - Unterflurkippen, Flurkippen, Hochkippen - und Restlöcher bzw. Restseen fördern.
- Die Ablagerung des Abraumes führt zu unterschiedlich bestehenden kleinräumigen Horizontaldifferenzen (Abraumförderbrückenkippe -Schüttrippen, Absetzerkippen, Spülkippe)
- Durch den gerätetechnischen Abbau der Braunkohle kommt es zur Vermischung unterschiedlicher geologischer Schichten, woraus sich eine hohe Heterogenität der Abraumsubstrate ergibt.
- Unterschiedliche Gradienten an Wasserangebot führen zu temporären Senken bzw. dem Auswaschen von Mineralsäure aus dem Boden, wodurch unterschiedliche pH-Werte in nur geringer Entfernung entstehen. Durka et al. (1997) fanden pH-Werte von 3,5 und 7,3 in nur 5 Meter Entfernung zwischen Rippen und Senken in verritzten Tagebaugebieten.
- Die verschiedenartigen Formen, Strukturen sowie gegenseitigen Lagebeziehungen der Halden und Kippen bedingen ein breites Spektrum regional-klimatischer Bedingungen.
- Auf kleinstem Raum wird durch das Aufbringen unterschiedlichen Bodenmaterials bzw. dem Einspülen von Fremdmaterial eine hohe Bodenheterogenität mit unterschiedlichem Nährstoffangebot verursacht. Desweiteren fördern der unterschiedliche Ablauf und die Geschwindigkeit der Bodenbildungsprozesse ein vielfältiges Standortmosaik.
- Die große raum-zeitliche Heterogenität bergbaubedingter Phänomene wie Setzungsfließen, Steilwände, Sedimentablagerungen, Hang- und Setzungsfließbrutschungen sowie Erosionsprozesse auf Teilflächen verursacht eine z.T. hohe Morphodynamik.
- Die Gewässer der Tagebaulandschaft zeichnen sich durch z.T. extreme hydrochemische Bedingungen (geringer pH-Wert, Nährstoffarmut), z.T. durch aktive und passive Flutung hohe Dynamik des Wasserkörpers sowie der Uferrandbereiche aus.

---

<sup>18</sup> Der Begriff „Weißelsterbecken“ wurde von Meyer (1950) eingeführt. Es ist darunter der Bildungsraum der Braunkohle im Borna-Meuselwitzer und im benachbarten Zeitz-Weißelster Revier zu verstehen.



- Typisch für Bergbauflächen ist die große „Komplexität des Standortmosaiks“ (Durka et al. 1997, S. 11) sowie eine Standortvielfalt auf engstem Raum.
- Es liegen großflächige, nährstoffarme, durch das Verkehrsnetz nur wenig zerschnittene Biotop- und Landschaftsstrukturen vor.

Diese Standortvoraussetzungen der verritzten Tagebaulandschaft stellen optimale Bedingungen für die Ausbildung dynamischer Sukzessionen, Biotop- und Landschaftsstrukturen dar, die die Entwicklung seltener, relativ naturnaher biotischer Strukturen ermöglichen. So wird durch die Entwicklung zahlreicher verschiedenartiger Biotoptypen (oligo- und mesotrophe Stillgewässer, Ufersäume, Röhrichte, vegetationsarme Bodenflächen, Binnendünen, Magerrasen, lichte Vorwälder) die Ausbildung einer räumlichen Heterogenität der pflanzlichen und tierischen Besiedlung hervorgerufen.

Durch den Tagebau werden nach Berkner (1998) in die vormals wenig gegliederten Landschaften neue und interessante Elemente eingebracht.

Für die gewachsenen Böden des Südraumes Leipzig (unverritzte Landschaft) kann das Ertragspotential als mittel bis sehr gut eingeschätzt werden, woraus sich die dominante Flächennutzung des Raumes in Form landwirtschaftlicher Nutzflächen erklärt. So sind die ertragsreichsten Böden die Schwarzerdeböden. Sie reichen aber nur nordwestlich von Pegau ein kleines Stück in das Gebiet hinein. Grieserden und Schwarzstaugleye sind gute Ackerböden, die ähnlich wie die Schwarzerden humusreich sind, wobei die Grieserden durch eine schwache Tondurchschlämmung und die Schwarzstaugleye durch Stauvernässungen geprägt sind. Die im Untersuchungsgebiet dominierenden Bodenformen Sandlößtieflern-Parabraunerden und -Braunstaugleye sind mittlere bis gute Ackerböden.

## 5.2 Historische, gegenwärtige und zukünftige Entwicklung sowie Folgen der Abbautätigkeit

Die historische Entwicklung des Raumes ist eng mit der heutigen Regionalentwicklung verbunden. Umfassende Darlegungen bzgl. des Südraumes Leipzig finden sich bei Berkner (1996, 1997, 1998). Es werden daher chronologisch nur die markantesten Eckpunkte der historischen, gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung erwähnt (vgl. Tab. 4, S. 30, Abb. 7, S. 34).

Tab. 4: Markante Punkte der Entwicklung (historisch, gegenwärtig, zukünftig) sowie die wichtigsten Folgen des Braunkohlenbergbaus des Borna-Meuselwitzer Reviers (nach Regionaler Planungsverband Westsachsen 1998, Berkner 1998, verändert)

Zeit / Zeitschnitt	Entwicklung
<b>Historische Entwicklung</b>	
1671	Erste Nachweise des Braunkohlenabbaus für Meuselwitz-Rositz
<i>1. Vorindustrielle Phase (bis 1850) – Abbau in „Bauerngruben“</i>	
1870	Übergang zur industriellen Braunkohlenförderung, zunächst vorwiegend im Tiefbau, kleinräumig, lokal begrenzter Kohleabbau
<i>2. Frühindustrielle Abbauphase (1879-1920)</i>	
19. Jhd.	Die zunehmende Verknappung der Brennstoffvorräte des stark landwirtschaftlich geprägten Gebietes sowie der



Ausbau eines leistungsfähigen Bahnnetzes begünstigte die wirtschaftliche Veränderung der Region. Folge dessen war ein Übergang des bis dahin noch lokal konzentrierten Kohleabbau in Tiefbaubetrieben und Kleingruben zum Abbau in kleinen und mittelgroßen Tagebauen

1897	Aufschluß des Tagebaues Neukirchen als erster Abbaubetrieb mit über 50 ha
1912	Erstmaliges Überwiegen der Kohleförderung in Tagebauen gegenüber Tiefbauen
1917	Großindustrieller Beginn der Karbochemie am Standort Rositz

### 3. Großindustrielle Phase (1920-1950)

1921	Aufschluß von Großtagebauen - Aufschlußbeginn des Tagebaus Böhlen (heute Zwenkau)
1927	Inbetriebnahme des Kraftwerkes Böhlen als erstes Großkraftwerk im Revier
1928-1931	Erste bergbaubedingte Ortsverlegung im Revier, Umsiedlung von Rusendorf
1929-1930	Verlagerung des Förderschwerpunkts vom Meuselwitzer in das Bornaer Revier
1930	Beginn des großflächigen Kohleabbaus durch Einsatz von Abraumförderbrücken im Tagebau Böhlen (ab 1944 auch in Espenhain)
1937-1942	Errichtung und abschnittsweise Inbetriebnahme des Braunkohlenveredlungswerkes Espenhain

### 4. „Radikale Auskohlungsphase“ (1950-1990)

	Durchsetzung von Großtagebauen mit weiter zunehmender Abbaukonzentration, Verschwinden von Kleintagebauen und Tiefbaubetrieben
1954	Beginn der Überbaggerung des Harthwaldes durch den Tagebau Böhlen
1963	Mit 68 Mio t höchste Braunkohlenförderung im Südraum Leipzig und zugleich in Westsachsen
1966-1972	Errichtung der Kraftwerke Thierbach, Lippendorf und Mumsdorf
1974	Konzept einer „Leipziger-Altenburger Seenplatte“ als Vision für die „Landschaft nach der Kohle“
1976-1989	Konzeptionelle Vorbereitung und teilweise Realisierung einer „radikalen Auskohlungs politik“
1989/90	Starten zahlreicher Bürgerinitiativen gegen Umweltbelastung durch den Braunkohlenabbau
1990	Zusammenbruch der Karbochemie an den Standorten Böhlen und Espenhain
1990	Änderungen der Rahmenbedingungen für die Braunkohlenindustrie durch die politische Wende sowie der Wirtschafts- und Währungsunion
	Schließung von Tagebauen und Veredlungsstätten

### Folgen

- ⇒ großflächige Landschaftszerstörung von ca. 250 km<sup>2</sup> (Westsachsen) – vgl. Abb. 6, S. 33
- ⇒ Veränderungen des natürlichen Landschaftsgefüges, Zerstörung von Landschaftsfunktionen sowie wichtiger raumfunktionaler Beziehungen
- ⇒ bergbaubedingte Komplett- und Teilverlagerung von 60 Siedlungen mit etwa 24 000 Betroffenen (soziale Probleme)
- ⇒ hohe Belästigung durch Emissionen (Staub, Lärm), schlechte Lebensbedingungen
- ⇒ Verlust an Kulturgut
- ⇒ hohes Potential an Altlasten
- ⇒ starke Veränderungen der Grundwasserverhältnisse (Strömungen, Chemismus, Abflußregime) führten zu Eingriffen in das Fließgewässer- und Auenökosystem (Weiße Elster, Pleiße)
- ⇒ Wasserwirtschaftliche Probleme, 500 km<sup>2</sup> Fläche von Grundwasserabsenkung betroffen
- ⇒ land- und forstwirtschaftliche Rekultivierung von ca. 125 km<sup>2</sup> (Westsachsen)

### Strukturwandel und zukünftige Entwicklung

#### 5. Phase der „kleinen Braunkohlenschiene“ (1991- ca. 2040)

ab 1991	Konzentration der Förderung auf wenige Tagebaue
	Aufgrund der hohen Altlasten und Rekultivierungsdefizite sowie fehlender finanzieller Mittel stellt sich hinsichtlich der Bewältigung der ökologischen Folgen eine schwierige Ausgangssituation
1991-1997	finanzieller Einsatz von ca. 1,6 Mrd. DM für die Sanierung und Rekultivierung der Tagebaulandschaft
1990-2040	Anstieg des Grundwasserstandes sowie Flutung der Tagebaue, Entstehung einer Gesamtwasserfläche von ca. 58,6 km <sup>2</sup> – vgl. Abb. 7, S. 34
	Aufforstung zur Erhöhung des Waldanteiles auf 18-20 % gegenüber derzeit 7 %
	Unterstützung der Entwicklung und Etablierung wertvoller Biotop- und Habitatstrukturen durch regionalpolitische Ausweisungen (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996a)
	Nach Abschluß der Rekultivierungsarbeiten wird ein flächenhafter Anteil an Wald, Wasser und Gebieten für Naturschutz von ca. 35 % angestrebt.
	Das Konzept „Mitteldeutsche Straße der Braunkohle“ stellt einen wichtigen kulturhistorischen Beitrag der Auseinandersetzung mit der Geschichte des Bergbaus dar.



Tab. 5: Bergbauliche Landinanspruchnahme und Wiedernutzbarmachung im Südraum Leipzig (Stand Ende 1992 in km<sup>2</sup>).

	Landwirtschaft	Forst	Wasser	Sonstiges	Gesamt
Landinanspruchnahme	144,4	20,5	1,2	12,9	179,0
Wiedernutzbarmachung	44,3	29,2	2,0	9,5	85

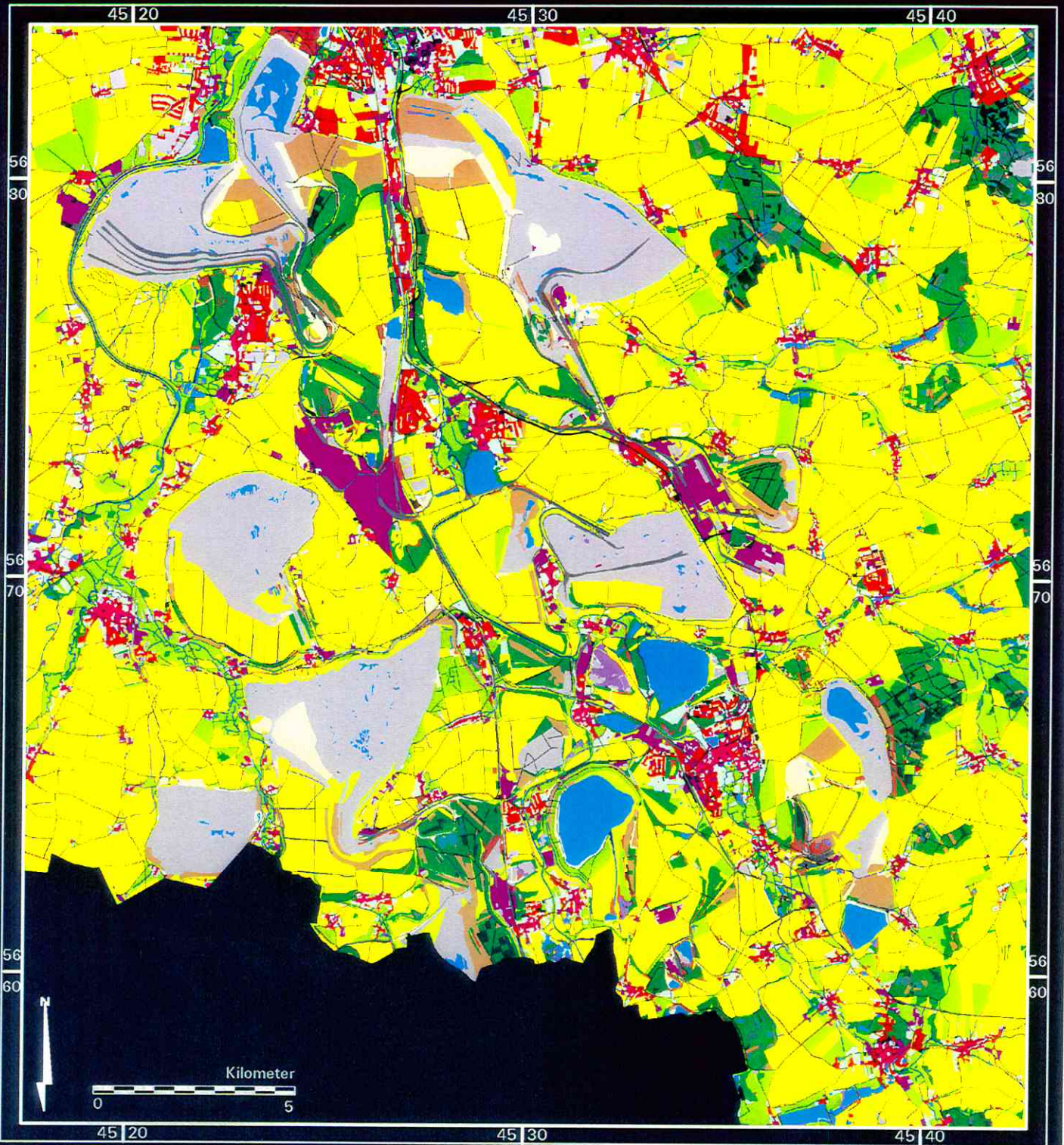
(Quelle: Berkner 1998 / MIBRAG.

<sup>19</sup> Nächste Seite – Abb. 6: Biotoptypenkartierung Sachsen – Südraum Leipzig – Jahr 1994

<sup>20</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 7: Synthesebild der Flächennutzung – Südraum Leipzig – Jahr 2020



# Biotoptypenkartierung Sachsen - Südraum Leipzig (38 Biotoptypen)



<b>Gewässer und Gewässervegetation</b>		<b>Wälder und Forsten</b>		<b>Gehölze</b>		<b>Anthropogen genutzte Sonderflächen</b>		
Fließgewässer	Vorwald, Gehölzsaum	Feldgehölze, Baumreihen, Alleen	Aufschüttungen, Abgrabungen, Sonderfl.	Stillgewässer	Laub- u. Laubmischwald	Hecken u. Gebüsch	<b>Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen</b>	
Röhrichte, Uferstauden, Verlandungsvegetation	Nadel- u. Nadelmischwald	<b>Acker und Sonderstandorte</b>		Wohngebiet	Laub-Nadel-Mischwald	Acker- und Ackerbrache	Mischgebiet	Grün- und Freiflächen in Bebauung, Verkehrsbegleitgrün
<b>Magerrasen, Felsenfluren, Zwergstrauchheiden</b>		Laub-Nadel-Mischwald	Sonderkultur	Gewerbegebiet, Bauwerke an Gewässern	Nadel-Laub-Mischwald	Grünland u. Ruderalflur	Straßen, Wege, sonst. Verkehrsflächen	Gleisanlagen
Offene Flächen	Wiederaufforstung	Wirtschaftsgrünland	<b>Grünland u. Ruderalflur</b>		Sand- und Silikatmagerrasen	Ruderal- und Staudenflur		
Borstgrasrasen u. Zwergstrauchheiden		Ruderal- und Staudenflur						
Sand- und Silikatmagerrasen								



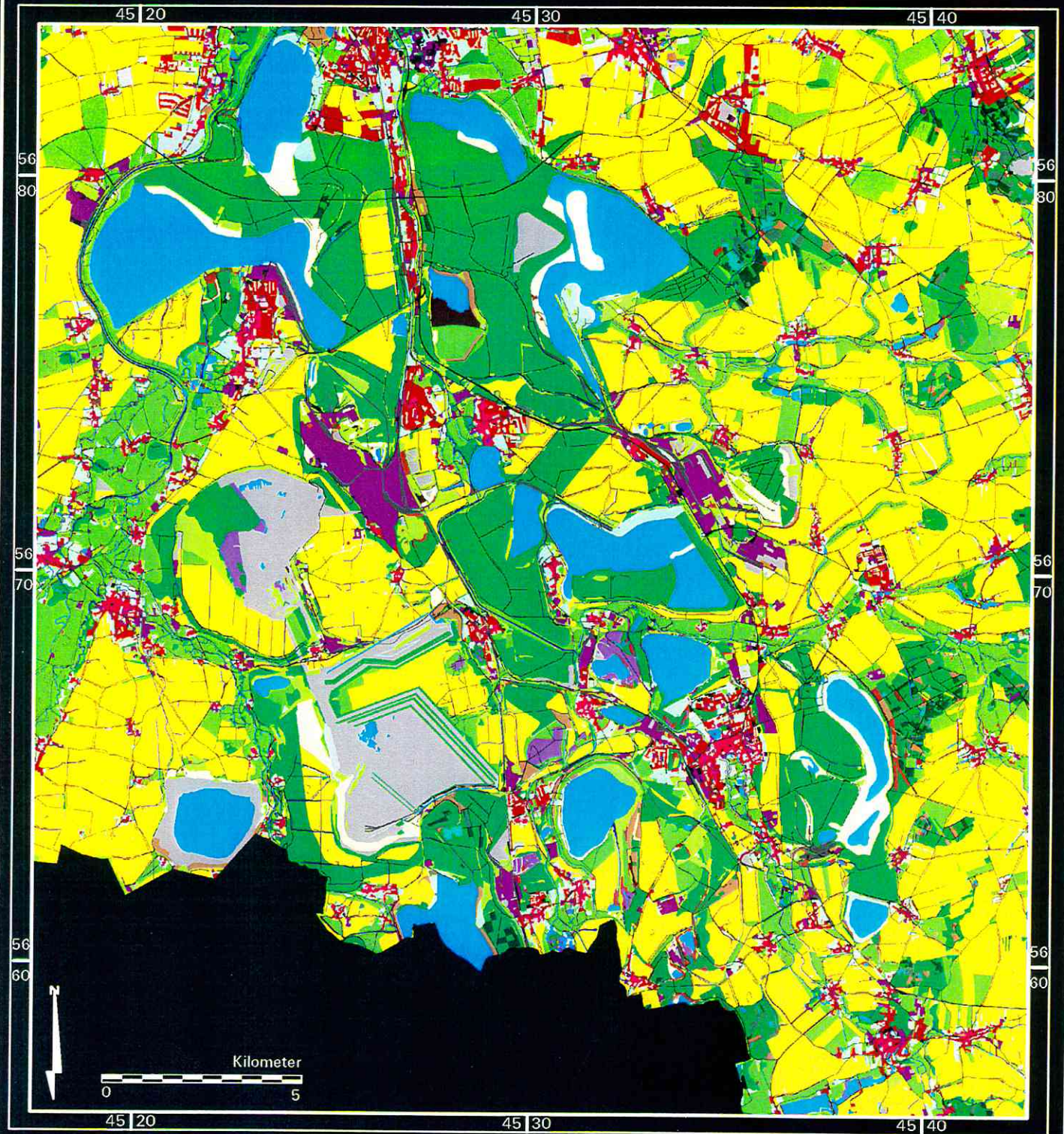
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch

Datengrundlagen:  
Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



# Synthesebild der Flächennutzung Jahr 2020 - Südraum Leipzig

(generiert aus Biotoptypenkartierung Sachsen, Entwicklungskonzeption Landschaft Jahr 2020)



Gewässer und Gewässervegetation	Wälder und Forsten	Gehölze	Anthropogen genutzte Sonderflächen
Fließgewässer	Vorwald, Gehölzsaum	Feldgehölze, Baumreihen, Alleen	Aufschüttungen, Abgrabungen, Sonderfl.
Stillgewässer	Laub-u. Laubmischwald	Hecken u. Gebüsch	<b>Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen</b>
Rohrichte, Uferstauden, Verlandungsvegetation	Nadel-u. Nadelmischwald	<b>Acker und Sonderstandorte</b>	Wohngebiet
<b>Magerrasen, Felsenfluren, Zwergstrauchheiden</b>	Laub-Nadel-Mischwald	Acker- und Ackerbrache	Mischgebiet
Offene Flächen	Nadel-Laub-Mischwald	Sonderkultur	Gewerbegebiet
Borstgrasrasen u. Zwergstrauchheiden	Wiederaufforstung	<b>Grünland u. Ruderalflur</b>	Grün- und Freiflächen in Bauung, Verkehrsbegleitgrün
Sand- und Silikatmagerrasen		Wirtschaftsgrünland	Straßen, Wege, sonst. Verkehrsflächen
		Ruderal- und Staudenflur	Gleisanlagen



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

Datengrundlagen:  
 Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepasst an 1994)  
 - Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul  
 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995  
 - Regionaler Planungsverband Westsachsen,  
 - Regionale Planungsstelle Leipzig



## 6 Methodische Ansätze zur Erfassung von Biotop- und Landschaftsstrukturen mit Fernerkundung und GIS

### 6.1 Erfassung von Landschaftselementen mit Fernerkundung und GIS

#### 6.1.1 Aufbereitung der Fernerkundungsdaten (Rasterdaten)

Die geometrische Entzerrung der Satellitenbilddaten stellt einen der wichtigsten Schritte dar, um die Qualität aller nachfolgenden Satellitenbildbearbeitungen sowie deren Auswertung zu gewährleisten. Für den Südraum Leipzig wurden alle Satellitenbildrohszenen nach der vom Hersteller durchgeführten vorgeschalteten Systemkorrektur<sup>21</sup> auf das geodätische bzw. kartographische Referenzsystem Gauß-Krüger-Koordinatensystem, Spheroid Bessel entzerrt. Hierbei diente die Satellitenbildszene SPOT-PAN (1994), die zuvor auf Topographische Karten (Maßstab 1:10 000) geocodiert wurde, als Referenzszene (sog. *Master-Bild*). Alle weiteren Satellitenbildszenen (sog. *Slave-Bilder*) wurden mit Hilfe des Verfahrens der *relativen Bild-auf-Bild-Entzerrung* an das Referenzsystem des ersten Bildes angepaßt (Albertz 1991, Richards 1993). Nach der Paßpunkteingabe (ca. 50 Paßpunkte/Szene) und einer Transformation des Polynoms zweiter Ordnung konnte für alle Satellitenbildszenen (vgl. Kap. 2.2, S. 9) ein *Root-Mean-Square-Fehler* von ca. 0,4 Pixel erreicht werden. Das sich anschließende *Resampling-Verfahren* wurde nach der *Cubic Convolution-Methode (bikubische Interpolation)* durchgeführt. Dieses Verfahren liefert nach Albertz (1991) und Lillesand & Kiefer (1994) optisch anspruchsvolle, hochpaßgefilterte Bilder, wobei insbesondere die Feinheiten der Landschaftsstrukturen sehr gut hervorgehoben werden. Nachteilig ist hierbei jedoch der hohe Rechenaufwand.

#### 6.1.2 Monotemporale Analyse - SPOT-XS

##### 6.1.2.1 Grundlagen der multispektralen Klassifikation

Grundlage der hier durchgeführten Satellitenbildklassifikationen bilden *überwachte automatische Verfahren* (engl. *supervised classification*), die gegenüber den *unüberwacht automatischen Verfahren* (engl. *unsupervised classification*) als genaues Klassifizierungsverfahren für optische Daten gelten (Haberäcker 1987, Richards 1986, Albertz 1991). Hierbei fand der Algorithmus des *Maximum-Likelihood-Verfahrens* (ML-Verfahren) Anwendung. Der ML-Klassifikator führt nach Richards (1986), Albertz (1991), Lilliesand & Kiefer (1994) sowie Hildebrand (1996) zu guten Klassifikationsergebnissen (Klassifikationsgenauigkeit von 80 bis 90%). Das Verfahren beruht auf der Berechnung der statistischen Kenngrößen Mittelwert und Kovarianzmatrix. Unter der Voraussetzung der Gauß'schen Normalverteilung wird so für jedes Pixel die statistische Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Klassenzugehörigkeit berechnet. Die Mittelwerte und Werte der *Kovarianzmatrix* einer Klasse werden aus den sogenannten Stichprobenwerten (= Trainingsgebieten, *ground truth*) für die Grundgesamtheit geschätzt. Der Erfolg einer Klassifikation

<sup>21</sup> Systemkorrektur enthält nachträgliche Korrekturen der Flughöhe oder Flugbahn (vgl. Richards 1993, S. 48)



wird neben der Wahl des geeigneten Klassifikationsalgorithmus noch durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Wahl geeigneter Trainingsgebiete
  - die Trainingsgebiete müssen repräsentativ für das Gebiet sein
  - gleichmäßige Verteilung der Trainingsgebiet über das gesamte Gebiet
  - Erfassung lokaler und spektraler Unterschiede innerhalb einer Klasse
  - Vorliegen einer Normalverteilung der Spektralwerte für jedes Trainingsgebiet
  - Anzahl der Pixel des Trainingsgebietes muß mindestens der Anzahl der verwendeten Kanäle + 1 entsprechen
- Spektrale Trennbarkeit der einzelnen *Land-Cover*-Klassen
- Wahl des für Vegetationsuntersuchungen geeigneten Aufnahmezeitpunktes (Mai bis Juni/Juli)
- Atmosphärische Bedingungen (Wolkenbedeckung)

Bei der Auswahl der Satellitenbilddaten sowie deren digitale Auswertung wurde diesen genannten Faktoren besondere Beachtung geschenkt.

### 6.1.2.2 Vegetationsindizes

Zur Erfassung und Differenzierung der in der Tagebaulandschaft vorkommenden Vegetation bietet sich der Einsatz von spektralen Vegetationsindizes an. Die Vegetationsindizes stellen eine besondere Form der Ratiobildung (Lilliesand & Kiefer 1994) dar, mit deren Hilfe die spektralen Unterschiede zwischen dem unbewachsenen Boden oder der abgestorbenen Vegetation und der lebenden Vegetation erfaßt werden. Hierbei kommen insbesondere die Kanäle des infraroten sowie roten Spektralbereiches zur Anwendung. Für weitere Ausführungen sei auf die umfangreiche Literatur (Albertz 1991, Richards 1993, Lilliesand & Kiefer 1994, Löffler 1994, Hildebrand 1996) verwiesen.

Im Rahmen der Untersuchung kommt der Vegetationsindex *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* zur Anwendung. Er wird nach folgende Formel berechnet:

$$NDVI = \frac{(L_{NIR} - L_{ROT})}{(L_{NIR} + L_{ROT})}$$

$L_{NIR}$  = Spektralbereich des Nahen Infrarot

$L_{ROT}$  = Spektralbereich des Roten

nach Stiebig & Baltaxe (1991)

### 6.1.2.3 Überwachte hierarchische Klassifikation von SPOT-XS

Die Grundlage der vorliegenden Satellitenbilddauswertung des Sensors SPOT-XS für den Südraum Leipzig bildet die Methode der überwachten hierarchischen Klassifikation. Die *Hierarchische* oder *Baumförmige Klassifizierung* (engl. *hierarchical classification*) unterscheidet sich grundlegend

gegenüber anderen Vorgehensweisen der spektralen Klassifikation. So erfolgt die Zuordnung der Klassen nicht innerhalb eines einmaligen Klassifizierungsvorganges, sondern wird durch schrittweise (hierarchisch) Einzelentscheidungen erreicht (Albertz 1991, Hildebrandt 1996).

Folgende Gründe sprechen für den Einsatz dieser Methode:

- Das Verfahren ist sehr flexibel, da für jede Einzelentscheidung die günstigste Kanalkombination bzw. die zweckmäßigste Einzelentscheidung zur Flächennutzungsklassifikation Verwendung findet.
- Es können die Erfahrungen des Bearbeiters für die Erfassung der einzelnen Klassen besser eingebracht werden.
- Zur Durchführung der *Teilklassifikationen* werden die verbleibenden Grauwerte einer Klasse neu aufgespreizt (*Stretch*), wodurch eine leichtere Differenzierung der *Land-Cover*-Klassen möglich ist.
- Es können Fehlzuordnungen der Klassen durch Maskierung und erneutem Aufspreizen der verbleibenden Grauwerte selektiv erkannt werden.

Die einzelnen Arbeitsschritte der digitalen Satellitenbilddauswertung von SPOT-XS ist der Abb. 8, (S. 39) zu entnehmen.

Zur Verbesserung der Erfassung der Landbedeckung des Südraumes Leipzig wurde aus den geocodierten Satellitenbilddaten der NDVI ermittelt. Nachfolgend wurde eine Transformation des NDVI-Datensatzes in das 8 Bit-Datenformat (*Rescale*) durchgeführt, um einen einheitlich homogenen Datensatz mit einem Grauwertebereich von 0 bis 255 zu erhalten. Mittels des Kantenfilters ( $3 \times 3$  *Edge-enhancement*) wurden die Kanteninformationen des NDVI-Bildes verstärkt. Unter Verwendung des ebenfalls kantengefilterten SPOT-XS-Datensatzes ( $3 \times 3$  *Edge-enhancement*) sowie des kantengefilterten NDVI-Bildes wurde der SPOT-XS-NDVI-Datensatz erstellt. Dieser Datensatz stellt die Grundlage der nachfolgenden Auswertungen dar.

Aufgrund der bestehenden Schwierigkeiten der Trennung der *Land-Cover*-Klassen Vegetationsloses Offenland und Bebauung erfolgte die vektorielle Abgrenzung der städtischen und ländlichen Bebauung. Mit Hilfe der Vektor-zu Raster-Transformation wurde die *Bebauungs-Maske* sowie die *Maske der restlichen Flächennutzung* erstellt. Beide Datensätze wurden nun getrennt voneinander klassifiziert. Der Bilddatensatz der *Bebauungs-Maske* wurde einer unüberwachten Klassifikation (*Isodata-Clustering*) unterzogen.

Für die Bilddaten der *Maske der restlichen Flächennutzung* kam die unüberwachte hierarchische Klassifikationsmethode nach dem ML-Algorithmus zur Anwendung. In der ersten Stufe der hierarchischen Klassifikation wurden die *Land-Cover-Klassen* klassifiziert, die sich spektral eindeutig voneinander unterschieden. So konnten im ersten Schritt der hierarchischen Klassifikation die Klassen Laub- und Laubmischwald, Nadelwald sowie Wasser eindeutig erfaßt werden. Zur weiteren Untersuchung wurden diese Klassen ausmaskiert, so daß nun die sogenannten Problemklassen (*Offenland-Mix und Grünland-Mix*) für die erneut durchzuführende Klassifikation zur Verfügung standen. Die Klassen *Offenland-Mix* und *Grünland-Mix* wurden nun in einem weiteren Arbeitsgang aus dem Datensatz von SPOT-XS-NDVI ausmaskiert und damit die noch verbliebenen Grauwerte wiederum neu aufgespreizt. Im Ergebnis der hierarchischen Klassifikation



konnten die in der Abb. 8<sup>22</sup>, (S. 39) ersichtlichen 12 *Land-Cover*-Klassen aus SPOT-XS-Daten erfaßt werden.

---

<sup>22</sup> Nächste Seite – Abb. 8: Ablaufschema zur hierarchischen Klassifikation der Satellitenbilddaten SPOT-XS

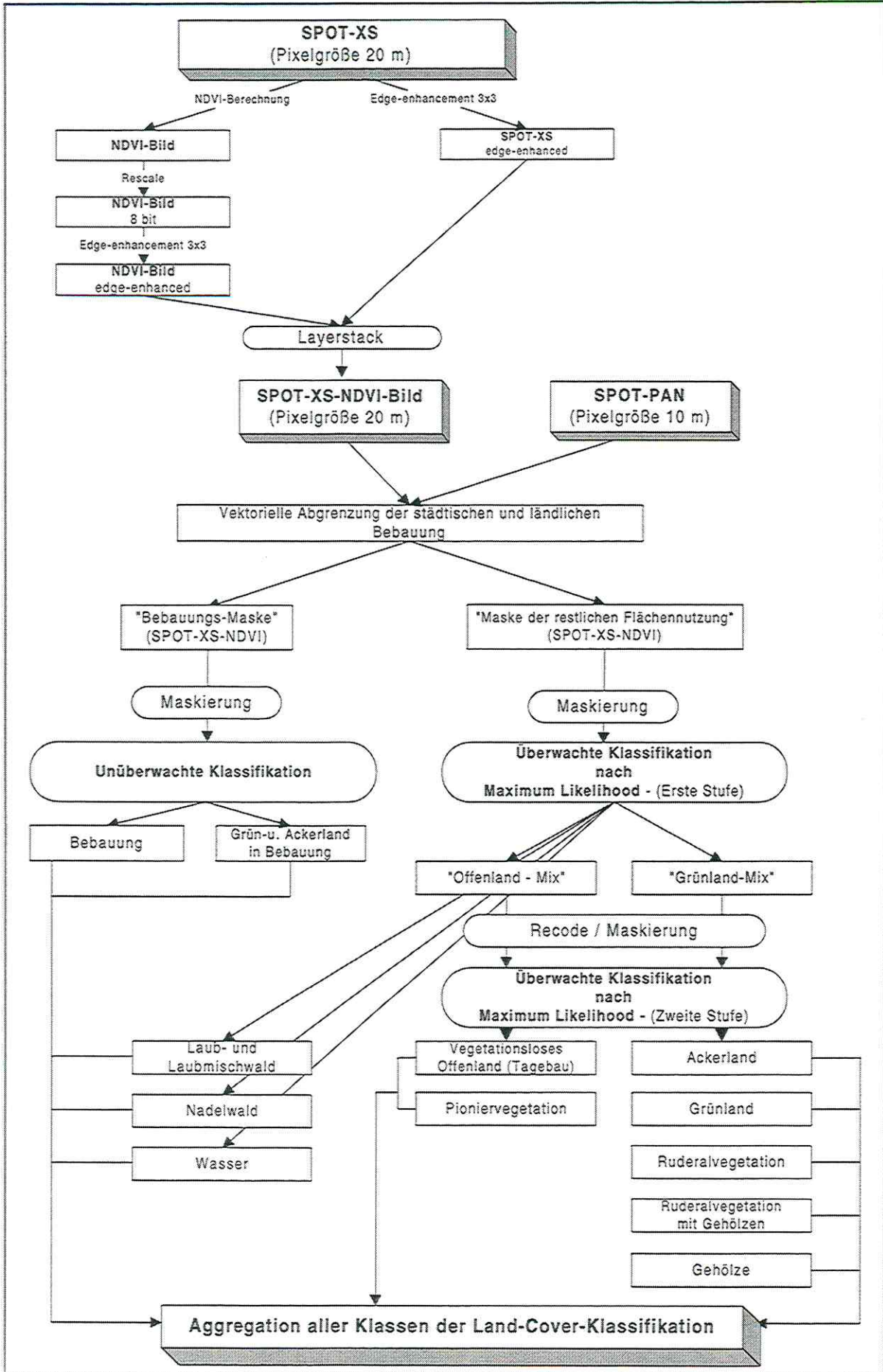


Abb. 8: Ablaufschema zur hierarchischen Klassifikation der Satellitenbilddaten SPOT-XS



### 6.1.3 Multitemporale Analyse – SPOT-XS (1990, 1994, 1996) - Planung (2020)

Die Prozeßüberwachung der Tagebaulandschaft sowie die Erfassung raum-zeitlicher Änderungen der Landschaftselemente setzt die Auswertung multitemporaler Fernerkundungsdatensätze voraus. Erst im Vergleich dieser Daten können Aussagen bezüglich der ablaufenden Veränderungen getroffen werden. So wurden in der vorliegenden Untersuchung Satellitenbilddaten aus den Jahren 1990, 1994 sowie 1996 des Sensors SPOT-XS einbezogen (vgl. Tab. 1, S. 11). Die Auswertung dieser SPOT-XS-Daten erfolgte unter Anwendung der hierarchischen Klassifikation nach ML-Algorithmus (vgl. Kap. 6.1.2.3, S. 36).

Die Ergebnisdaten der Klassifikationen sowie die Kenntnis darüber, daß einerseits Vegetationsbestände ihre spektrale Reflexion in Abhängigkeit von der phänologischen Entwicklung ändern sowie andererseits Änderungen der Bewirtschaftungsweisen landwirtschaftlicher Flächen innerhalb eines Jahres auftreten, macht die Erstellung von Synthetischen Datensätzen (Synthesebilder) erforderlich.

Die *Land-Cover*-Klassifikation SPOT-XS 1994 diente hierbei als sogenanntes Master-Bild. Anhand von Differenzmatrizen wurden die Veränderungen der *Land-Cover*-Klassen für die Zeiten 1990 / 1994 sowie 1994 / 1996 ermittelt. Mit Hilfe von Abfrageroutinen (if, then) wurde untersucht, ob es sich bei der vorliegenden Änderung um eine Veränderung der Klasse handelt, der eine erklärbare Vegetationsentwicklung zugrunde liegt bzw. sich die Änderungen des Spektralverhaltens auf bestimmte jahreszeitlich bedingte phänologische Entwicklungsphasen der Vegetation zurückführen lassen (vgl. Tab. 6, S. 40). Die hieraus ermittelten Informationen der *wirklichen* Klassenänderungen wurden in einem letzten Arbeitsgang mit dem *Master-Bild* der *Land-Cover*-Klassifikation (SPOT-XS 1994) zu einem Bilddatensatz verknüpft. Da Abfragen hinsichtlich der Änderungen von Kultur- und Fruchtarten auf landwirtschaftlichen Flächen nicht möglich sind, wurde die Klasse Grün-und Ackerland jeweils ausmaskiert.

Tab. 6: Abfrageroutinen zur Erfassung wirklicher Veränderungen der *Land-Cover*-Klassen

LC- Klassen von SPOT-XS 1994	LC-Klassen von SPOT-XS 1990 und 1996
Pioniervegetation	- Vegetationsloses Offenland, Pioniervegetation, Ruderalvegetation
Ruderalvegetation	- Pioniervegetation, Ruderalvegetation, Ruderalvegetation und Gehölze
Ruderalvegetation mit Gehölze	- Ruderalvegetation, Ruderalvegetation und Gehölze, Gehölze
Gehölze	- Gehölze, Laub- u. Laubmischwald
Laub- und Laubmischwald	- Gehölze, Laub- u. Laubmischwald
Nadelwald	- keine Abfrage erforderlich
Grün-und Ackerland	- keine Abfrage möglich - Maskenbildung
Grün-und Ackerland in der Bebauung	- keine Abfrage erforderlich / aufgrund der Vorgehensweise der Klassifikation
Wasser	- keine Abfrage erforderlich
Vegetationsloses Offenland (Tagebau)	- keine Abfrage erforderlich
Bebauung	- keine Abfrage erforderlich

Für die Erstellung des Datensatzes – Zeitschnitt 2020 – wurden die Informationen der Entwicklungskonzeption Landschaft für den Zeitschnitt 2020 (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996b) vektoriell erfaßt, sowie nachfolgend in das 10 Meter Rasterformat überführt. Im Anschluß wurde dieser Datensatz mit dem synthetischen Datensatz der *Land-Cover*-Klassifikation 1996 verschnitten. Aufgrund unterschiedlich vorliegender Maßstäbe, wurde darauf geachtet, daß insbesondere lineare Landschaftselemente wie beispielsweise das Verkehrsnetz sowie



kleinräumige Landschaftselemente des Datensatzes SPOT-XS 1996 durch die Datenverschneidung nicht verloren gingen.

## 6.2 Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen

### 6.2.1 Modell sowie Modellparameter

Die Analyse raum-zeitlicher Veränderungen von Landschaftselementen, Biotop- und Flächennutzungsstrukturen des Südraumes Leipzig erfordert die quantitative Abbildung der strukturellen Eigenschaften. Grundlage der Quantifizierung sind die digitalen Daten zur Landbedeckung des Südraumes der Zeitschnitte 1990 bis 2020. Die Aufarbeitung dieser Daten wurde in Kap. 6.1 (S. 35) beschrieben.

Die Berechnung der Strukturmetriken erfolgte mit Hilfe des Programmpaketes FRAGSTATS (Vers2.0, McGarigal & Marks, 1994).

Folgende Modellparameter wurden der Berechnung für die Untersuchungsräume zugrunde gelegt:

Tab. 7: Parameter zur Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstrukturen des Südraumes Leipzig

Parameter	Südraum Leipzig
Datenformat	Raster
Zellgröße	10 x 10 Meter
Definition der kleinsten Einheit <i>Patch</i>	Rasterzellen incl. diagonale Rasterzellen einer Klasse
Maximale Klassenanzahl	15 <i>Land-Cover</i> -Klassen (Klassifikation von SPOT-XS-Daten) (15 Biotop und Flächennutzungstypen (Biotoptypenkartierung Sachsen))*
Suchradius	50 Meter
Eliminierung von Kleinstflächen	Flächen < 0,15 ha
Besonderheiten	Integration linearer Landschaftselemente (Verkehrsnetz) Rasterung der linearen LE

\* Die Berechnungen der Biotop- und Flächennutzungstypen auf Grundlage der Biotoptypenkartierung Sachsen (1993) erfolgte nur zu Vergleichszwecken gegenüber den Analysen auf Basis der *Land-Cover*-Klassifikation aus Satellitenbilddaten.

### 6.2.2 Landschaftsstrukturmaße

In der nachfolgenden Tabelle sind die Indizes zur Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstruktur der Untersuchungsräume (vgl. Abb. 5, S. 27) beschrieben. Die diesen zugrundeliegenden mathematischen Ausdrücke sind im Anhang 14.2 (S. 182) aufgeführt.

Die Auswahl der Landschaftsstrukturmaße für die vorliegende Arbeit erfolgt insbesondere im Hinblick auf die vorliegende Zielsetzung der Bestimmung von Indikatoren als Anzeiger landschaftlicher Veränderungen (Monitoring) sowie unter Berücksichtigung der Interpretierbarkeit der Landschaftsstrukturmaße und ihrer allgemeingültigen Aussage im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf andere Regionen sowie die Notwendigkeit, Biotop- und Landschaftsstrukturen mit einem breiten Spektrum von Indikatoren zur Abbildung und Quantifizierung von Strukturen der



Tagebau Landschaft des Südraumes Leipzig einzusetzen. Die hier genannten Indikatoren werden in den Kap. 8, 9 und 10 angewendet.

Tab. 8: Beschreibung der mit FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 1994) berechneten Landschaftsstrukturmaße für die Untersuchungsräume der Arbeit

Akronym Einheit / Formel Nr. Berechnungsebene	Beschreibung
<b>Flächenmaße</b>	
<p>Die Flächenmaße quantifizieren die Zusammensetzung der Landschaft. Es lassen sich hieraus jedoch keine Aussagen über die Anordnung der Landschaftselemente ableiten. Flächenmaße stellen häufig die Grundeinheit zur Berechnung einer Vielzahl von Indizes auf der Landschafts- und Klassenebene dar. Somit ergibt sich, daß die minimale Flächengröße sowie die Landschaftsausdehnung wichtige Parameter für die Quantifizierung abgeleiteter Strukturindikatoren darstellen.</p> <p>Eine zunehmende Bedeutung erfahren die Flächenmaße für die Beurteilung von Artenreichtum, Flächenbesetzung- und Artverteilungsmuster insbesondere für Untersuchungen der Landschaftsveränderung.</p>	
<p><b>TA</b> <i>Total landscape area</i> (ha) / Formel 1 u. 2 Klasse / Landschaft</p>	<p>Absolutgröße der betrachteten Landschaft</p>
<p><b>%Land</b> <i>Percent of landscape</i> (%) / Formel 3 Klasse</p>	<p>Präsentiert den relativen Flächenanteil der jeweiligen Klasse an der Gesamtfläche der betrachteten Landschaft</p>
<p><b>LPI</b> <i>Largest patch index</i> (%) / Formel 4 u. 5 Klasse / Landschaft</p>	<p>Gibt den Flächenanteil des größten Landschaftselementes an der betreffenden Klasse bzw. der gesamten Landschaft wieder. Hieraus können Aussagen zur Fragmentierung bzw. Heterogenität der betrachteten Landschaft gemacht werden.</p>
<b>Patch-Dichte, Patch-Größe und Streuung der Patch-Größen</b>	
<p>Mit Hilfe dieser Landschaftsmaße werden die Anzahl oder Dichte von <i>Patches</i>, die durchschnittliche Größe der <i>Patches</i> und die Veränderung der <i>Patch</i>größe quantifiziert. Hieraus können wichtige Aussagen zu Fragen der Landschaftsanordnung abgeleitet werden. Die Anzahl der Flächen bzw. die Flächendichte spielen eine wichtige Rolle bei Untersuchungen zu Fragen der räumlichen Heterogenität des Landschaftsmosaiks, der Fragmentierung von Landschaftsräumen sowie der Beeinflussung ökologischer Prozesse. Mittels der <i>Patch</i>anzahl und der durchschnittlichen <i>Patch</i>größe erhält man eine direkte Information über das Landschaftsmuster. Nach Gardner et al. (1993) stellen sie ein wichtiges Kriterium dar, den Verlust an Biodiversität in einem Gebiet mit der Abnahme der Fläche eines Habitats in Beziehung zu setzen.</p>	
<p><b>NP</b> <i>Number of patches</i> (#) / Formel 6 u. 7 Klasse / Landschaft</p>	<p>Der Wert gibt die Gesamtzahl der Landschaftselemente einer Klasse bzw. die Gesamtzahl derer in der gesamten Landschaft wieder. Der Index gibt einen Hinweis auf die Fragmentierung einer Klasse.</p>
<p><b>PD</b> <i>Patch density</i> (#/100 ha) / Formel 8 u. 9</p>	<p>Der Wert beschreibt die Anzahl der Landschaftselemente pro Einheitsfläche. Die Dichte der Landschaftselemente ist ein fundamentaler</p>



Klasse / Landschaft	Aspekt der Landschaftsstruktur. Er ermöglicht die Einschätzung der Fragmentierung und Heterogenität der untersuchten Klasse.
<b>MPS</b> <i>Mean patch size</i> (ha) / 10 u. 11 Klasse / Landschaft	Der Index gibt Auskunft über die mittlere absolute Größe der Landschaftselemente einer Klasse.
<b>PSCV</b> <i>Patch size coefficient of variation</i> (%) / Formel 12 - 15 Klasse / Landschaft	Der Index bezieht die Standardabweichung der Landschaftselement-Größen auf die mittlere Landschaftselement-Größe und gibt somit Aussagen bezüglich der Variabilität der Flächengröße der Landschaftselemente einer Klasse. <u>Aussagewert:</u> - hoher Wert: starke Variation der Größen von LE in dem Landschaftsmuster - geringer Wert: geringe Variation der Größen von LE in dem Landschaftsmuster

### Kantenmaße

Kanten (*Edge, Grenzen*) bilden die Grenzen der *Patches*. Sie besitzen bezüglich der Beschreibung der Konfiguration (Landschaftsanordnung) der Landschaftsstruktur eine hohe Aussagekraft. So steigt nach Miller et al. (1997) mit der Zunahme des menschlichen Einflusses und einer Fragmentierung der Landbedeckungstypen die Menge der Kanten an. Die absolute Länge von Kanten sowie die Kantendichte sind für eine Vielzahl ökologischer Phänomene von entscheidender Bedeutung. Viele ökologische Prozesse laufen an bzw. über Grenzen ab und zeigen somit eine direkte Abhängigkeit davon. Die Einschätzung der Fragmentierung und Heterogenität einer Landschaft (z.B. Agrarlandschaft) erfolgt unter Einbeziehung von Kantenmaßen (Forman & Godron 1996; Reese & Ratti 1988).

	Der Index mißt den Kontrast zwischen einem Landschaftselement und den LE seiner unmittelbaren Nachbarschaft. Der prozentual angegebene Zahlenwert wird im Vergleich zum höchstmöglichen Gesamtkontrast der Landschaft wiedergegeben, wodurch ein regionaler Vergleich des Indexes möglich wird. Der Indikator unterscheidet sich gegenüber anderen Indikatoren durch die Benennung spezifischer Wichtungsgrößen für den Kontrast.
<b>EDCON</b> <i>Edge contrast index</i> (%) / Formel 16 Landschaftselemente	<u>1. Höhenkontrastindex</u> Höhenkontrast einer Land-Cover-Klasse (Patchebene) zu seiner unmittelbaren Umgebung in % bezogen auf den maximalen Höhenkontrast der Landschaft. Die Wichtungsgrößen für diesen Kontrast sind der Tab. 9 (S. 47) zu entnehmen. <b>VEDCON</b> – Berechnungsebene – Landschaftselement <i>Vertical edge contrast index</i> (Höhenkontrastindex) <b>MVECI</b> – Berechnungsebene – Klasse / Landschaft <i>Mean vertical edge contrast index</i> (Höhenkontrastindex)
<b>MECI</b> <i>Mean edge contrast index</i> (%) / Formel 17 u. 18 Klasse / Landschaft	<u>2. Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index</u> Untersuchung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf Einzelflächen ( <i>Patches</i> ) durch Integration der Komponenten Art des Verkehrsnetzes und Begrenzungsanteil des Verkehrsnetzes an den Einzelflächen. Die Wichtungsgrößen sind der Tab. 20 (S. 149) zu entnehmen. <b>VFKEI</b> – Berechnungsebene – Landschaftselement <i>Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index</i>
	<u>3. Bebauungs/Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index</u> Untersuchung des Einflusses des Verkehrsnetzes und der Bebauung auf Einzelflächen ( <i>Patches</i> ) durch Integration der Komponenten Art des Verkehrsnetzes und Begrenzungsanteil des Verkehrsnetzes und der Bebauung an den Einzelflächen. Die Wichtungsgrößen sind der Tab. 20 (S. 149) zu entnehmen. <b>BVFKEI</b> – Berechnungsebene – Landschaftselement <i>Bebauungs/Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index</i>



---

<b>PERIM</b> <i>Perimeter</i> (m) / Formel 19 Landschaftselemente	Gibt die totale Länge der Grenze eines Landschaftselementes wieder.
<b>ED</b> <i>Edge density</i> (m/ha) / Formel 20 u. 21 Klasse / Landschaft	Der Index berechnet die Kantenlänge eines <i>Patches</i> , dividiert durch dessen Fläche und bezieht diese auf eine Einheitsfläche.  Die Kantendichte ( <i>ED</i> ) ermöglicht quantitative Aussagen zum Anteil der Kanten pro Flächeneinheit. Der Wert der <i>ED</i> steht im direkten Zusammenhang mit der mittleren Flächengröße von LE sowie der <i>Patchdichte</i> . Erst im Zusammenhang dieser drei Größen lassen sich aus den quantitativen Informationen qualitative Hinweise über die Struktur der Kanten ableiten.  Der Kantenstrukturindex stellt ein Maß dar, aus dem sich die räumliche Struktur von Kanten der LE ableiten läßt. Der Kantenstrukturindex wird nicht direkt mit FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 1994) berechnet, sondern leitet sich aus dem Verhältnis von mittlerer Flächengröße ( <i>MPS</i> ) und Flächendichte ( <i>PD</i> ) dividiert durch die Kantendichte ( <i>ED</i> ) ab. <u>Aussagewert:</u> - hoher Wert: Kanten stark geradlinig, geringe Verzahnung mit den benachbarten Landschaftselementen, geringere ökologische Wertigkeit des Kantenverlaufes - geringer Wert: Kanten strukturiert, hohe Verzahnung mit den benachbarten Landschaftselementen, hohe ökologische Wertigkeit des Kantenverlaufes
<b>ESI</b> (nach Lausch) <i>Edge structure index</i> (m) / Formel 22 u. 23 Klasse / Landschaft	

---

### Maße der Form und Gestalt (Formdeskriptoren))

Die Analyse der Form und Gestalt von Landschaften ist für die landschaftsökologische Prozeßforschung zu einem wichtigen Untersuchungsgegenstand geworden (vgl. Forman & Godron 1986, McGarigal & Marks 1994). So spielen Gestaltindizes insbesondere bei populationsökologischen Fragestellungen zu Vorkommen, Abundanz und Migrationsprozessen von Arten eine große Rolle (Hamazaki 1996; Hawrot et al. 1996, Samietz, 1998). Die in FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 19994) berechneten Formmaße stützen sich bei der Berechnung auf die Analyse von Umfang zu Fläche der Landschaftselemente. Die Beschränkungen dieser Indizes liegen darin, daß bei Rasterabbildungen die Länge des Umfanges wegen des „Stufenschrittes“ von Liniensegmenten höher ausfällt als bei Vektordaten und zudem von der Auflösung der Daten abhängt. Die Umfang-zu-Flächen-Methode ist gegenüber Unterschieden in der *Patchmorphologie*<sup>23</sup> relativ unempfindlich. So können die *Patches* verschiedene Formen haben, aber trotzdem identische Flächen, Umfänge und somit den gleichen Indexwert aufweisen. Hieraus ergibt sich, daß diese Maße sich nicht für die Einschätzung der Elementemorphologie als solche eignen, sondern die Abschätzung der Komplexität der Form eines Landschaftselementes ermöglichen. Somit quantifizieren diese Landschaftsmaße die Landschaftsanordnung in bezug auf die Komplexität der *Patchform*.

---

<b>SHAPE</b> Shape index (dimensionslos) / Formel 24 Landschaftselemente	Der Index bewertet die Komplexität der Form eines Landschaftselementes durch den Vergleich mit einer Standardgestalt (Raster = Quadrat/ Vektor = Kreis). Die Quantifizierung beruht auf der Analyse des Verhältnisses von Fläche zu Umfang der Landschaftselemente.
--	---

---

<sup>23</sup> Morphologie: Wissenschaft von den Gestalten und Formen, Gestaltslehre, Formlehre, Die Begriffe Form und Gestalt werden daher synonym verwendet.



Landschaftselemente <b>LSI</b> <i>Landscapae shape index</i> (dimensionslos) / Formel 25 u. 26 Klasse / Landschaft	Fläche zu Umfang der Landschaftselemente. <u>Aussagewert:</u> - hoher Wert: zunehmende Abweichung von der Standardform, große Grenzlinienlänge pro Flächeneinheit, komplexe Formen - geringer Wert (gegen 1): zunehmende Näherung der Standardform, geringe Grenzlinienlänge pro Flächeneinheit, kompakte Formen
---	---

### Maße der Nächsten-Nachbarschaft

Diese Landschaftsmaße geben den Abstand von einem *Patch* zum nächsten *Patch* der gleichen Klasse an, wobei die Entfernung von Kante zu Kante gemessen wird. Damit quantifizieren diese Maße die Landschaftsanordnung (Landschaftskonfiguration). Die Kenntnisse darüber sind für Untersuchungen von Migrationsprozessen und der Populationsdynamik insbesondere zur Erfassung der Isolation und der Fragmentierung von Landschaftselementen von hohem Interesse. Die Bestimmung der Landschaftskonfiguration nimmt auch einen hohen Stellenwert beim Monitoring von Landschaften ein.

<b>MNN</b> <i>Mean nearest-neighbor distance</i> (m) / Formel 27 u. 28 Klasse / Landschaft	Mit Hilfe des Index wird die mittlere Entfernung zwischen <i>Patches</i> (Kante-zu Kante) einer Klasse berechnet. Auf der Landschaftsebene werden nur <i>Patches</i> berücksichtigt, die angrenzende (benachbarte) <i>Patches</i> haben.
---	--

<b>NNCV</b> <i>Nearest-neighbor coefficient of variation</i> (%) / Formel 29 - 32 Klasse / Landschaft	Der Index bezieht die Standardabweichung der Landschaftselement-Entfernungen auf die mittlere Landschaftselement-Entfernung und gibt somit Aussagen bezüglich der Variabilität der Entfernungen der Landschaftselemente einer Klasse. <u>Aussagewert:</u> - hoher Wert: starke Variation der Entfernungen von LE in bezug zur mittleren Entfernung - geringer Wert: geringe Variation der Entfernungen von LE in bezug zur mittleren Entfernung
--	--

<b>PROXIM</b> <i>Proximity index</i> (dimensionslos) / Formel 33 Landschaftselemente <b>MPI</b> <i>Mean proximity index</i> (dimensionslos) / Formel 34 - 35 Klasse / Landschaft	Der Index berücksichtigt Größe und Distanz von allen LE einer Klasse, die innerhalb des angegebenen Suchradius (variabel) um das betrachtete Element liegen. Der Parameter ergibt sich aus der Summe der Flächengrößen aller Landschaftselemente gleicher Klasse innerhalb dieses Suchradius, dividiert durch das Quadrat des jeweiligen Abstandes. Mit Hilfe des Index ist die Quantifizierung des räumlichen Kontext eines LE in Beziehung zu seinen Nachbarn möglich. Somit sind Aussagen zur Isolation eines LE sowie der Fragmentierung der korrespondierenden LE innerhalb der spezifischen Nachbarschaft zum betrachteten Element möglich. <u>Aussagewert:</u> - hoher Wert, wenn ein <i>Patch</i> von großen und/oder nahegelegenen <i>Patches</i> umgeben wird, (komplexe Anhäufung von großen <i>Patches</i> ) - geringer Wert, wenn ein <i>Patch</i> von kleinen und/oder entfernten <i>Patches</i> umgeben wird, (spärliche Verteilung von kleinen <i>Patches</i> )
---	--



---

## Maße der Diversität und Verteilung

---

Die Diversitäts-Indizes quantifizieren die Komposition der untersuchten Landschaft. Sie werden von den beiden Komponenten Reichhaltigkeit (*richness*) und Gleichmäßigkeit (*evenness*) beeinflusst. Die Reichhaltigkeit bezieht sich auf die Anzahl der in einer Landschaft vorkommenden Klassen, während die Gleichmäßigkeit die Verteilung der verschiedenen Klassen beschreibt. Die Reichhaltigkeit an vorliegenden Klassen ist vom jeweils gewählten Maßstab abhängig. So sind größere Flächen häufig reichhaltiger, da sie ein höheres Maß an Heterogenität des Inventars als vergleichbare kleine Flächen besitzen. Für die Untersuchung der Diversität stehen eine Vielzahl von Indikatoren zur Verfügung, dessen Anwendbarkeit, Interpretierbarkeit sowie Aussagewert unterschiedlich diskutiert werden.

---

<b>PRD</b> <i>Patch richness density</i> (#/100 ha) / Formel 36 Klasse / Landschaft	Der Index standardisiert die Reichhaltigkeit, indem die Anzahl von LE unterschiedlicher Klassen pro Einheitsfläche berechnet wird. Hierdurch ergibt sich eine Vergleichbarkeit innerhalb der Landschaft sowie zwischen unterschiedlichen Landschaften.
<b>LCCRD*</b> <i>Land-cover-class richness density</i> (#/0,25 ha) / Formel 37 Raster	Der Index standardisiert die Reichhaltigkeit der Landschaft durch Berechnung der Anzahl unterschiedlich vorkommender <i>Land-Cover</i> -Klassen pro Einheitsfläche. Auch hier ist eine Vergleichbarkeit innerhalb der Landschaft als auch zwischen unterschiedlichen Landschaften gegeben.
<b>IJI</b> <i>Interspersion and Juxtaposition index</i> (%) / Formel 38 u. 39 Klasse / Landschaft	Mit Hilfe des Index wird der Grad der Verteilung von LE einer Klasse innerhalb der Landschaft quantifiziert. <u>Aussagewert:</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- hohe Werte resultieren von Landschaften, in der die <i>Patches</i> einer Klasse gleichmäßig verteilt sind (proportionale Verteilung)</li><li>- geringe Werte charakterisieren Landschaften, in der die <i>Patches</i> einer Klasse ungleichmäßig verteilt sind (disproportionale Verteilung)</li></ul>
<b>SHDI</b> <i>Shannon's diversity index</i> (dimensionslos) / Formel 40 Landschaft	Stellt den wohl populärsten Diversitätsindex dar und basiert auf der Informationstheorie. Der Wert präsentiert den Gehalt an Information pro Individuum bzw. Landschaftselement. Der Index ist in bezug auf Reichtum empfindlicher als auf Gleichmäßigkeit. Der absolute Wert dieses Parameters ist nicht unbedingt von Bedeutung, vielmehr eignet er sich zum Vergleich zwischen verschiedenen Landschaften bzw. von Landschaften in ihrer Dynamik.
<b>SHEI</b> <i>Shannon's evenness index</i> (dimensionslos) / Formel 41 Landschaft	Der Index quantifiziert den Aspekt der Gleichmäßigkeit ( <i>evenness</i> ) – Verteilung der verschiedenen Klassen innerhalb der Landschaft – und ist somit ein wichtiges Maß zur Analyse der Landschaftszusammensetzung. Die Gleichmäßigkeit ergibt sich aus der Höhe der Vielfalt geteilt durch die maximal mögliche Vielfalt der jeweiligen Landschaft. Erreicht der Index den Wert eins, so nähert sich die beobachtete Vielfalt der maximalen Gleichmäßigkeit an.

---

Tab. 9: Maximale Höhenwerte der *Land-Cover*-Klassen zur Bestimmung der Wichtungsgrößen für das Landschaftsstrukturmaß - Höhenkontrastindex

<i>Land-Cover</i> -Klassen	Maximale Höhenwerte der <i>Land-Cover</i> -Klassen in (m)
Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation)	0,2
Offenland mit hohem Anteil an Vegetation (Ruderalvegetation)	0,5
Ruderalfläche mit Gehölzen	2,0
Gehölze	3,0
Laubwald	20,0
Nadelwald	25,0
Grün- und Ackerland	0,5
Grün- und Ackerland in Bebauung	0,3
Wasser	0,0
Vegetationsloses Offenland (Tagebau)	0,0
Bebauung	17,0
Gleisanlagen	0,0
Bundesstraße	0,0
Sonstige Straßen	0,0
Wirtschaftsweg	0,0

### 6.3 Statistische Analysen

Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe des Programmpakets STATISTICA (Vers. 5.0) für WINDOWS durchgeführt.

#### Trendanalyse

Mit der Trend- bzw. Zeitreihenanalyse wird einerseits die Identifikation der Gestalt des durch die Reihe der Beobachtungen dargestellten Phänomens sowie andererseits die Prognose der interessierenden Variablen untersucht. Hierfür ist es erforderlich, das Muster der beobachteten Zeitreihen-Daten zu identifizieren und dieses formal zu beschreiben. Es existiert eine Reihe von Verfahren zur Durchführung von Zeitreihen- und Trendanalysen. Für die vorliegende Untersuchung konnte auf traditionelle Methoden zur Zeitreihenanalyse und Trendbestimmung wie beispielsweise nach Wei (1989), Kendall & Ord (1990), Montgomery et al. (1990) und Walker (1991) nicht zurückgegriffen werden, da für die Analyse nur vier Zeitschnitte vorlagen.

Es wurde eine Methode erarbeitet, um über einen hierarchischen Entscheidungsbaum die vorliegende Trenddynamik qualitativ zu erfassen.

#### Trend

liegt vor (ja)

Positiver Trend (Zunahme)

Stärke

Negativer Trend (Abnahme)

Stärke



*Trend*

*liegt nicht vor (nein)*

*Keine Veränderungen (Stagnation)*

*Schwankungen (Fluktuation)                      Stärke*

Die Ableitung der Aussagen erfolgt mittels dreier Maße (M1 - M3), die auf verschiedene Weise die Zuwächse der Landschaftsstrukturmaße zwischen den einzelnen Zeitschnitten kumulieren.

Folgende Bezeichnung werden zur Abkürzung verwendet:

A = Landschaftsstrukturmaß 1990

B = Landschaftsstrukturmaß 1994

C = Landschaftsstrukturmaß 1996

D = Landschaftsstrukturmaß 2020

Im weiteren werden die prozentualen Zuwächse (PZ) des jeweiligen Landschaftsstrukturmaßes zwischen zwei Zeitschnitten wie folgt berechnet:

$$PZ1 = (B-A)/A$$

$$PZ2 = (C-B)/B$$

$$PZ3 = (D-C)/C$$

Mit diesen vereinbarten Größen lassen sich nun die folgenden drei Maße zur Trendbestimmung konstruieren.

a) „Intensitätsmaß“ (M1)

Mit diesem Maß soll die Intensität der Trendentwicklung über die vier Zeitabschnitte gemessen werden. Dazu werden die Absolutbeträge der einzelnen prozentualen Zuwächse über die vier Zeitschnitte gemittelt.

$$M1 := (Abs(PZ1)+Abs(PZ2)+Abs(PZ3)) \times 100 / 3$$

b) „Bilanzmaß“ (M2)

Mit dem folgenden Maß läßt sich die Ausrichtung der potentiellen Trendentwicklung (z.B. positive/negative Ausrichtung) bestimmen. Über die Summe der tatsächlichen prozentualen Zuwächse wird somit das Gesamttrendaufkommen bilanziert.

$$M2 := (PZ1+PZ2+PZ3) \times 100 / 3$$

c) „Trendzeiger“ (M3)

Durch den Vergleich der beiden vorhergehenden Maße läßt sich nun ein vorliegender Trend identifizieren. Dazu muß das Gesamttrendaufkommen (vgl. M2) mit der absoluten Intensität(vgl. M1) übereinstimmen.

$M3 := \text{Abs}(M1 - \text{Abs}(M2))$

Mit den drei Maßen lassen sich die gesuchten hierarchische Entscheidungen wie folgt herbeiführen:

*Trend ja / nein ?*

$M3 \leq 0,2$  ->  $M1 \approx \text{Abs}(M2)$  d.h. alle wesentlichen Zuwächse in gleiche Richtung  
→ „Trend liegt vor“

*Trendrichtung ?*

$M2 > 0$  d.h. wesentliche Zuwächse(PZ) sind positiv

→ „Trend positiv u. Stärke entspricht Wert von  $M2$ “

$M2 < 0$  d.h. wesentliche Zuwächse(PZ) sind negativ

→ „Trend negativ u. Stärke entspricht Wert von  $M2$ “

$M3 \geq 0,2$  ->  $M1 \neq \text{Abs}(M2)$  d.h. wesentliche Zuwächse entgegengesetzte Richtung  
→ „Trend liegt nicht vor“

*Schwankungsdynamik ?*

$M1 < 5$  d.h. Zuwächse im Mittel sehr klein

→ „Stagnation d.h. keine Änderung“

$M1 \geq 5$  d.h. Zuwächse im Mittel wesentlich

→ „Schwankung (Fluktuation) u. Stärke entspricht Wert von  $M1$ “

Die verwendeten Unschärfekonstanten (0,2 % bzw. 5 %) wurden festgelegt, mit Hilfe der Quantile der Häufigkeitsverteilung über die Werte der einzelnen Landschaftsstrukturmaße.

Um technische und statistische Unschärfen zu berücksichtigen, wird z.B. ein LSM auf der jeweilig quantifizierten Ebene (Landschaft, Klasse, Patch) als „stagnierend“ identifiziert, wenn die mittlere Änderung pro Jahr kleiner als 5 % ist.

Die Untersuchungen zur Trendanalyse sind in den Kap. 9.2.1.2 (S. 133) und Kap. 9.2.2.1 (S. 136) dargestellt.



## 7 Ist - Analyse von Landschaftselementen und Landschaftsstrukturen anhand von Satellitenbilddaten

### 7.1 Bedeutung der visuellen Interpretation für die Erfassung von Landschaftselementen

Die *visuelle Interpretation* beschäftigt sich mit der Abgrenzung von Arealen und Erscheinungen unterschiedlicher Merkmale und gehört zu den Standardverfahren zur Auswertung von Satellitenbilddaten. So hat dieses Verfahren insbesondere durch die zunehmend softwareseitige Integration von Methoden der digitalen Bildverbesserung wie *Kontrastdehnung, Filterung, IHS-Raum Transformation, Hauptkomponentenanalyse, verschiedene Ratioverfahren* (vgl. Löffler 1985, Albertz 1991, Lillesand & Kiefer 1994) in vergangenen Jahren an Bedeutung für die Auswertung von Satellitenbilddaten gewonnen. Es soll nun die Frage diskutiert werden, welchen Beitrag die visuelle Interpretation zur Erfassung von Landschaftselementen und der Ableitung von LSM für die Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig hat.

Im Gegensatz zur digitalen Satellitenbilddatenauswertung spielt für das Erkennen und die Abgrenzung von Landschaftselementen ein anderes Spektrum von Einzelfaktoren eine Rolle (vgl. Abb. 9, S. 51). Hierfür sind neben den Faktoren Helligkeit, Farbton, Form und Größe der Objekte, Objektmuster und Textur insbesondere die Erfahrungen des Interpretieren von entscheidender Bedeutung, die eine Abgrenzung der Landschaftselemente im Satellitenbild ermöglichen. Folgende Vorteile ergeben sich bei der Nutzung der visuellen Interpretation gegenüber den Verfahren der digitalen Klassifikation zur Erfassung von Objekten und LE:

- Die digitale Erfassung von Biotop- und Landnutzungsstrukturen in Kulturlandschaften, die ein komplexes Muster der Vegetations- und Nutzungsstrukturen aufweisen, ist mit automatischen Verfahren (Verfahren der überwachten und unüberwachten Satellitenbildklassifikation) aufgrund begrenzter geometrischer, spektraler, temporaler sowie radiometrischer Auflösungen der Bilddaten bislang nicht zufriedenstellend durchzuführen. Hier stellt die visuelle Interpretation der Satellitenbilddaten eine gute Grundlage der Erfassung der Objekte und Landschaftselemente und Strukturen dar.
- Die visuelle Interpretation von Bilddaten ist gegenüber radiometrischen Verfälschungen der Bilddaten weitgehend unempfindlich. Die Bilddaten können so aufgearbeitet werden, daß sie zur visuellen und digitalen Erfassung optimale Interpretationsmerkmale aufweisen.
- Große Vorteile ergeben sich bei der Verwendung temporaler Satellitenbilddaten zur Durchführung eines Monitoring der Landschaft. Hier können die Fehlergrößen, die durch Phänologie und Nutzungsänderungen landwirtschaftlicher Kultur- und Fruchtarten im klassifizierten Satellitenbild auftreten, durch das Einbringen von Erfahrungen und Zusatzwissen des Interpretieren im Umgang mit diesen Phänomenen stark reduziert werden.
- Es ist die Abgrenzung von zusätzlichen Klassen (z.B. Ackerschläge) möglich, die unter Anwendung automatischer Verfahren der Klassifikation nur in begrenztem Maße realisierbar ist.

Die visuelle Interpretation, die zumeist am Bildschirm bzw. am Bildausdruck erfolgt, unterliegt jedoch dem entscheidenden Nachteil, daß das Erscheinungsbild der Objekte bzw. der Gesamtlandschaft „nur“ interpretiert wird. Es besteht hierbei keine Möglichkeit, diese Ergebnisdaten in digitaler Form (Grautönen) wiederzugeben. Für die Quantifizierung der Biotop-

und Landschaftsstruktur müssen die LE des Raumes jedoch in digitaler Form (Geometriedaten) vorliegen.

Um die Vorteile der menschlichen Intuition und Erfahrung (visuellen Interpretation) in der Erfassung und Abgrenzung räumlicher Phänomene im Hinblick auf die Quantifizierung raumstruktureller Maße zu nutzen, ist die digitale Abgrenzung der LE aus dem Satellitenbild erforderlich. Denkbar sind hier einerseits die Methoden der vektoriellen Erfassung der LE sowie andererseits der Einsatz kombinierter hybrider Verfahren<sup>24</sup> (vgl. Abb. 9, S. 51).

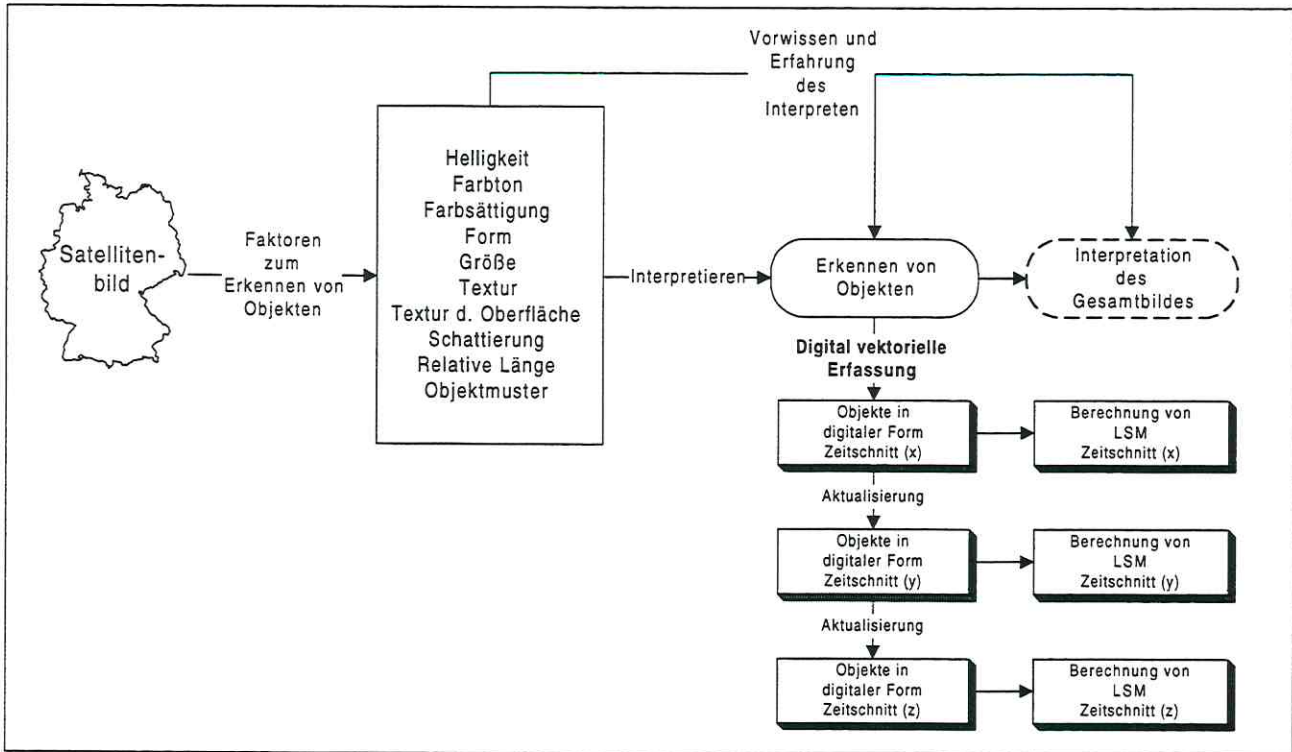


Abb. 9: Schematisierte Darstellung der Nutzung der visuellen Interpretation zur Erfassung von Landschaftselementen und Ableitung der Landschaftsstrukturmaße

### Zusammenfassung:

- Die Anwendung der rein visuellen Interpretation von Landschaftselementen ist ohne eine nachfolgende digitale Erfassung der Objekte für die Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstruktur sowie deren Dynamik ungeeignet.
- Sehr aussichtsreich für diese Fragestellung hingegen ist die Kombination von Verfahren der visuellen Interpretation und digitalen Erfassung der LE, da hier einerseits die Vorteile der menschlichen Erfahrung in der Erfassung von Elementen der Biotop- und Landschaftsstruktur und die digitale Erfassung und somit Berechnung von LSM kombiniert werden können.
- Folgende Nachteile zeigen sich jedoch im Einsatz der genannten kombinierten Methode im Vergleich zu den Verfahren der automatischen Klassifikation zur Erfassung von LE:
  - Es ist ein hoher zeitlicher und manueller Aufwand zur digitalen Abgrenzung der LE erforderlich.
  - Der Interpret muß ein hohes Maß an Erfahrung sowie Fachwissen mitbringen.
  - Die Erfassung und Abgrenzung der LE unterliegt relativ hohen Subjektivität.

<sup>24</sup> kombiniert hybride Verfahren: Einsatz von Methoden der visuellen Interpretation sowie Integration von Zusatzdaten in die spektrale Datenanalyse.



- Unter Verwendung der kombinierten Methode zur Erfassung von LE lassen sich zusätzliche Klassen (z.B. Ackerschläge) abgrenzen, wodurch weitere Ansätze der Nutzung von LSM in Bewertungsverfahren denkbar sind (z.B. Zerschneidung der Landschaft, raumstrukturelle Veränderungen von Ackerschlägen).
- Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß in Abhängigkeit von der Gebietsgröße der Einsatz der kombinierten Methode der visuellen Interpretation mit nachfolgender digitaler Erfassung der LE eine geeignete Methode darstellt, Analysen der Biotop- und Landschaftsstruktur sowie deren Quantifizierung durchzuführen.

## 7.2 Erfassung flächenhafter Landschaftselemente

### Auswertung der Klassifikation von SPOT-XS - 1994

Ausschlaggebend für die Erfassung von Landschaftselementen sowie der Biotop- und Landschaftsstrukturen sind neben dem Auflösungsvermögen (geometrisch, spektral, radiometrisch, temporal) des Sensors die spektralen Eigenschaften der zu untersuchenden Objekte.

Die Kleinräumigkeit sowie starke Heterogenität unterschiedlicher Biotop- und Flächennutzungsstrukturen der Tagebaulandschaft erwies sich bei der Ausweisung stabiler repräsentativer Signaturen der jeweiligen Klassen als schwierig. So erzeugte einerseits die hohe Variabilität der in Sukzession befindlichen Vegetation sowie andererseits die Vielfalt unterschiedlich vorliegender Bodensubstrate in der Tagebaulandschaft eine hohe Varianz der Grauwerte im Satellitenbild. Der Forderung nach *reinen* bzw. nicht *klassenfremden* Bildelementen (Hildebrandt 1996) innerhalb einer Musterklasse konnte somit nur durch die Anwendung der hierarchischen Klassifikationsmethode sowie der Integration des Ratiokanals NDVI (vgl. Kap. 6.1, S. 35) nachgekommen werden. Zur Repräsentanz der Trainingsgebietswahl sowie der statistischen Absicherung der Musterklassen erwies sich die Größe des Untersuchungsraumes von ca. 60.000 ha mit dem Vorliegen unterschiedlicher Tagebauformationen als sehr vorteilhaft. Unter Berücksichtigung der sensorspezifischen Eigenschaften von SPOT-XS-Satellitenbilddaten konnten bei einer Gesamtklassifikationsgenauigkeit von 85,5 % (vgl. Tab. 10, S. 53) sehr gute Klassendifferenzierungen (vgl. Tab. 11, S. 59) für das Untersuchungsjahr 1994 im Südraum Leipzig erreicht werden.

Für die Beurteilung der Klassifikationsgüte, konnte mit Hilfe von Trainingsdaten eine Zuordnungsmatrix (Konfusionsmatrix, *contingency matrix*) für die *Land-Cover*-Klassen des Südraumes Leipzig erstellt werden (vgl. Tab. 10, S. 53). Hierbei wurden die *Land-Cover*-Klassen mit der vorliegenden Biotoptypenkartierung von Sachsen (Landesamt für Umwelt und Geologie Radebeul 1993) sowie den Daten der Geländeerhebungen (vgl. Tab. 2, S. 12) verglichen, um Aussagen über die Art und Stärke der Fehlzuweisungen der untersuchten Klasse ableiten zu können.



Tab. 10: Zuordnungsmatrix für die Bildelemente der Trainingsgebiete (je 100 %) zu den verschiedenen Klassen für die *Land-Cover-Klassifikation* SPOT-XS 1994

<i>Lernstich- probe</i>	Offenland mit geringem Anteil Vegetation	Offenland mit hohem Anteil Vegetation	Ruderal- vegetation mit Gehölzen	Ge- hölze	Laub- wald	Nadel- wald	Grün- land	Acker- land	Grün- u. Ackerland in Bebauung	Wasser	Vegetations- loses Offenland (Tagebau)	Be- bau- ung
Offenland mit geringem Anteil Vegetation	83,5	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9	0,0	0,0	2,3	0,0
Offenland mit hohem Anteil Vegetation	1,9	82,9	5,7	0,0	0,0	0,0	1,3	1,4	0,0	0,0	0,2	0,0
Ruderal- vegetation mit Gehölzen	0,5	4,9	84,8	8,9	1,3	0,6	0,6	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Gehölze	0,0	0,0	6,8	82,6	3,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Laubwald	0,0	0,0	0,2	7,6	84,8	7,4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
Nadelwald	0,0	0,0	0,0	0,9	10,2	89,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grünland	1,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,8	9,5	0,0	1,1	0,7	0,0
Ackerland	9,7	3,7	2,5	0,0	0,0	0,0	30,5	87,4	0,0	0,0	6,3	0,0
Grün- u. Ackerland in Bebauung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,6	0,0	0,0	13,0
Wasser	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,2	0,0	0,0
Vegetations- loses Offenland (Tagebau)	3,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,5	0,0
Bebauung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	0,0	0,0	87,0
<b>Gesamtklassifikationsgenauigkeit</b>												<b>85,5</b>

Im Ergebnis der Satellitenbildklassifikation von SPOT-XS konnten für den Südraum Leipzig folgende *Land-Cover-Klassen* ausgewiesen werden:

- Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation)
- Offenland mit hohem Anteil an Vegetation (Ruderalvegetation)
- Ruderalvegetation mit Gehölzen:
- Gehölze:
- Laubwald
- Nadelwald
- Grün-u. Ackerland
- Grün.-u. Ackerland in Bebauung
- Wasser
- Vegetationsloses Offenland (Tagebau)
- Bebauung

Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation):

Die Klasse *Offenland mit geringem Anteil an Vegetation* ist durch das Vorliegen von Rohbodenmaterial sowie geringen Anteilen von Vegetation geprägt. Aufgrund der kleinräumigen Ausdehnung sowie der Heterogenität dieser Klasse erweist es sich innerhalb dieser Klasse als schwierig, eine ausreichend hohe und homogene Anzahl von Trainingsgebieten zu bestimmen. Diese *Land-Cover-Klasse* konnte mit einer Genauigkeit von 83,5 % bestimmt werden. Aufgrund der stark heterogenen Textur und der damit verbundenen Mischpixelproblematik wird die eindeutige Zuweisung zu dieser Klasse erschwert. Anhand der Zuordnungsmatrix ist erkennbar, daß Fehlzusweisungen insbesondere in die Klassen Vegetationsloses Offenland (Tagebau) und Offenland mit hohem Anteil an Vegetation vorliegen. In die Klasse Ackerland wurden 9,7 % falsch zugewiesen. Ursache dieser hohen Fehlzusweisung ist die Erfassung der Vegetationsbestände wie



von auflaufenden landwirtschaftlichen Kultur- und Fruchtarten bzw. wie von Ruderalfluren mit einer nur sehr geringen Vegetationsdichte.

Die Flächenbilanz der Klasse Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation) weist einen prozentualen Flächenanteil von 5,3 % bezogen auf den gesamten Untersuchungsraum aus (vgl. Tab. 11, S. 59). Visuell betrachtet befindet sich diese Klasse insbesondere in Bereichen des vegetationslosen Offenlandes. So heben sich besonders die Vegetationsvorkommen der Tagebaue Espenhain, Zwenkau, Peres, Schleenhain sowie der Tagebau Groitzscher Dreieck hervor (vgl. Abb. 10, S. 55).

#### Offenland mit hohem Anteil an Vegetation (Ruderalvegetation)

Die innerhalb dieser *Land-Cover*-Klasse erfaßten Vegetationsbestände zeichnen sich gegenüber der bereits genannten Klasse durch einen hohen Anteil an Vegetation aus. So konnte für diese Klassen eine Genauigkeit von 82,9 % erreicht werden. Das Vorliegen eines hohen Artenspektrums sowie Dichtebesatzes, der von lückigen und sporadisch auftretenden Vegetationsbedeckungen bis hin zu älteren und dichteren Fluren mit einer hohen Vegetationsbedeckung reicht, läßt Fehlzuweisungen innerhalb dieser Klasse erwarten. So wurden aufgrund spektraler Ähnlichkeiten Überlagerungen mit den Klassen Offenland mit geringem Anteil Vegetation (1,9 %) sowie Ruderalflur mit Gehölzen (5,7 %) und der Klasse Grün-u. Ackerland (1,6-1,7 %) ermittelt. Eine deutliche Abgrenzung insbesondere gegenüber der Klasse Grün- und Ackerland ist erst bei Einsatz von multitemporalen Satellitenbilddaten zu erreichen.

Die Untersuchungen zur Flächenbilanz dieser Klasse (vgl. Tab. 11, S. 59) weisen einen flächenhaften Anteil von ca. 6 % für diese Klasse aus, die sich räumlich gesehen insbesondere in der Nähe der offenen Tagebaubereiche (Espenhain, Zwenkau, Bockwitz, Schleenhain sowie dem Speicherbecken Borna konzentrieren (vgl. Abb. 10<sup>25</sup>, S. 55).

#### Ruderalvegetation mit Gehölzen:

Bei der Klasse *Ruderalvegetation mit Gehölzen* handelt es sich um Vegetationsbereiche mit Merkmalen der Ruderalvegetation, die sich insbesondere aus der Kraut- und Strauchvegetation sowie lockerer Bestände spontaner Gehölze sowie Gehölze forstlicher Rekultivierung zusammensetzen. Die noch sehr lockeren sowie lückigen Vegetationsbestände ermöglichen unter Einsatz des NDVI eine spektrale Abgrenzung. Die Untersuchungen der Zuordnungswahrscheinlichkeit dieser Klasse zeigt, daß Zuweisungsfehler hinsichtlich der Klasse Gehölze (6,8 %) sowie der Klasse Offenland mit hohem Anteil an Vegetation (5,7 %) stärker ins Gewicht fallen.

Im Südraum Leipzig nimmt die Klasse Ruderalvegetation mit Gehölzen einen relativ geringen flächenhaften Anteil von ca. 4,8 % an der Gesamtfläche des Raumes ein (vgl. Tab. 11, S. 59). Räumlich gesehen können zum Vorkommen dieser Klasse Parallelen zu Beständen forstlicher Rekultivierung in den Tagebauen des Südraumes Leipzig gezogen werden. So findet sich Ruderalvegetation mit Gehölzen insbesondere im Tagebau Espenhain, Zwenkau sowie Bockwitz wieder. Die Vegetationsbereiche von Ruderalvegetation mit Gehölzen, die der Sekundärsukzession entstammen, wurden für das Rückhaltebecken Stöhma sowie Speicherbecken Borna ermittelt (vgl. Abb. 10, S. 55).

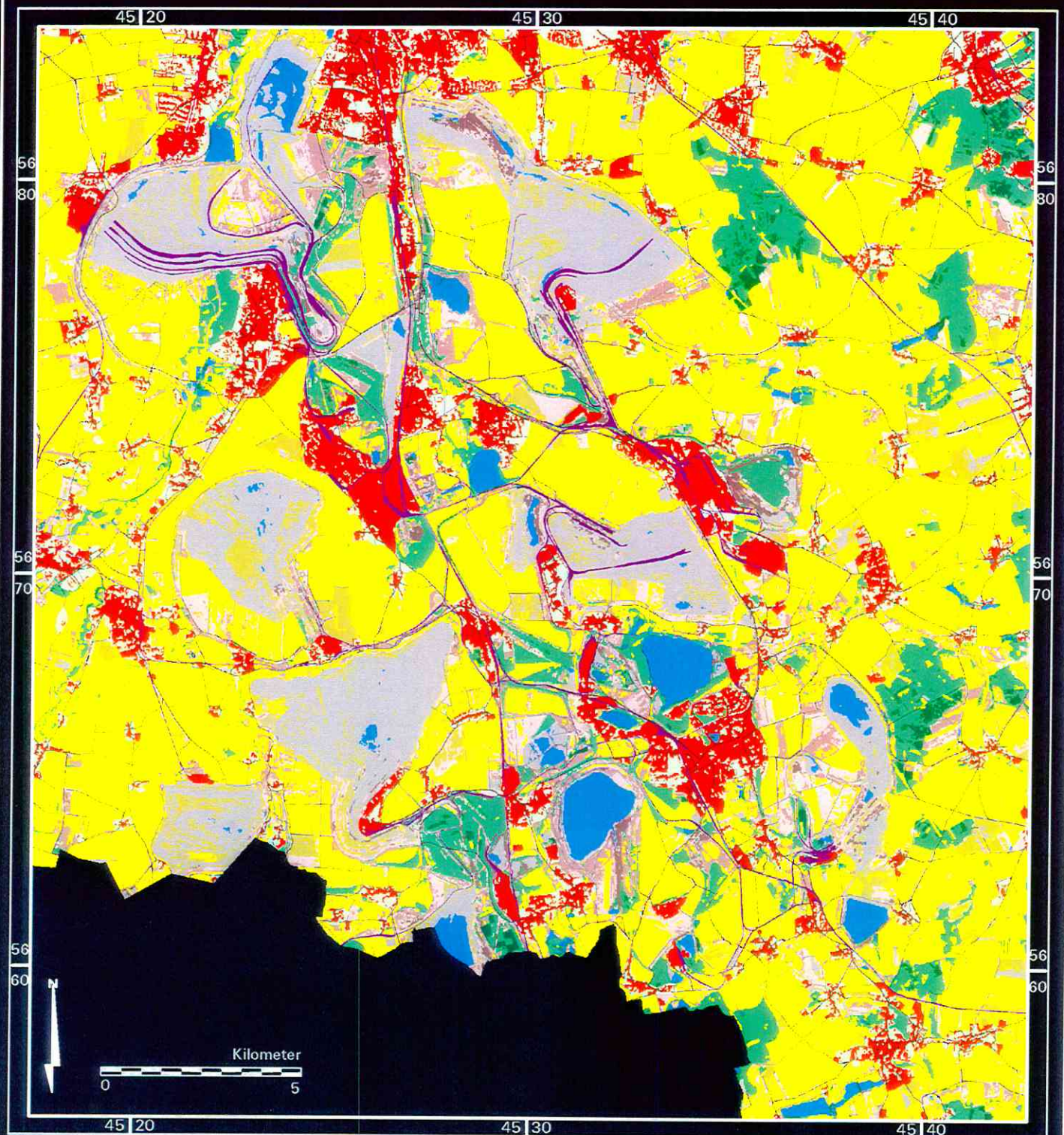
---

<sup>25</sup> Nächste Seite – Abb. 10: *Land-Cover*-Klassifikation von SPOT-XS – Südraum Leipzig – 1994



# Klassifikation Spot-XS (25.06.1994) - Südraum Leipzig

Integration des Verkehrsnetzes



- |  |  |  |
|--|--|--|
|  Offenland (vegetationslos)                                   |  Laubwald                       |  Gleisanlagen               |
|  Offenland mit geringem Anteil Vegetation (Pioniervegetation) |  Nadelwald                      |  Bundes- u. sonstige Straße |
|  Offenland mit hohem Anteil Vegetation (Ruderalvegetation)    |  Grün- u. Ackerland             |  Wirtschaftsweg             |
|  Ruderalvegetation u. Gehölze                                 |  Grün- u. Ackerland in Bebauung |  |
|  Gehölze  |  Wasser                         |  |
|  |  Bebauung                       |  |



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

Datengrundlagen:  
 Spot-XS (25.06.1994),  
 Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
 - Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



### Gehölze:

Unter der Klassenbezeichnung *Gehölze* werden Vegetationselemente wie Hecken und Gehölze verstanden, die als relativ geschlossene Bestände mit einer Mindestgröße von ca. 0,5 ha im Untersuchungsraum vorliegen. So besitzen neben solitär stehenden Gehölzen oder Gehölzgruppen in der Agrarlandschaft auch Waldsaumbereiche, Vorwälder sowie Schlagfluren, Wiederaufforstungsbereiche der Tagebaurekultivierung als auch Baumschulen übereinstimmende Signaturmerkmale, die in der Klasse Gehölze zusammengefaßt werden.

Die spektrale Trennbarkeit dieser Klasse erwies sich gegenüber den spektral ähnlich gelagerten Klassen Ruderalvegetation mit Gehölzen sowie Laubwald als recht schwierig. So konnte die Genauigkeit der Erfassung mit 82,6 % erst in der dritten bzw. vierten Ebene der hierarchischen Klassifikation erreicht werden. Dies steht im engen Zusammenhang mit den stark heterogenen Merkmalen dieser Klasse wie insbesondere unterschiedliche Artzusammensetzung, und Altersstufen sowie dem Vorliegen unterschiedlicher Bestandsdichten.

Die flächenhaften Analysen zu dieser Klasse weisen einen nur geringfügigen prozentualen Anteil von 1,1 % an der Gesamtfläche des Raumes aus, der sich räumlich gesehen auf die Tagebaue Espenhain, Zwenkau, Bockwitz, Speicherbecken Borna sowie die Hochhalde Trages konzentriert.

### Laubwald

In der Klasse *Laubwald* werden alle Baumbestände zusammengefaßt, welche sich einerseits durch ein relativ geschlossenes Kronendach sowie andererseits in der Dominanz von Laubgehölzen unterschiedlicher Artenzusammensetzung auszeichnen. So sind in dieser Klasse alle Vegetationsformationen von Laubgehölzen (Reinbestand), Laubmischwäldern als auch Laub-Nadel-Mischwäldern sowie Feuchtwäldern erfaßt. Eine weitere Differenzierung dieser Klasse, die eine Unterscheidung zwischen einzelnen Laubholzreinbeständen ermöglicht, ist aus spektraler Sicht zwar möglich, wurde jedoch aufgrund folgender Faktoren nicht durchgeführt:

- Zur Untersuchung der raum-zeitlichen Dynamik der Klassen ist die Ausweisung einheitlicher Klassen in allen untersuchten Zeitschnitten erforderlich. Erst hieraus lassen sich Aussagen bezüglich der Dynamik dieser Klassen ableiten.
- Für Untersuchungen der Landschaftsstrukturmaße ist es erforderlich, Elemente der Biotop- und Landschaftsstruktur in einer einheitlichen Aggregationsebene zu erfassen. Die Integration eines Pappelreinbestandes als zusätzliche Klasse würde zu einer Überbewertung der Gesamtklasse Laubwald führen.

Für den Südraum Leipzig konnte die Klasse Laubwald mit einer Genauigkeit von 84,8 % aus Satellitenbilddaten SPOT-XS erfaßt werden. Die Untersuchungen bezüglich der Fehlzugehörigkeiten zeigen, daß Zuweisungsfehler in die Klassen Nadelwald (7,4 %) sowie Gehölze (7,6 %) recht hoch liegen. So stellen insbesondere die fehlklassifizierten Vegetationsbestände Bereiche des Überganges von Gehölzen zu Laubwald sowie Bereiche ähnlicher flächenhafter Verteilung von Laub- und Nadelwald (z.B. Nadel-Laub-Mischbestände) dar, die spektrale Überschneidungen der Klassen hervorrufen.

Für die Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig wurde ein flächenhafter Anteil an Laubgehölzen von 7,8 % ermittelt. So prägen im Osten des Untersuchungsraumes insbesondere Altbestände an Laubwald wie beispielsweise das Oberholz sowie Waldbestände nahe Bockwitz den Raum, wohingegen innerhalb der Tagebaubereiche Laubwald vorliegt, der vorrangig aus der forstlichen Rekultivierung hervorgegangen ist (Tagebau Zwenkau, Hochhalde Trages, Tagebau Schleenhain, Speicherbecken Witznitz).



### Nadelwald:

Unter der *Land-Cover-Klasse Nadelwald* werden Vegetationsbestände aus Nadelwald (Reinbestand) Nadelmischwälder sowie Nadel-Laub-Mischwälder zusammengefaßt. Aufgrund der spektralen Eigenschaften von Nadelgehölzen, ist eine gute Trennung in der Klassifikation von SPOT-XS-Daten zu erwarten. Für den Südraum Leipzig kann die erreichte Klassifikationsgüte von 89,3 % als sehr gut eingeschätzt werden. Fehlklassifikationen erfolgten insbesondere in die Klassen Laubwald (7,4 %) sowie die Klasse Gehölze (2,7 %). Eine *reine* Erfassung wird auch innerhalb dieser Klasse nicht erreicht, da *Abgrenzungen* als solche in der Natur nicht existieren und fließende Übergänge von Laub und Nadelbäumen das reelle Muster eines Waldes prägen.

Für den Südraum Leipzig wurde ein nur sehr geringer flächenhafter Anteil von 0,9 % ermittelt, der sich insbesondere in den gewachsenen Waldbeständen des Raumes konzentriert.

### Grün- u. Ackerland:

Unter der Klassenbezeichnung *Grün- und Ackerland* werden Nutzarten wie Weide, Mähwiese, Wiese, brachgefallene Feuchtwiesen sowie ackerbauliche Kultur- und Fruchtarten verstanden. Die spektrale Trennbarkeit dieser Klasse gegenüber der Klasse Ruderalvegetation wird einerseits durch den Chlorophyllgehalt (Art und Gehalt) sowie andererseits dem Mosaik von Feldern mit überwiegend regelmäßigen relativ texturlosen Formen (Parzellen) bestimmt.

Für den Südraum Leipzig wurde für die Klasse Grünland eine Zuweisungswahrscheinlichkeit von nur 66,8 % erreicht. So zeigen die Untersuchungen der Zuordnungsmatrix (vgl. Tab. 10, S. 53), daß Fehlzusweisungen insbesondere in die Klasse Ackerland (30,5 %) vorliegen. So weisen die im Mai bzw. Juni aufgelassenen landwirtschaftlichen Flächen des Jahres 1994 einen bereits hohen Grünanteil mit einem hohen Anteil an Chlorophyll auf, wodurch die spektralen Ähnlichkeiten beider Klassen nicht ausgeschlossen werden können. Eine genaue Klassendifferenzierung kann für die Klassen Grün- und Ackerland erst bei multitemporalem Einsatz von Satellitenbilddaten innerhalb der Vegetationsperiode des Jahres erreicht werden.

Um diese Fehlergrößen nicht in die nachfolgende Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstruktur mittels der Erfassung von LSM einfließen zu lassen, wurden beide Klassen zur Gesamtklasse Grün- und Ackerland zusammengefaßt.

Die Klasse Grün- und Ackerland nimmt mit 42,3 % einen sehr dominanten Anteil an der Gesamtfläche des Raumes ein.

### Grün- u. Ackerland in Bebauung:

Die Klasse *Grün- und Ackerland in Bebauung* enthält alle Vegetationselemente der städtischen sowie ländlichen Siedlungsstrukturen wie beispielsweise Park- und Grünanlagen, begrünte Spielplätze sowie Verkehrsbegleitgrün. Die weitere Feindifferenzierung dieser Klasse wurde nicht vorgenommen. Eine Abgrenzung dieser Klasse gegenüber der Klasse Grün- und Ackerland konnte aufgrund der methodischen Vorgehensweise der vektoriiellen Ausmaskierung von städtischen und ländlichen Siedlungsstrukturen mit der nachfolgenden Klassifikation erreicht werden. Aufgrund der Kleinräumigkeit dieser Klasse enthält auch diese Klasse einen gewissen Anteil an Mischsignaturen. So bilden insbesondere die unterschiedlichen Oberflächenmaterialien der städtischen und ländlichen Bebauungsstrukturen sowie Vegetationsanteile das Gesamtspektrum der Information, wobei jedoch eine eindeutige Dominanz der Vegetation am Signal vorliegt.



Anhand der *Land-Cover*-Klassifikation von SPOT-XS-Daten wurde für diese Klasse ein flächenhafter Anteil von 5,6 % am Gesamttraum der Tagebaulandschaft ermittelt (vgl. Tab. 11, S. 59).

#### Wasser:

*Wasser* zeichnet sich durch ein niedriges Reflexionsvermögen und starkes Absorptionsvermögen im Bereich des Infrarot aus, wodurch eine klare Abgrenzung gegenüber den weiteren Klassen im Untersuchungsraum möglich ist. Desweiteren können anhand der Reflexionseigenschaften von Wasser Informationen über die qualitativen Eigenschaften wie Tiefe des Wasserkörpers, Anteile organischer und anorganischer Stoffe sowie dem Anteil des Chlorophyllgehaltes zum Gewässer abgeleitet werden (Kronberg 1985).

Ziel der vorliegenden Klassifikation ist die Erfassung der flächenhaften Ausdehnung von Tagebaurestseen, Stillgewässer sowie temporärer Kleingewässer. Eine weitere Feindifferenzierung von Gewässern hinsichtlich stofflicher Eigenschaften ist zwar möglich, stellt jedoch aufgrund der Zielstellung – Monitoring von Tagebaulandschaften – eine zu starke Klassendifferenzierung dar.

Hinsichtlich der Untersuchungen zur Flächenbilanz der Oberflächengewässer wurden für die Tagebaulandschaft ein prozentualer Gewässeranteil von 2,42 % für den Südraum Leipzig aus SPOT-XS-Daten für das Jahr 1994 ermittelt. Die räumliche Verteilung der Oberflächengewässer ist gut visuell dem Ergebnis der Satellitenbildklassifikation (vgl. Abb. 10, S. 55) zu entnehmen.

#### Vegetationsloses Offenland (Tagebau)

Die Klasse *Vegetationsloses Offenland (Tagebau)* setzt sich aus vegetationsfreien und unverbauten Flächen zusammen, wie sie besonders beim großflächigen Rohstoffabbau (Kohleabbau) entstehen.

Die Reflexionseigenschaften von Boden und Gesteinen werden durch die Beschaffenheit der Oberfläche, ihre mineralische Zusammensetzung, Partikelgröße (Körnung), Oberflächenrauigkeit, Art der Verwitterung sowie dem Feuchtegehalt bestimmt (Hildebrandt 1996). Aufgrund des bereits beschriebenen kleinräumigen Mosaiks unterschiedlich vorkommender Substrat- und Bodeneigenschaften der Tagebaue, zeigen die Oberflächenmaterialien stark heterogene Reflexionseigenschaften. Untersuchungen von Schmidt (1995) im Südraum Leipzig bestätigen, daß eine genaue Bestimmung von Oberflächenmaterialien der Tagebaulandschaft nur in engem Zusammenhang mit Spektralanalysen für die jeweils vorliegenden Oberflächenmaterialien realistisch sind.

Die vorliegende Zielstellung der Arbeit – Monitoring der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig – macht die Erfassung der räumlichen Verteilung dieser Klasse erforderlich. Aufgrund der oben genannten Faktoren sowie der spektralen Einschränkungen, die bei der Verwendung des Sensors SPOT-XS entstehen, wurde auf eine weitere Differenzierung dieser Klasse verzichtet.

Für die Klasse *Vegetationsloses Offenland* konnte eine Klassifikationsgenauigkeit von 90,5 % erreicht werden. Fehlerhafte Zuweisungen wurden insbesondere in die Klassen *Offenland* mit geringem Anteil an Vegetation (2,3 %) sowie die Klasse *Ackerland* (6,3 %) ermittelt. So zeigen die umbrochenen Flächen (ohne Vegetation) spektrale Ähnlichkeiten mit der Klasse *Vegetationsloses Offenland (Tagebau)*. Aufgrund der bereits im Vorfeld getrennt untersuchten Klassen *Bebauung* und *Vegetationsloses Offenland (Tagebau)*, konnten Überschneidungen beider Klassen vermieden werden.

Die Untersuchungen der Flächenbilanzierung im Südraum Leipzig zeigten, daß die Klasse *Vegetationsloses Offenland* einen Anteil von ca. 10 % im Gesamttraum einnimmt. Dies wird auch



aus der visuellen Betrachtung der großflächigen Tagebaubereiche, die insbesondere die Landschaft des Südraumes prägen, ersichtlich (vgl. Abb. 10, S. 55).

### Bebauung

Die Klasse Bebauung kennzeichnet alle im Satellitenbild erfaßten Oberflächen der städtischen und ländlichen Siedlungsstrukturen, die sich vorrangig aus den Materialien Bauholz, Stein sowie Metall zusammensetzen. Aufgrund der Ausmaskierung und separat durchgeführten Klassifikationen der Klassen Bebauung und Vegetationsloses Offenland (Tagebau), konnte für die Klasse Bebauung eine Klassifikationsgüte von 87 % erreicht werden. Die Klasse Bebauung ist aufgrund der Kleinräumigkeit, eine spektral sehr heterogene Klasse, die sich überwiegend aus einem Mischsignal von Reflexionen verschiedener Oberflächenmaterialien (Holz, Stein, Metall) sowie Anteilen der Vegetation zusammensetzt. Hierbei dominiert jedoch der Anteil der Baumaterialien. Aufgrund der bestehenden Heterogenität der Klassen Bebauung sowie Grün- und Ackerland in der Bebauung treten spektrale Überlagerungen der Signaturen beider Klassen auf. Eine weitergehende Differenzierung der Klasse in 'lockere' und 'dichte' Bebauung wie sie bei Spitzer (1996) sowie Heinz (1999) durchgeführt wurden, erwies sich für die vorliegende Fragestellung als nicht sinnvoll, da Fragen der Urbanisierung nicht Gegenstand der Untersuchungen waren.

Im Südraum Leipzig nimmt die Klasse Bebauung einen flächenhaften Anteil von 9 % ein. Dabei nehmen die ehemaligen Industriestandorte Böhlen, Borna sowie Espenhain den größten flächenhaften Anteil an der Klasse Bebauung ein (vgl. Abb. 10, S. 55).

Tab. 11: Flächenbilanz der *Land-Cover*-Klassen aus SPOT-XS-Daten für das Jahr 1994

<i>Land-Cover</i> -Klassen	SPOT-XS (1994)	
	Fläche in (ha)	Fläche in (%)
Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation)	3173,6	5,3
Offenland mit hohem Anteil an Vegetation (Ruderalvegetation)	3663,5	6,0
Ruderalvegetation mit Gehölzen	2889,4	4,8
Gehölze	693,0	1,1
Laubwald	4681,1	7,8
Nadelwald	538,0	0,9
Grün-u. Ackerland	25500,4	42,3
Grün-u. Ackerland in Bebauung	3380,9	5,6
Wasser	1459,2	2,4
Vegetationsloses Offenland (Tagebau)	5940,5	9,8
Bebauung	5544,0	9,2
Gleisanlagen*	939,9	1,6
Bundesstraße*	138,9	0,2
Sonstige Straße*	871,9	1,4
Wirtschaftsweg*	913,3	1,5
<b>Gesamt</b>	<b>60.327,6 ha</b>	<b>100,0</b>

(\* Zusatzinformationen –Verkehrsnetz- ist der Biotoptypenkartierung Sachsens entnommen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul 1993)

### **Zusammenfassung**

- *Der Einsatz der hierarchischen Klassifikationsmethode (Abb. 8, S. 39) erwies sich für die Durchführung der Land-Cover-Klassifikation von SPOT-XS-Satellitenbilddaten als zielführend.*



*Bei einer Klassifikationsgüte von 85,5 % konnten sehr gute Klassifikationsergebnisse erreicht werden.*

- Das Vorliegen von nur einer Satellitenbildszene pro Jahr ermöglicht eine nur bedingt fehlerfreie Trennung der Klassen Grün- und Ackerland. Beide Klassen wurden zur Gesamtklasse Grün- und Ackerland zusammengefaßt.*
- Unter Einsatz des Sensors SPOT-XS ist eine weitergehende Differenzierung der Klassen möglich. Hinsichtlich der Durchführung eines Landschaftsmonitorings sowie der Ableitung von LSM macht sich jedoch die Erfassung von „relativ stabilen“ Klassen erforderlich, deren Erfassung in allen untersuchten Zeitschnitten garantiert werden kann.*
- Die Erfassung der Land-Cover-Oberflächenbedeckung des Südraumes Leipzig ermöglicht konkrete Aussagen über die flächenhafte Verteilung der genannten Klassen. So dominieren insbesondere die Klassen Grün- und Ackerland sowie Vegetationsloses Offenland in der Tagebaulandschaft.*
- Die erfaßten Land-Cover-Klassen stellen eine gute Ausgangsbasis für die folgenden Untersuchungen zum Landschaftsmonitoring sowie der Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstruktur des Südraumes Leipzig dar.*

### **7.3 Erfassung linearer Landschaftselemente**

Lineare Landschaftselemente, wie sie insbesondere das Verkehrsnetz darstellt, sind wichtige Daten, um Aspekte der Habitatfragmentierung (Lynch & Wickham 1984, Reese & Ratti 1988, Lauga & Joachim 1992, Gardner et al. 1993, Ritters et al. 1997, Wickham et al. 1997, Kuhn 1997), das Mosaik, sowie die großräumige Zerschneidung (Fischbacher 1995) einer Landschaft zu untersuchen. Grundvoraussetzung für deren Bestimmung ist jedoch die digitale und nicht nur rein visuelle Erfassung des Verkehrsnetzes aus Fernerkundungsdaten. So wird nach Haberäcker (1987) die Mindestgröße der digitalen Erfassung und Identifizierung von Objekten bzw. Landschaftselementen mit dem sogenannten Abtasttheorem bestimmt, wonach eine Fläche für ihre eindeutige Identifizierung eine Mindestausdehnung vom doppelten der Länge der Diagonalen eines Bildelementes aufweisen muß. Für die vorliegenden SPOT-XS-Daten mit einer geometrischen Auflösung von 20 x 20 m<sup>2</sup> Bodenpixel bedeutet dies eine Diagonallänge der Raster von ca. 56 m und einer Fläche von 0,31 ha. Kleinere Landschaftselemente werden somit grundsätzlich als Mischpixel (uneinheitliche Mischnutzung) erfaßt. Diese Mischpixel sind als einzelne Bildelemente automatisch nicht auszuwerten. Die Folge dessen sind Fehlklassifikationen, da diese Pixel zufällig „statistisch reinen“ Klassen entsprechen können (Toulious et al. 1990). Eine digitale Erfassung auf Grundlage einer Klassifikation genannter linearer Kleinstrukturen wie Hecken, Alleen sowie das Verkehrsnetz war daher für die untersuchten SPOT-XS Bilddaten aufgrund der genannten Einschränkungen nicht möglich (vgl. Tab. 12, S. 63). Dies wird auch durch die Untersuchungen von Backhaus & Thier (1995) sowie Backhaus (1995) bestätigt.

Die hohe geometrische Auflösung von Bilddaten der Sensoren KVR-1000 (2 x 2 m<sup>2</sup>), IRS-1C/PAN (5,8 x 5,8 m<sup>2</sup>), sowie SPOT-PAN (10 x 10 m<sup>2</sup>) ermöglicht eine z.T. extrem hohe Detailerkennbarkeit von Landschaftselementen. Hieraus ergab sich für die weitergehenden



Untersuchungen die Fragestellung, inwieweit diese Bilddaten unter Einsatz globaler Filteroperatoren zur digitalen Erfassung linearer Landschaftselemente geeignet sind.

Bestimmte Filter bewirken eine Konservierung räumlicher Informationen, dies betrifft insbesondere Texturen sowie lineare Elemente, sogenannten Kanten (*edge*). Hierbei werden die Grauwerte jedes Pixel's der Kanten aus den Grauwerten der umliegenden Bildelemente neu berechnet. Für die vorliegende Untersuchung kamen der Hochpaßfilter *Edge-enhancement* (vgl. Abb. 11<sup>26</sup>, S. 62) zum Hervorheben von Kanten und Grenzen, der Kantenfilter *Edge-detection* sowie verschiedene Algorithmen des *Laplace-Filters* zur Anwendung. Um die erzielten Effekte der Filteroperationen quantifizieren zu können bzw. deren Qualität zu beurteilen, wurden für den Bilddatensatz der *Edge-enhance*-Filterung unter Nutzung des Ausgangs- und gefilterten Ergebnisbilddatensatzes ein Differenzbild erzeugt (vgl. Abb. 11, S. 62).

Die Ergebnisse der digitalen Erfassung und nachfolgenden Thematisierung linearer Landschaftselemente erwiesen sich nach anfänglich guten Teilergebnissen im weiteren Verlauf der digitalen Verarbeitung im Hinblick auf die Zielstellung der Erfassung linearer Landschaftselemente (Verkehrsnetz, Kanten von Ackerschlägen) als unbrauchbar. Folgende Gründe sind maßgebend:

1. Die durch Filteralgorithmen erfaßbaren Kanten und linearen LE, die in der Abb. 11 (S. 62) sichtbar sind, sind einerseits das Resultat der Verstärkung kleinräumig auftretender Grautonunterschiede (*Edge-enhancement*) als auch andererseits die Folge des Hervorhebens von Grautonsprüngen. Beide werden durch den Wechsel unterschiedlicher Nutzungsstrukturen als Abbild der hochfrequenten Bildinformation erzeugt. Unter Einsatz der Filteroperatoren erfolgt somit keine direkte Erfassung linearer Landschaftselemente, sondern es wird nur deren Kontrast zu den benachbarten Biotop- und Flächennutzungsstrukturen abgebildet. Tagebaustrukturen mit einer hohen räumlichen Heterogenität werden durch die Kanten (*edges*) sehr gut hervorgehoben (vgl. Abb. 11, S. 62 und Abb. 12, S. 64).
2. Kleinräumige sowie lineare *Land-Cover*-Klassen bzw. Landschaftselemente unterliegen aufgrund unzureichender geometrischer Auflösung der Sensoren der Mischpixelproblematik. So ergeben sich die spektralen Signaturen linearer LE aus der Reflexion von Objekten verschiedener Klassenzugehörigkeit (z.B. Straßennetz, Gehölze, Alleen). In Abhängigkeit von der Signalzusammensetzung werden anhand des eingesetzten Filters die Kanten (*edges*) unterschiedlich stark extrahiert, was zu häufigen *Brüchen* bzw. *Unterbrechungen* der Kanten führt. Somit ergibt sich für die digitale Erfassung von Kanten keine klare homogene und durchgängige lineare digitale Information. Das Vorliegen eines durchgängigen, nicht unterbrochenen Verkehrsnetzes ist jedoch Voraussetzung zur quantitativ richtigen Erfassung von LSM wie beispielsweise Formmaße (vgl. Kap. 8.1, S. 66).
3. Innerhalb des Bildes werden zahlreiche hochfrequente Bildelemente (z.B. spektrale Kanten entstehen durch das heterogene und kleinräumige Relief als Ergebnis der Ablagerung des Abraummateriale des Kohlabbaus wie z.B. Schüttrippen, Absetzerkippen, Spülkippe) als Kanten klassifiziert, dies führt zu einem erheblichen Anteil von Artefakten. Diese können nicht problemlos aus dem Bilddatensatz eliminiert werden.

---

<sup>26</sup> Nächste Seite – Abb. 11: Vergleich panchromatischer Bilddaten verschiedener Sensoren – Tagebau Espenhain

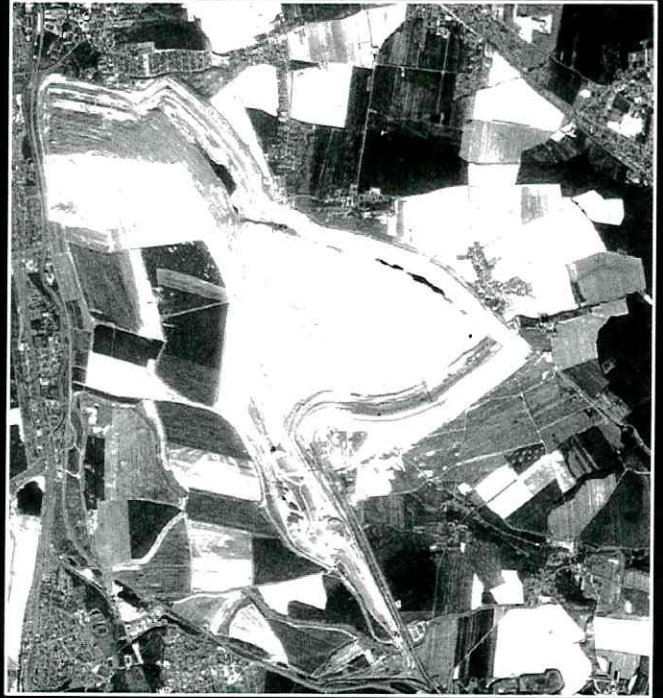


# Vergleich panchromatischer Bilddaten verschiedener Sensoren

**SPOT-PAN**  
(10 Meter/Pixel)



**KVR-1000**  
(ca. 2 Meter/Pixel)



**IRS-1C / PAN**  
(5,8 Meter/Pixel)



Differenzenbild der Filterung  
IRS-1C / PAN (ungefiltert) - 5x5 Edge Enhance



SPOT-PAN



KVR-1000



IRS-1C / PAN



Differenzenbild



Kilometer  
0 2

Kilometer  
0 1



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

Datengrundlagen:

SPOT-PAN 16.05.1994,  
Kantenfilterung 5x5 Edge Enhance  
KVR-1000 16.05.1992,  
Kantenfilterung 5x5 Edge Enhance  
IRS-1C / PAN 23.08.1996,  
Kantenfilterung 5x5 Edge Enhance



Die vorliegenden Untersuchungen sowie die Literaturrecherche bezüglich der Extraktion linearer Landschaftselemente (Verkehrsnetz) zeigen, daß aufgrund der vorliegenden geometrischen Beschränkungen der multispektralen als auch panchromatischen Satellitenbilddaten keine zufriedenstellende digitale Erfassung kleinräumiger Klassen möglich ist (Backhaus 1995, Backhaus & Thier 1995). So konnten zwar unter der Ausnutzung unterschiedlicher Filteralgorithmen, insbesondere den *Laplace-Operatoren* für geometrisch hochauflösende panchromatische Bilddaten (Spitzer 1996, Weichelt 1997), eine Verbesserungen innerstädtischer Kantenstrukturen sowie linearer Raumstrukturen erreicht werden, eine digitale Erfassung dieser Klassen ist jedoch auch hier nicht möglich. Burger (1992) erwähnt, daß für eine eindeutige Erfassung linienhafter Elemente aus Landsat-TM Daten, eine Mindestbreite dieser von ca. 60 Metern erforderlich ist. Für die digitale Erfassung einer Straße mit ca. 10 Meter Breite ist somit eine geometrische Auflösung der Satellitenbilddaten von ca. 2-3 Metern erforderlich.

Tab. 12: Möglichkeiten der visuellen / digitalen Erfassung von Landschaftselementen aus Fernerkundungsdaten

Landschaftselemente (LE)	Satellitenbilddaten							Luftbilddaten	
	LANDSAT-TM	SPOT-XS	SPOT-PAN	IRS-1C/LISS III	IRS-1C/PAN	KVR-1000	DEA-DALUS	CIR	CIR
	1: 50.000	1:25.000 - 1:50.000	1:10.000 - 1:25.000	1:25.000 - 1:50.000	1:10.000	1:5.000	1:5.000	1:25.000	1:10.000
<b>Lineare LE</b>									
Fließgewässer	[x] / ---	[x] / ---	x	x / ---	x	x	x / [#]	[x]	x
Gleisanlagen	[x] / ---	x / ---	x	x / ---	x	x	x / [#]	x	x
Bundesstraße, Autobahn	x / ---	x / [#]	x	x / [#]	x	x	x / #	x	x
Straßen	[x] / ---	x / ---	x	x / ---	x	x	x / [#]	x	x
Wirtschaftsweg	- / ---	[x] / ---	x	[x] / ---	x	x	x / ---	x	x
Hecken	- / ---	- / ---	x	- / ---	x	x	x / [#]	[x]	x
Sträucher u. Gehölze	- / ---	- / ---	x	- / ---	x	x	x / [#]	[x]	x
Alleen	- / ---	- / ---	x	- / ---	x	x	x / [#]	x	x
<b>Flächenhafte LE</b>									
Pioniervegetation	x / [#]	x / #	---	---	[x]	[x]	x / #	[x]	x
Kraut- u. Strauchvegetation	x / #	x / #	[x]	x	x	x	x / #	x	x
Gehölze	x / #	x / #	[x]	x	x	x	x / #	x	x
Laub- u. Laubmischwald	x / #	x / #	x	x	x	x	x / #	x	x
Nadelwald	x / #	x / #	x	x	x	x	x / #	x	x
Gewässer	x / #	x / #	x	x	x	x	x / #	x	x
Vegetationsloses Offenland/ Tagebauflächen	x / #	x / #	x	x	x	x	x / #	x	x
Bebauung	x / #	x / #	x	x	x	x	x / #	x	x
Verkehrsflächen	x / [#]	x / [#]	x	x	x	x	x / #	x	x

(x = visuell erfaßbar, [x] = visuell nur teilweise erfaßbar, - visuell nicht erfaßbar)

(# = digital erfaßbar, [#] = digital nur teilweise erfaßbar, --- digital nicht erfaßbar)

(vgl. hierzu auch Abb. 11, S. 62 Abb. 12<sup>27</sup>, S. 64))

<sup>27</sup> Nächste Seite – Abb. 12: Satellitenbild sowie Satellitenbildkomposit – multisensorale Verschneidung von Bilddaten mit unterschiedlicher geometrischer und spektraler Auflösung – Tagebau Espenhain



**Satellitenbild sowie Satellitenbildkomposit**  
 - multisensorale Verschneidung von Bilddaten mit  
 unterschiedlich geometrisch und spektraler Auflösung -  
**LANDSAT-TM** **LANDSAT-TM / SPOT-PAN**



**IRS-1C/LISS III / IRS-1C/PAN**

**IRS-1C/LISS III / KVR-1000**



**LANDSAT-TM**

**LANDSAT-TM /  
SPOT-PAN**

**IRS-1C/LISS III /  
IRS-1C/PAN**

**IRS-1C/LISS III /  
KVR-1000**

**Kilometer**  
0 2



**Kilometer**  
0 1

**Datengrundlagen:**

- LANDSAT-TM 14.10.1996, Kantenerkennung 7x7 Edge Enhance
- LANDSAT-TM / SPOT-PAN 21.07.1994, Edge Enhance 3x3, 10.05.1994, Edge Enhance 3x3, Resolution Merge, Edge Enhance 3x3, Kanal kombination 1,5,7
- IRS-1C/LISS III / IRS-1C/PAN 23.08.1996, Edge Enhance 3x3, 23.08.1996, Edge Enhance 3x3, Resolution Merge, Edge Enhance 3x3, Natural Color, Kanal kombination 1,2,3
- IRS-1C/LISS III / KVR-1000 23.08.1996, Edge Enhance 3x3, 10.05.1994, Edge Enhance 3x3, Resolution Merge, Edge Enhance 3x3, Natural Color, Kanal kombination 1,2,3



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



## 8 Einflußfaktoren der Erfassung und Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen aus Fernerkundungsdaten

Zahlreiche Arbeiten heben die Bedeutung von Landschaftsstrukturmaßen für landschaftsökologische Fragestellungen hervor (vgl. Tab.1) und nutzen Methoden der Fernerkundung zu deren Erfassung (Krummel et al. 1987; Luque et al. 1994; Menz 1997; Zheng 1997; Koch & Werder 1998; Baruth 1998). Derzeit existiert bereits eine fast unüberschaubare Menge an Arbeiten zu Landschaftsstrukturmaßen, die insbesondere Luft- und Satellitenbilddaten zur raumstrukturellen Analyse einsetzen. Gerade hierbei zeigt sich jedoch die Notwendigkeit der Definition von Rahmenbedingungen für die Quantifizierung landschaftsökologischer Indizes. Es existieren keinerlei Normierungsansätze, wodurch eine Vergleichbarkeit von gewonnenen Ergebnissen zu Landschaftsstrukturmaßen nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Zielstellung der vorliegenden Teiluntersuchung ist es, am Beispiel des Landschaftsstrukturmaßes *SHAPE* (*Shape index*), die für das Monitoring notwendigen Einflußfaktoren hinsichtlich folgender Kriterien zu prüfen:

1. Überprüfung, ob mit Hilfe des klassifizierten Satellitenbildes eine realitätsnahe Abbildung der Landschaft erfolgt und welchen Einfluß die Integration linearer Objekte, wie sie insbesondere das Verkehrsnetz darstellt, auf die Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen haben.
2. Verwendung unterschiedlicher Rasterzellgrößen sowie geometrischer Auflösungen von Satellitenbilddaten.
3. Einsatz von unterschiedlichen Datenmodellen der Datenerfassung (Satellitenbilddaten = Rastermodell, Biotoptypenkartierung = Vektormodell)

### Landschaftsstrukturmaß - *SHAPE* (*Shape index*)

Die Analyse der Gestalt von Landschaften ist für die landschaftsökologische Prozeßforschung zu einem wichtigen Untersuchungsgegenstand geworden (vgl. Forman & Godron 1986, McGarigal & Marks 1994). So spielen Gestaltindizes insbesondere bei populationsökologischen Fragestellungen zu Vorkommen, Abundanz und Migrationsprozessen von Arten eine große Rolle (Hamazaki 1996; Hawrot et al. 1996, Samietz, 1998). Gestalt und Form von Landschaftselementen werden auch in Untersuchungen zur Dynamik von Landschaften verwendet (Kienast 1993, Ruuska & Helenius 1996; Poudevigne & Alard 1997, Palang et al. 1998; Dramstad et al. 1998; Lausch 1999b, 1999c, Herzog et al. 1999a, 1999b). Anhand von form- und gestaltsmäßigen Aspekten werden Änderungen von Flächen raum-zeitlich erfaßt, verglichen und bewertet.

Der *Shape index* (*SHAPE*) als ein Maß für die Gestalt wurde durch Forman & Godron (1986) in die Landschaftsökologie eingeführt. Mit Hilfe dieses Indexes wird die Komplexität der Gestalt eines Landschaftselementes durch den Vergleich mit einer Standardgestalt (Rasterdaten = Quadrat) ermittelt. Je weiter die Gestalt des Landschaftselementes vom quadratischen Standard abweicht, desto größer ist der Wert des *Shape index*.

Die Quantifizierung beruht auf der Analyse des Verhältnisses von Fläche zum Umfang und wird mit folgender Formel beschrieben (McGarigal & Marks, 1994):



$$SHAPE = \frac{0,25p}{\sqrt{a}}$$

a Fläche des *Patches* [m<sup>2</sup>]

p Umfang des *Patches* [m]

*Shape index (SHAPE)* >=1; dimensionslos

## 8.1 Realitätsnahe Abbildung der Landschaft durch das klassifizierte Satellitenbild?

Für das Untersuchungsgebiet Südraum Leipzig wurden die Bilddaten des Sensors SPOT-XS vom 25.6.1994 einer hierarchischen Klassifikation nach dem Maximum-Likelihood-Algorithmus unterzogen, mit deren Hilfe elf *Land-Cover*-Klassen unterschieden wurden (vgl. Kap. 6, S. 35). Die Eliminierung von Einzelpixeln erfolgte durch den Prozeß *Eliminate*. Aufgrund der geringen geometrischen Auflösung (20 Meter/Pixel) der multispektralen Spot-XS-Daten konnte das vorliegende Verkehrsnetz zwar teilweise visuell erfaßt, jedoch nicht zufriedenstellend klassifiziert werden. Zur Untersuchung des Einflusses linearer Elemente auf Landschaftsstrukturmaße wurde das Klassifikationsergebnis auf eine Rasterzellgröße von 10 Meter/Pixel transformiert und das zuvor in 10 Meter gerasterte Verkehrsnetz aus der vektoriiellen Biotoptypenkartierung Sachsens für das Jahr 1993 den Bilddaten der *Land-Cover*-Klassifikation überlagert.

Die Klassen der Biotoptypenkartierung wurden in Anlehnung an das SPOT-Klassifikationsergebnis ebenfalls auf 10 Meter/Pixel gerastert und nachfolgend das Verkehrsnetz im Rasterformat integriert. Die Landschaftsstrukturmaße wurden für die im Rasterformat vorliegenden Flächennutzungsdaten des Südraumes von Leipzig mit Hilfe des Strukturanalyseprogrammes FRAGSTATS (Vers. 2.0, McGarigal & Marks 1994) berechnet.

### Ergebnisse

Für den Untersuchungsraum wurden die *Shape index*-Werte mit und ohne Integration des Verkehrsnetzes für jedes *Patch* berechnet und graphisch dargestellt (vgl. Abb. 13, S. 68). Hierbei zeigt der *Shape index* für die *Land-Cover*-Klassifikation aus SPOT-XS-Daten (ohne Verkehrsnetz) ungewöhnlich hohe Werte. So weisen insbesondere für die im Osten und Westen des Untersuchungsraumes gelegenen landwirtschaftlichen Nutzflächen hohe Werte (*SHAPE* >6) auf. Diese Räume sind jedoch durch ein hohes Maß an Landschaftszerschneidung sowie eine stark anthropogene Beeinflussung geprägt. Dies wird erst nach der Integration des Verkehrsnetzes sichtbar. Es entsteht eine realitätsnähere Abbildung und Quantifizierung der Patternstruktur der Landschaft mit Werten zwischen 2 und 4.

Die sehr hohen *SHAPE*-Werte im ursprünglichen Satellitenbild weisen eindeutig darauf hin, daß die Landbedeckungsklassifikation die Form und das Muster von Einzelflächen des Raumes nicht in genügendem Maße wiedergeben kann. Dies hat folgende Gründe:

1. Die Klassenausweisung bei automatischen pixelorientierten Verfahren wird im wesentlichen durch die spektral unterscheidbaren Merkmale bestimmt. Aufgrund der Klassifikation nur einer Satellitenbildszene konnten die Klassen Ackerland und Grünland nicht eindeutig voneinander



getrennt werden. Hieraus ergab sich die Notwendigkeit der Klassenaggregation zu Gesamtflächen agrarischer Nutzung, wodurch der Eindruck der Existenz großflächiger und homogener agrarischer Bereiche entsteht.

2. Die Unterscheidung von Landschaftselementen aus Fernerkundungsdaten wird durch die geometrische Auflösung des Sensors wesentlich mitbestimmt. Lineare Landschaftselemente (Verkehrsnetz) und lineare Kleinstrukturen wie Hecken und Alleen können aufgrund der bereits in Kap. 7.3 (S. 60) genannten Einschränkungen in den geometrischen und spektralen Eigenschaften der Fernerkundungsdaten bisher nur unzureichend klassifiziert werden (vgl. Tab. 12, S. 63).

Eine ähnliche Tendenz der *SHAPE*-Werte zeigt sich bei der Verwendung der Biotoptypenkartierung. Durch den Prozeß der Rasterung kommt es zur Aggregation von *Patches* gleicher Flächennutzung und somit sehr hohen *SHAPE*-Werten (vgl. Abb. 13<sup>28</sup>, S. 68). Erst die flächenhafte Integration des Verkehrsnetzes in die Biotoptypenkartierung ermöglicht die Ausweisung von *Patches* und deren Quantifizierung.

In zahlreichen Untersuchungen (vgl. Tab. 3, S. 20) wird ein *Shape index (SHAPE)* zur Analyse von Landschaftsveränderung (Monitoring), zur Landschaftsbeschreibung sowie für die Charakterisierung der Habitatqualität angewendet. Dazu werden zunehmend Fernerkundungsdaten verwendet. Die hier vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß die geometrischen und spektralen Eigenschaften der Satellitenbilddaten teilweise zu unzureichenden Ergebnissen führen, die sogar gravierende Fehlansagen im Hinblick auf den Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen für Bewertungen zur Folge haben können. Das Beispiel des *Shape index* zeigt die Notwendigkeit der richtigen Einschätzung der Datenqualität sowie der Beachtung der für die Erfassung notwendigen Rahmenbedingungen. Es macht wenig Sinn, Form- und Landschaftsstrukturmaße von Flächen auszuweisen, wenn deren Muster nur unzureichend erfaßt werden kann.

In einer Vielzahl von Untersuchungen wurde bisher auf die Erfassung von linearen Objektstrukturen hingewiesen (Hildebrand 1996, Olmos & DeLucio 1998, Lausch & Menz 1999) bzw. deren Maßstabsabhängigkeit untersucht. Levin (1992) verwies auf die Abhängigkeit landschaftsökologischer Prozesse von der Maßstabsebene der erfaßten Daten. Lineare Elemente zeigen durch ihre Fläche eine größere Skalenabhängigkeit als flächenhafte Landschaftselemente (Levin 1992). Den sich hieraus ergebenden Forderungen, Skaleneffekte in der Landschaftsforschung zu berücksichtigen, wird leider nur unzureichend Rechnung getragen.

---

<sup>28</sup> Nächste Seite – Abb. 13: *SHAPE INDEX (patch-level)* quantifiziert aus Satellitenbilddaten (SPOT-XS) sowie der Biotoptypenkartierung Sachsens – Südraum Leipzig - 1994



# SHAPE INDEX (patch-level) - Südraum Leipzig - 1994

Spot-XS  
(11 LC-Klassen)



**Biotoptypenkartierung Sachsen**  
(11 Biotoptypen angepaßt an Spot-XS-LC-Kl.)

Spot-XS  
(11 LC-Kl. + Verkehrsnetz aus Biotoptypenkart.)



**Biotoptypenkartierung Sachsen**  
(11 Biotoptypen angepaßt an Spot-XS-LC-Klassen)  
+ Verkehrsnetz



SHAPE INDEX (patch-level) - dimensionslos  
Bewertung der Komplexität der Gestalt eines Patches durch den Vergleich mit einer Standardgestalt (Quadrat)



(sehr hoch) Datengrundlagen:

Klassifikation Spot-XS 1994 (25.06.1994)  
Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
(Biotoptypen und Verkehrsnetz)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



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





Für Untersuchungen der Form (*SHAPE*) von *Patches* aus Fernerkundungsdaten zur Charakterisierung von Landschaftsstrukturen und deren Veränderungen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Integration von Zusatzinformationen (ground truth) in Flächennutzungsdaten, wenn diese mit Fernerkundungsdaten nicht bzw. nur unzureichend erfaßbar sind (vgl. Abb. 13, S. 68)
2. Ermittlung der *Patches* als Basisraumeinheit in Abhängigkeit von der Fragestellung
  - a) *Untersuchung des Zerschneidungsgrades der Landschaft:*
    - Integration des Verkehrsnetzes
    - eine zusätzliche Erfassung des Musters landwirtschaftlicher Flächen ist nicht notwendig, da das Muster einzelner Ackerschläge keine Aussage zum Zerschneidungsgrad liefert
    - ggf. Integration weiterer linearer Landschaftselemente (Hecken, Fließgewässer) wenn durch diese eine Zerschneidung der Landschaft hervorgerufen wird
  - b) *Untersuchung der Veränderung des Musters landwirtschaftlicher Flächen bzw. Auswirkungen des Menschen auf die Kulturlandschaft*
    - hierbei ist die Erfassung einzelner Ackerschläge sowie deren Nutzung erforderlich (Notwendigkeit von mehreren Satellitenbildszenen/Jahr)
    - die Integration des Verkehrsnetzes führt hier zu keinem Wissenszuwachs
3. Integration linearer Elemente nach Eliminierung von Kleinstflächen (Mischpixel, Fehlklassifikationen)

## 8.2 Wahl von Daten unterschiedlichen Datenursprungs (Raster- und Vektordaten)

Aufgrund der derzeit für Satellitenbilddaten vorliegenden geometrischen und spektralen Beschränkungen, ist eine hybride Kombination von rasterbasierten Satellitenbilddaten mit der vektoruell erfaßten Biotoptypenkartierung aus Luftbilddaten unerläßlich. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit die Verwendung unterschiedlicher Datenmodelle der Datengrunderfassung (Satellitenbilddaten = rasterbasiertes Datenmodell; Luftbilddaten und der daraus digital erfaßten Biotoptypenkartierung = vektorbasiertes Datenmodell) bereits Änderungen von Landschaftsstrukturmaße nach sich ziehen.

Für diese Untersuchung wurden die Biotop- und Landnutzungstypen der Biotoptypenkartierung Sachsens (Landesamt für Umwelt und Geologie Radebeul 1994) auf elf Klassen, entsprechend der Klassifikation von SPOT-XS 1994, zusammengefaßt, um vergleichbare Berechnungen zu den LSM durchführen zu können (vgl. Tab. 7, S. 41).

### Ergebnisse

Die vorliegenden Untersuchungen weisen für die Klassifikation von SPOT-XS-Daten sowie der Biotoptypenkartierung ein ähnliches Verhalten der *Shape index*-Werte auf. In beiden Datensätzen werden für die vorwiegend im Osten und Westen des Untersuchungsraumes gelegenen landwirtschaftlichen Nutzflächen hohe *Shape index*-Werten berechnet, dies ist, wie in Kap. 8.1



(S. 66) bereits beschrieben, mit der nicht realitätsgetreuen Abbildung des Flächenmusters zu begründen. Klassen, die in der Biotoptypenkartierung als Flächenvektoren vorliegen, werden nach der Transformation in das Rasterzellenformat aggregiert. Das vektorieell vorliegende Verkehrsnetz wird aufgrund der Konvertierung „Vektor (Poly) zu Raster“ eliminiert, wodurch auch hier ein nicht realitätsnahes Raummuster der Landschaft erzeugt wird. Die Integration des Verkehrsnetzes als Rasterstruktur in den Datensatz erbrachte auch hier die erwarteten geringen Werte des *Shape index* (vgl. Abb. 13, S. 68 und Abb. 14, S. 71) für stark anthropogen beeinflusste Landschaftselemente, wie beispielsweise der landwirtschaftlichen Strukturen.

Die Analyse der unzerschnittenen Tagebauflächen (vgl. Abb. 14, S. 71) zeigt in allen verwendeten Datensätzen relativ hohe *Shape index*-Werte, wobei die Werte der *Biotoptypenkartierung (Shape index* von ca. 3 bis 5) im Verhältnis zu den Daten der Satellitenbildklassifikation (*Shape index* von ca. 6) niedriger ausfallen. Folgende Gründe können hierfür genannt werden:

- Die Klassifikation von Satellitenbilddaten erfolgt pixelbasiert. Die Grenzen der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen werden durch „weiche“<sup>29</sup> Grenzen charakterisiert. Die vektorieell erfaßte Biotoptypenkartierung zeigt trotz der vorliegenden Rasterung der Daten hingegen „harte“<sup>30</sup> Grenzen (vgl. Abb. 14<sup>31</sup>, S. 71)
- „weiche Grenzen“: Die Grenze zwischen Biotop- und Flächennutzungsstrukturen ergeben sich aus der gewählten Rasterzellgröße sowie der Klassifikation der einzelnen Bildelemente (Pixel) zu einer Klasse. Die Flächen unterschiedlicher Klassen werden somit unscharf abgegrenzt. Die unscharfe Abgrenzung der Kanten von LE im klassifizierten Satellitenbild führt zu einer Ansammlung von umliegenden Kleinstflächen gleicher Klasse, die aufgrund der vorliegenden Definition der *Patches* in dieses mit einbezogen werden (vgl. Abb. 15, S. 73). Die sich hieraus ergebende höhere Grenzlinienlänge beeinflusst insbesondere die Quantifizierung von Landschaftsstrukturmaßen, in deren Berechnung die Grenzlänge mit einfließt (z.B. *Shape index*)
- „harte“ Grenzen: Die Grenzen zwischen Biotop- und Flächennutzungsstrukturen werden vom Interpreten erfaßt und vektorieell linien- oder flächenscharf abgegrenzt. Auch nach der Überführung der Vektordaten in das Rasterformat liegen vergleichsweise geringe Grenzlangen der Landschaftselemente vor.
- Desweiteren ergeben sich Unterschiede in der Berechnung der Flächeninhalte (*AREA*) der Landschaftselemente. Im klassifizierten Satellitenbild erfolgt die Abgrenzung pixelbasiert. Dies ermöglicht die Erfassung relativ kleiner Flächen, die andererseits auch stark inhomogen in der Verteilung sein können (z.B. Pioniervegetation innerhalb der Tagebauflächen). Kleinstflächen, wie beispielsweise die Pioniervegetation, werden in der Luftbildinterpretation mit nachfolgender vektorieeller Abgrenzung der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen häufig nicht erfaßt.

---

<sup>29</sup> „weiche“ Grenzen: Die Grenze zwischen Biotop und Flächennutzungsstrukturen ergeben sich aus der gewählten Rasterzellgröße sowie der Klassifikation der einzelnen Bildelemente (Pixel) zu einer Klasse. Die Flächen unterschiedlicher Klassen werden somit unscharf abgegrenzt.

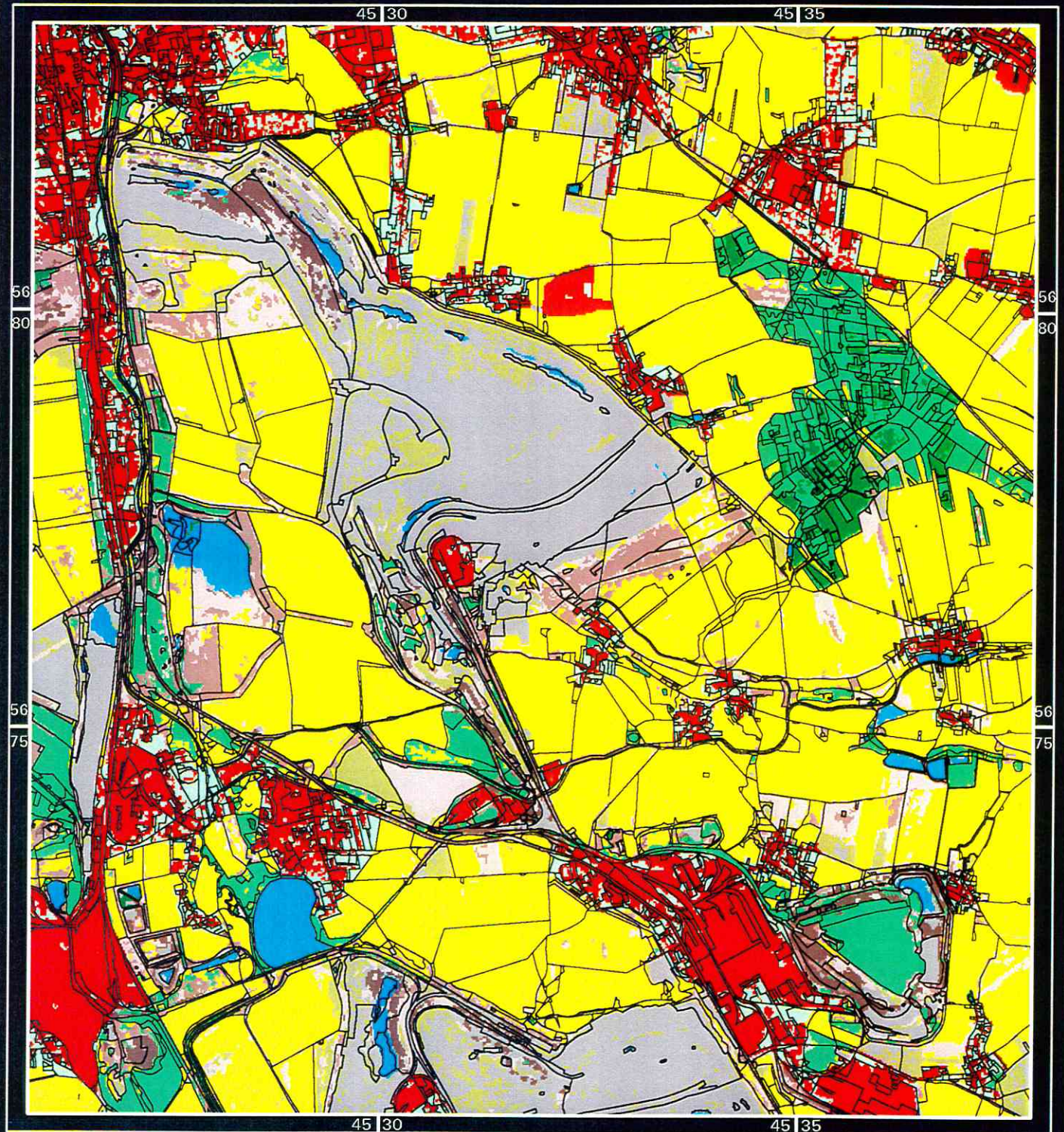
<sup>30</sup> „harte“ Grenzen: Die Grenzen zwischen Biotop – und Flächennutzungsstrukturen werden vom Interpreten erfaßt und vektorieell linien- oder flächenscharf abgegrenzt.













<sup>31</sup> Nächste Seite – Abb. 14: Thematische Daten unterschiedlicher Datenmodelle – Klassifikation SPOT-XS (1994) – Südraum Leipzig – Überlagerung mit Vektordaten der Biotoptypenkartierung Sachsens



# Klassifikation Spot-XS (25.06.1994) - Südraum Leipzig

## Überlagerung mit Vektordaten der Biotoptypenkartierung Sachsen



- |   |  |   |                               |
|---|--|---|-------------------------------|
|  | Offenland (vegetationslos)                                   |  | Laubwald                      |
|  | Offenland mit geringem Anteil Vegetation (Pioniervegetation) |  | Nadelwald                     |
|  | Offenland mit hohem Anteil Vegetation (Ruderalvegetation)    |  | Grün-u. Ackerland             |
|  | Ruderalvegetation u. Gehölze                                 |  | Grün-u. Ackerland in Bebauung |
|  | Gehölze  |  | Wasser                        |
|   |  |  | Bebauung                      |
|   |  |  | Biotoptypenkartierung Sachsen |



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

Datengrundlagen:  
 Spot-XS (25.06.1994),  
 Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994),



Tab. 13: Vergleich des *Shape index*\* der Tagebauflächen Südraum Leipzig von Daten unterschiedlicher Datenmodelle (Raster- und Vektordatenmodell, vgl. auch Abb. 14, S. 71)

Tagebau- Offenland (vegetationslos)	Klassifikation Spot-XS 1994 (11 Klassen)	Klassifikation Spot-XS 1994 + Verkehrsnetz (11+4 Klassen)	Biotoptypen angepaßt (11 Biotop-u. Flächennutzungs- typen)	Biotoptypen angepaßt + Verkehrsnetz (11+4 Biotop-u. Flächennutzungstypen)
Zwenkau	> 6	> 6	> 6	> 6
Espenhain	> 6	> 6	> 4 - 5	> 4 - 5
Peres	> 6	> 6	> 3 - 4	> 3 - 4
Witznitz	> 6	> 6	> 3 - 4	> 3 - 4
Schleenhain	> 6	> 6	> 4 - 5	> 4 - 5
Bockwitz/ Borna-Ost	> 4 - 5	> 4 - 5	> 3 - 4	> 3 - 4

(\**Shape index* - dimensionslos)

### 8.3 Bedeutung der Wahl unterschiedlicher Rasterzellgrößen

Die Ergebnisse der Flächennutzungsklassifikation aus Fernerkundungsdaten werden durch die geometrische und spektrale Auflösung des verwendeten Sensors stark beeinflusst. Für die vorliegende Untersuchung kommen Fernerkundungsdaten zur Quantifizierung der Biotop- und Landnutzungsstrukturen unterschiedlicher geometrischer Auflösung zur Anwendung. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, zu untersuchen, ob eine Beeinflussung der Berechnungen der LSM bereits durch die Wahl unterschiedlicher Rasterzellgrößen der Fernerkundungsdaten vorliegt.

Zur Untersuchung des Einflusses der Rasterzellgröße wurde die mit elf Klassen *vorliegende Land-Cover-Klassifikation* der Fernerkundungsbilddaten SPOT-XS 1994 mit einer geometrischen Auflösung von 20 Meter/Pixel in weitere Datensätze mit einer Rasterzellgröße von jeweils 5, 10, 15, 25 und 30 Meter/Pixel durch den Prozeß – *Resampling*<sup>32</sup> - transformiert und nachfolgend die Berechnungen der LSM durchgeführt.

#### Ergebnisse

In den Untersuchungen kann nachgewiesen werden, daß bereits die Wahl unterschiedlicher Rasterzellgrößen der berechneten Daten einen Einfluß auf LSM hat. So zeigen die Berechnungen von Indikatoren auf der Ebene von *Patches* (vgl. Abb. 15, S. 73 ) sowie der Landschaft (vgl. Tab. 14, S. 73), daß bei den Rasterzellgrößen 5, 10, 15 und 20 Meter/Pixel keine nennenswerten Änderungen zu verzeichnen sind, wohingegen bei den Rasterzellgrößen 25 und 30 Meter/Pixel Abweichungen auftreten. Diese Veränderungen fallen in Abhängigkeit von den untersuchten Indikatoren sehr unterschiedlich aus. Die auftretenden quantitativen Änderungen des Indexwertes aus Bilddaten zwischen Rasterzellgröße von 20 und 30 Meter/Pixel können auch raumbezogen dargestellt werden. So führt die rasterbedingte Veränderung des *Shape index*-Wertes durch Übergang von 20 auf 30 Meter/Pixel neben Bereichen ohne Änderung des Form- und

<sup>32</sup> Resampling: Durch eine geometrische Transformation werden die Grauwerte des Eingabe-Bildes in die Matrix des Ausgabe-Bildes transformiert



Geometriewertes zu Bereichen einer Zunahme bzw. Abnahme des Index (vgl. Abb. 16, S. 75). Ein ähnliches Verhalten ist auch für andere Indikatoren zu erwarten.

Folgende Ursachen können für die Änderung der LSM bei der Analyse von Datensätzen unterschiedlicher Rasterauflösung genannt werden:

- Aggregation von Rasterzellen,
- Veränderung der *Patch*-Form und *Patch*-Anzahl
- Veränderungen (Anzahl und Länge) von Grenzen, Rändern und Umfängen von Einzelflächen (*Patches*)

Tab. 14: Beispiele der Veränderung von LSM auf Landschaftsebene bei der Verwendung unterschiedlicher Rasterzellgrößen des klassifizierten Satellitenbildes SPOT-XS 1994

Rasterzellgröße in Metern	Indikatoren auf Landschaftsebene								
	SHDI_Land	SHEI_Land	LPI_Land	NP_Land	PD_Land	MPS_Land	TE_Land	ED_Land	MNN_Land
	-	-	(%)	(#)	(#/100 ha)	(ha)	(m)	(m/ha)	(m)
5	1,89	0,79	12,84	14463,00	23,97	4,17	8507160,0	141,02	83,70
10	1,89	0,79	12,84	14463,00	23,97	4,17	8507160,0	141,02	83,70
15	1,89	0,79	12,84	14463,00	23,97	4,17	8505195,0	140,98	82,30
20	1,89	0,79	12,84	14463,00	23,97	4,17	8507160,0	141,02	83,90
25	1,89	0,79	12,87	<b>16268,00</b>	<b>26,97</b>	<b>3,71</b>	<b>7849750,0</b>	<b>130,11</b>	<b>77,50</b>
30	1,89	0,79	<b>13,05</b>	<b>16213,00</b>	<b>26,89</b>	<b>3,72</b>	<b>7387920,0</b>	<b>122,53</b>	<b>81,80</b>

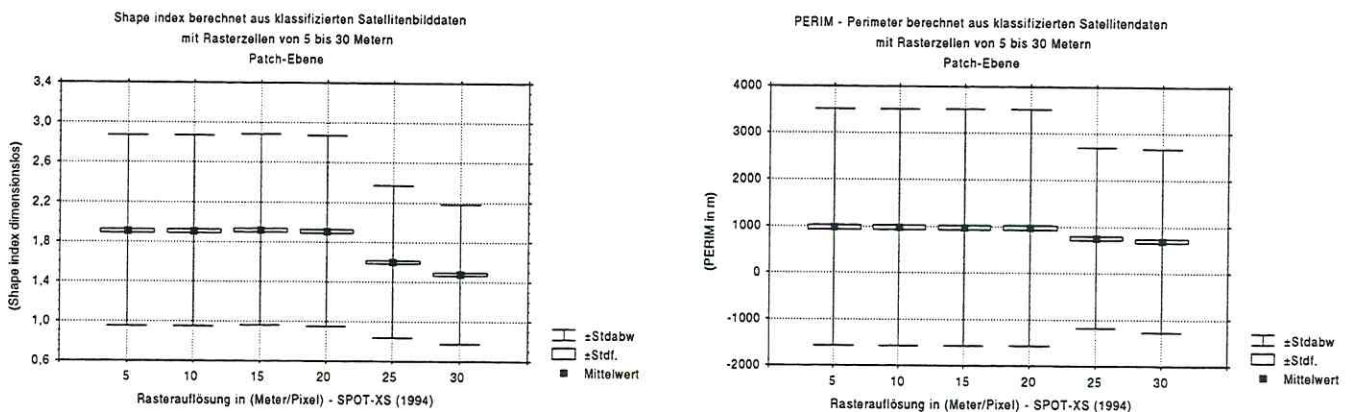


Abb. 15: Berechnungen der Landschaftsstrukturmaße *SHAPE* sowie *PERIM* auf Ebene der *Patches* für die Bilddaten der *Land-Cover*-Klassifikation von SPOT-XS (1994) mit Rasterauflösungen von 5 bis 30 Meter/Pixel

Zahlreiche Untersuchungen bestätigen den direkten Zusammenhang zwischen der Quantifizierung von LSM und der Rasterzellgröße bzw. dem Untersuchungsmaßstab des Datensatzes (Gardner et al. 1987, O'Neill (1988), Turner 1989, Turner 1990, O'Neill et al. 1991, Turner et al. 1991a 1991b, Moody & Woodcock 1995, O'Neill 1995, Wickham et al. 1995, Gasper 1997, Kuhn 1997, Lausch 1999c, Rami 1997, Wickham et al. 1997). Levin (1992) verweist darauf, daß die Skalenabhängigkeit bei der Erfassung linearer LE (Verkehrsnetz, Alleen, Gehölze) gegenüber flächenhaften LE größer ist, wodurch die aus linienhaften Biotopstrukturen erfaßten LSM eine vergleichbar hohe Maßstabsabhängigkeit zeigen.



Die Landschaftsstrukturmaße zeigen jedoch ein unterschiedliches Verhalten gegenüber Änderungen der Rasterzellgröße. So konnten Wickham & Riitters (1995) nachweisen, daß es bei gewählten Rasterzellgrößen von 4/12/18 und 80 Meter/Pixel zu keinen bzw. nur sehr geringfügigen Veränderungen der Diversitätsindikatoren (*Shannon's diversity index*, *Simpson-Index*) kommt. Die hieraus abgeleitete Konsequenz, daß sich Diversitätsindikatoren bei Änderung der Pixelgröße bis 80 Meter/Pixel nicht dramatisch ändern, kann hinsichtlich der hier untersuchten *Diversitätsmaße* (*SHDI - Shannon's diversity index*, *SHEI - Shannon's evenness index*) bestätigt werden (vgl. Tab. 14, S. 73). Für die Mehrzahl der Indikatoren wurde eine Abhängigkeit des Indexwertes von der Rasterzellgröße (25 und 30 Meter) nachgewiesen (vgl. Abb. 16<sup>33</sup>, S. 75).

---

<sup>33</sup> Nächste Seite – Abb. 16: Veränderungen des *SHAPE INDEX* - quantifiziert aus Fernerkundungsdaten mit einer Rasterauflösung von 20 und 30 Meter.



# Veränderungen des SHAPE INDEX (patch-level) - Fernerkundungsdaten mit Rasterauflösung 20 und 30 Meter -

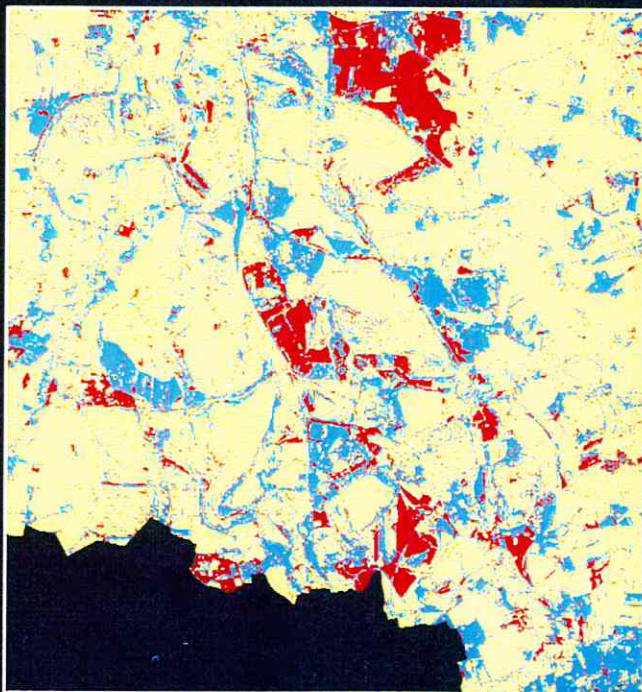
Raster 20 Meter



Raster 30 Meter



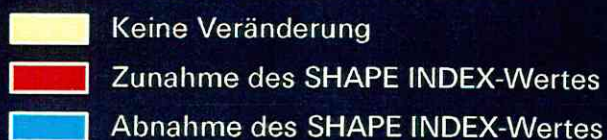
Veränderungen des SHAPE INDEX  
20 und 30 Meter / Raster



SHAPE INDEX (patch-level) - dimensionslos  
Bewertung der Komplexität der Gestalt eines Patches durch den Vergleich mit einer Standardgestalt (Quadrat)



Veränderungen des SHAPE INDEX (patch-level)



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

Datengrundlagen:

1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)



### 8.4 Einfluß von Phänologie und Nutzungsänderung

Die auf Abb. 18 (S. 78) ersichtliche *Land-Cover-Klassifikation* spiegelt die Oberflächenbedeckung des Südraumes Leipzig für das Untersuchungsjahr 1996 wider. Bereits aus dem rein visuellen Vergleich der Klassifikation SPOT-XS 1996 gegenüber dem Klassifikationsergebnis von 1994 (vgl. Abb. 10, S. 55) wird ersichtlich, daß trotz der Wahl ähnlich liegender Aufnahmezeitpunkte (Mai und Juni) der Satellitenbilddaten die Klassifikationsergebnisse beider Zeitschnitte zum Teil erhebliche Differenzen aufweisen. So wurde für die Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) für das Jahr 1996 ein hoher flächenhafter Anteil vergleichend zu 1994 ermittelt. Die Dominanz dieser Klasse zeigt sich auch in der räumlichen Verteilung für das Jahr 1996 (vgl. Abb. 17, S. 76). Desweiteren wurde für die Klassen Ruderalvegetation (Offenland mit hohem Anteil an Vegetation) eine Zunahme des flächenhaften Anteils von ca. 4.000 ha auf ca. 10.800 ha von 1994 zu 1996 ermittelt, wohingegen es in der Klasse Grün- und Ackerland von 1994 zu 1996 zu einer drastischen Abnahme der Flächenanteile von ca. 26.000 ha auf ca. 13.000 ha kommt.

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, daß insbesondere die Änderung phänologischer Phasen der Vegetation sowie die Nutzungsänderung landwirtschaftlicher Kultur- und Fruchtarten innerhalb eines Jahres die Ergebnisse der Satellitenbildklassifikation z.T. gravierend beeinflussen (vgl. auch Tab. 15, S. 77).

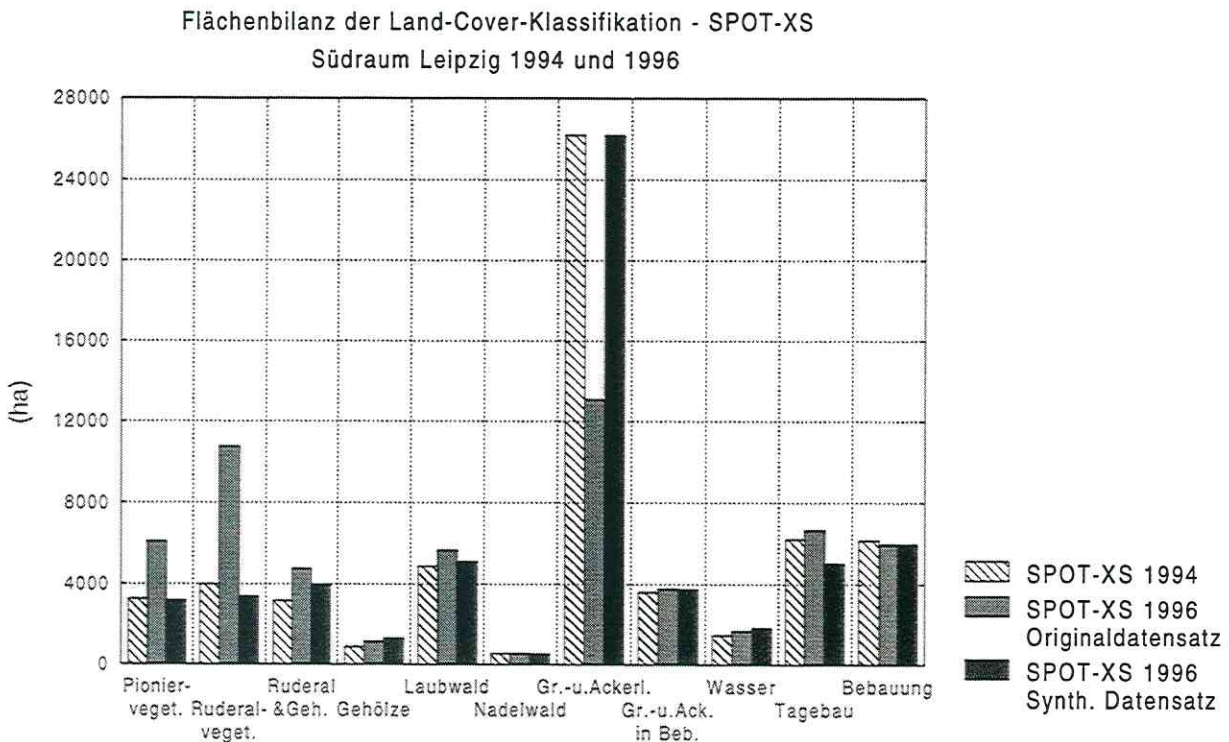


Abb. 17: Auswirkungen der Änderung der Phänologie der Vegetation sowie der Nutzung innerhalb des Jahres auf die Flächenbilanz von klassifizierten SPOT-XS-Daten



Tab. 15: Einschätzung der Stärke der Änderung von Phänologie und Nutzung der *Land-Cover*-Klassen innerhalb eines Jahres

Klassen	Änderung phänologischer Phasen der Vegetation innerhalb eines Jahres	Änderung der Nutzung innerhalb eines Jahres	Möglichkeit der multitemporalen Vergleichbarkeit für Satellitenbilddaten
Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation)	mittel	gering	mittel
Offenland mit hohem Anteil an Vegetation (Ruderalvegetation)	mittel	gering	mittel
Ruderalveget. mit Gehölzen	mittel	gering	mittel
Gehölze	mittel	gering	mittel - gut
Laubwald	mittel	gering	mittel - gut
Nadelwald	gering	gering	gut
Grün-u. Ackerland	hoch	hoch	schlecht
Grün-u. Ackerland in Bebauung	hoch	hoch	schlecht
Wasser	keine	gering	gut
Vegetationsloses Offenland (Tagebau)	keine	gering	gut
Bebauung	keine	mittel	mittel - gut
Verkehrsnetz	keine	keine	gut

Für die Daten der Satellitenbildklassifikation 1996 Abb. 18<sup>34</sup> (S. 78) wurden in einer weitergehenden Analyse Berechnungen der Landschaftsstrukturmaße durchgeführt. Zielstellung der Untersuchung ist die Erörterung der Frage, inwieweit sich die oben genannten Veränderungen der flächenhaften Anteile der untersuchten Klassen auch auf die Quantifizierung der LSM auswirken. Beispielhaft wurde hierfür auch die Berechnung des *Shape index (SHAPE)* der *Land-Cover*-Klassifikation 1996 herangezogen. Der Abb. 19<sup>35</sup> (S. 79) sind die Ergebnisse des *Shape index*, quantifiziert aus den Bilddaten SPOT-XS 1996 (Originaldatensatz), zu entnehmen. So zeigt sich im Vergleich des ermittelten *Shape index* aus den SPOT-XS-Daten von 1994 und 1996, daß die hier auftretenden Differenzen der *Shape index*-Werte nicht auf Veränderungen der Flächennutzung zwischen den beiden Jahren zurückzuführen sind, sondern das Vorliegen unterschiedlich phänologischer Phasen der Vegetation bzw. der jährlich temporalen Nutzungsänderung landwirtschaftlicher Kultur- und Fruchtarten in den Werten des *Shape index* abgebildet werden.

Aus den vorliegenden Untersuchungen wird abgeleitet, daß die Originaldatensätze der *Land-Cover*-Klassifikation für ein Monitoring sowie der Ableitung von LSM nicht geeignet sind.

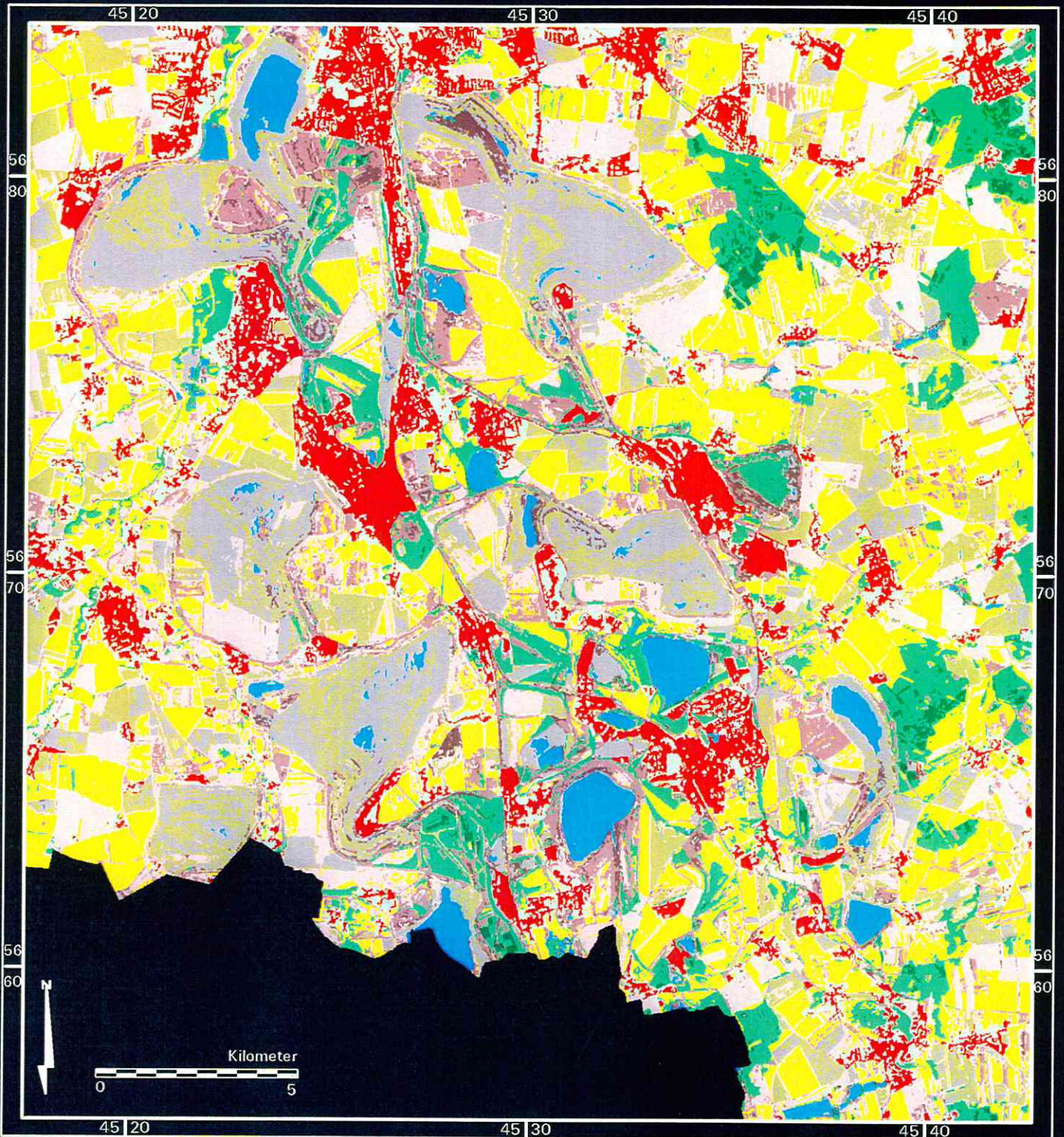
Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der Erstellung synthetisch generierter Datensätze (Synthesebilder). Der methodische Ansatz ist dem Kap. 6.1.3 (S. 40) zu entnehmen. Diese Synthesebilder der *Land-Cover*-Klassifikation (1990, 1996) erfüllen die für einen Monitoringansatz notwendigen Bedingungen. So können zwar aufgrund des Vorliegens von nur einer Satellitenbildklassifikation und somit Aggregation der Klasse Grün- und Ackerland keine Aussagen zu deren Nutzungsänderungen getroffen werden, jedoch stellen die Synthesebilder der *Land-Cover*-Klassifikation der Jahre 1990 bzw. 1996 eine gute Ausgangsbasis für das Monitoring raumprägender Klassen sowie der Ableitung landschaftsökologischer Indikatoren des Räumusters und deren Änderung für die Tagebaufolgelandschaft des Südraumes Leipzig dar.












<sup>34</sup> Nächste Seite – Abb. 18: *Land-Cover*-Klassifikation von SPOT-XS – 1996 - Originaldatensatz

<sup>35</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 19: *Shape index (SHAPE)* – *Land-Cover*-Klassifikation von SPOT-XS – 1996 - Originaldatensatz



# Klassifikation Spot-XS (31.05.1996) Südraum Leipzig



- |  |  |   |                               |
|--|--|---|-------------------------------|
|  | Offenland (vegetationslos)                                   |  | Laubwald                      |
|  | Offenland mit geringem Anteil Vegetation (Pioniervegetation) |  | Nadelwald                     |
|  | Offenland mit hohem Anteil Vegetation (Ruderalvegetation)    |  | Grün-u. Ackerland             |
|  | Ruderalvegetation u. Gehölze                                 |  | Grün-u. Ackerland in Bebauung |
|  | Gehölze  |  | Wasser                        |
|  |  |  | Bebauung                      |



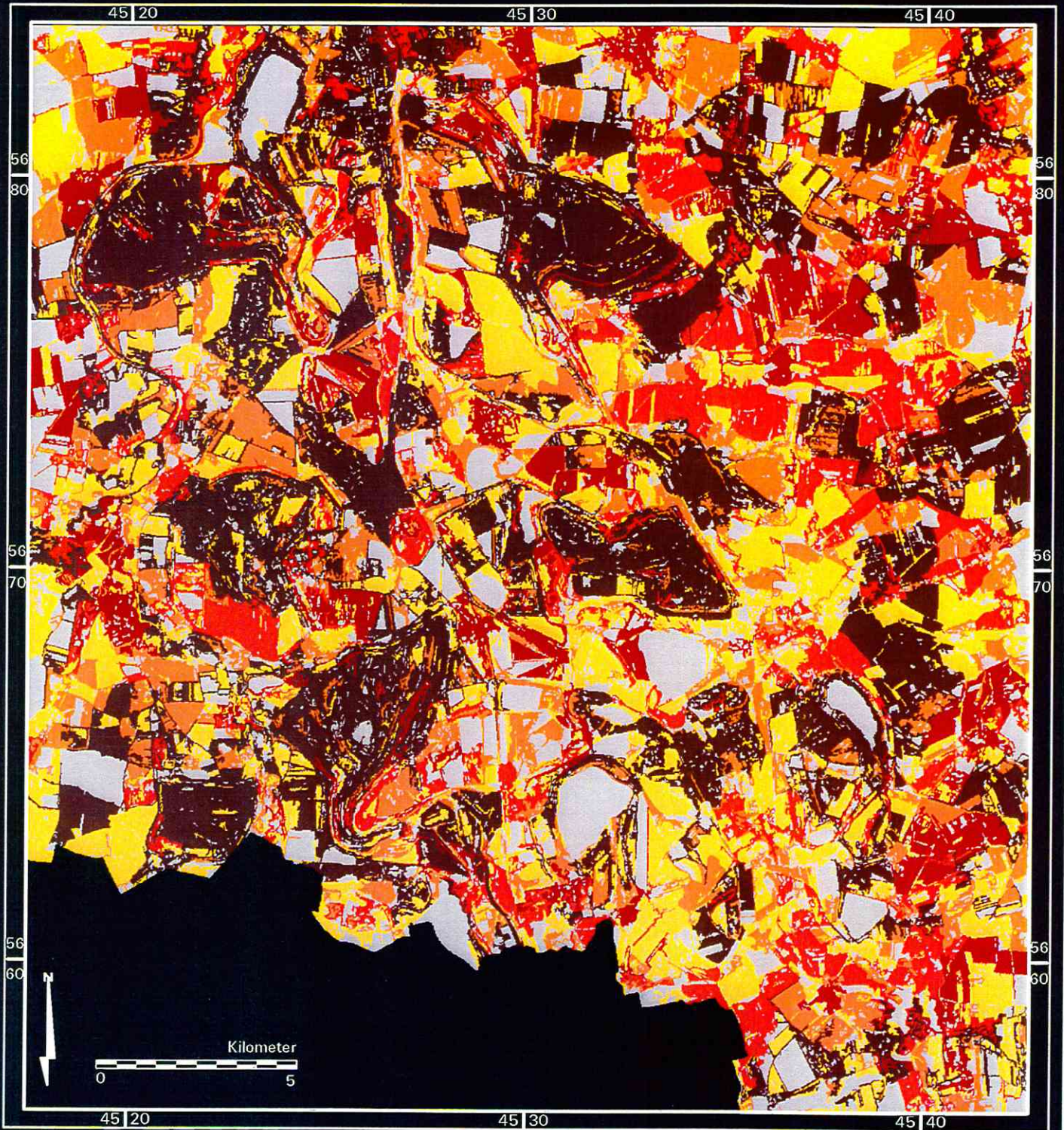
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch

Datengrundlagen:  
Spot-XS (31.05.1996)



# SHAPE INDEX (patch-level) - Südraum Leipzig

Datengrundlage Originalklassifikation von Spot-XS (31.05.1996)



SHAPE INDEX (patch-level) - dimensionslos  
Bewertung der Komplexität der Gestalt eines Patches durch den Vergleich mit einer Standardgestalt (Quadrat)



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

Datengrundlagen:  
Klassifikation von Spot-XS (31.05.1996)  
11 Klassen



## 8.5 Zusammenfassung und Konsequenzen für das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen

- Das Verkehrsnetz ist ein wichtiges Element für die Erfassung des Landschaftsmusters bzw. des Zerschneidungsgrades von Landschaften. Es ergeben sich nur realitätsgerechte Landschaftsstrukturmaße, insbesondere der Form und Geometrie, bei Berücksichtigung und Integration des Verkehrsnetzes in den Bilddatensatz.
- Bei der Verwendung von Datensätzen unterschiedlicher Datenmodelle (Raster, Vektor) treten Veränderungen von Landschaftsstrukturmaßen aufgrund systematischer Fehleinschätzungen der Grenzlängen der Landschaftselemente auf, die sich aus dem jeweils gewählten Erfassungsmodell (Satellitenbilddaten = Rasterdatenmodell, Luftbilddaten (Biotoptypenkartierung) = Vektordatenmodell) ergeben.
- In den vorliegenden Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß die Wahl unterschiedlicher Rasterzellgrößen einen Einfluß auf die berechneten LSM hat. So wurden auf allen Ebenen der Indexuntersuchung – Landschaft, Klasse und *Patch* – Unterschiede der berechneten LSM der in die Untersuchung einbezogenen Rasterzellgröße ermittelt. Hierbei zeigt sich, daß keine bzw. nur geringfügige Änderungen der Indizes bei der Rasterzellgröße 5,10,15 und 20 Meter/Pixel zu verzeichnen sind. Bei der Rasterzellgröße von 25 und 30 Metern/Pixel zeigen sich in den verschiedenen Indizes zum Teil gravierende Unterschiede.
- Die Originaldatensätze der *Land-Cover*-Klassifikation für 1990 und 1996 sind aufgrund des Einflusses phänologischer Phasen der Vegetation sowie der auftretenden Nutzungsänderungen innerhalb eines Jahres als Datengrundlage für ein Monitoring sowie der Ableitung von LSM nicht geeignet.

Aus den genannten Ergebnissen lassen sich folgende Rahmenbedingungen für das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen für den Südraum Leipzig ableiten:

1. Die klassifizierten Satellitenbilddaten der verschiedenen Zeitschnitte sind mit dem vektorieLL vorliegenden Verkehrsnetz zu verschneiden, um eine realitätsnahe Abbildung der Form der LE zu erhalten.
2. Es ist möglichst mit Datensätzen eines Datenursprunges zu arbeiten. Im Hinblick auf die Verschneidung von Raster- und Vektordaten (Generierung des Bilddatensatzes für das Jahr 2020) ist darauf zu achten, daß Veränderungen von LSM insbesondere bei Indikatoren auftreten können, für deren Quantifizierung die Grenzlänge der Landschaftselemente erforderlich ist.
3. Die Quantifizierung der LSM aus klassifizierten Satellitenbilddaten sollte in einem einheitlichen Maßstab erfolgen, um Abweichungen bezüglich der gewählten Rasterzellgröße zu vermeiden.
4. Die Erstellung synthetisch generierter Datensätze stellt einen methodischen Ansatz dar, mit dessen Hilfe die Durchführung eines Monitoring sowie der Ableitung von LSM aus klassifizierten Satellitenbilddaten möglich ist.



## 9 Monitoring von Landschaftselementen und Landschaftsstrukturen

### 9.1 Gesamttraum - Südraum Leipzig

#### 9.1.1 Biotopwandel abgeleitet aus SPOT-XS-Daten 1990, 1994, 1996 und geplantem Zustand 2020

Zur Untersuchung der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen sowie für die Abbildung der raumzeitlichen Änderungen ist die Erfassung der Oberflächenbedeckung unterschiedlicher Zeitschnitte des Untersuchungsraumes erforderlich. Mit Hilfe der Auswertung von Satellitenbilddaten (Klassifikation von SPOT-XS Daten) können konkrete Flächenaussagen für den Südraum Leipzig gemacht werden (vgl. Kap. 7.2, S. 52). Um die Beobachtung von dynamischen Vorgängen sowie die Prozeßüberwachung der Tagebaulandschaft zu ermöglichen, ist der Einsatz multitemporaler Analysen von Fernerkundungsdaten erforderlich. So wurden die Veränderungen der Biotope und Flächennutzung im Untersuchungsraum für den Zeitraum von 1990 bis 1996 mit Hilfe von Satellitenbilddaten multitemporal untersucht. Mit der Integration der „Entwicklungskonzeption Landschaft“ (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996b) für den Zeitschnitt 2020 können über den Zeitraum 1996 hinaus Aussagen bezüglich der künftigen flächenhaften Entwicklung getroffen werden.

Aufgrund unterschiedlich vorliegender Varianten der zukünftigen Flächennutzung für den Südraum Leipzig war die Integration nur einer Planungsvariante in die vorliegenden Untersuchungen erforderlich. So wurde in der dieser Untersuchung für den Zeitschnitt 2020 der zugrundeliegenden „Entwicklungskonzeption Landschaft“ (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996b) die Variante – Zunahme des maximal höchsten Waldanteils - integriert.

Der hierarchische Klassifikationsansatz der schrittweisen Differenzierung der Klassen erwies sich für die Klassifikation der Satellitenbilddaten von SPOT-XS (1990, 1994, 1996) als zielführend. Der methodische Ansatz der hierarchischen Klassifikation hat folgende Vorteile:

- Es wurde eine hohe Genauigkeit (Klassifikationsgenauigkeit 85,5%) bei der Erfassung der *Land-Cover*-Klassen für alle untersuchten Zeitschnitte erreicht. So konnten mit Hilfe dieser schrittweisen Vorgehensweise durch die Differenzierung und Aggregation gleicher Musterklassen für die Satellitenbilddaten der Jahre 1990 und 1996 die in Kap. 6.1.3 (S. 40) beschriebenen Klassen ausgewiesen werden.
- Die für das Monitoring notwendige Forderung der Erfassung jeweils gleicher Klassen (11 *Land-Cover*-Klassen) konnte für alle untersuchten Zeitschnitte (1990, 1994 und 1996) erfüllt werden.
- Der prozentuale Anteil der fehlerhaft klassifizierten Klassen wurde stark reduziert. So konnten anfangs fehlerhaft klassifizierte Klassen (z.B. Grün- und Ackerland) in den nachfolgenden Analyseschritten der hierarchischen Klassifikation infolge der Ausmaskierung und dem Neuaufspreizen von Grauwerten (*Stretch*-Verfahren) richtig zugeordnet werden.

Aufgrund der in Kap. 8.4 (S. 76) bereits erwähnten Faktoren zum Einfluß der Phänologie und Nutzungsänderung auf Satellitenbilddaten sowie den hieraus abzuleitenden LSM, wurden Synthesbilddaten generiert (vgl. Kap. 6.1.3, S. 40). Diese Synthesbilder der *Land-Cover*-Klassifikation für die Zeitschnitte 1990 und 1996 erfüllen die notwendigen Rahmenbedingungen für



einen Monitoringansatz und stellen eine gute Ausgangsbasis zur Ableitung der Indikatoren der Biotop- und Landschaftsstruktur des Südraumes Leipzig dar.

Zur Untersuchung der raum-zeitlichen Veränderung der Biotop- und Landschaftsstruktur des Südraumes Leipzig werden strukturelle Änderungsanalysen an wenigen, aber prägnanten raumcharakterisierenden *Land-Cover*-Klassen durchgeführt. Die flächenhafte sowie räumliche Verteilung ist den Abb. 20 (S. 86) bis Abb. 22 (S. 88) zu entnehmen. Die raumcharakterisierenden Klassen der Tagebaulandschaft zeigen von 1990 bis 2020 folgendes raum-zeitliches Verteilungsmuster:

### Gehölze

Die flächenhaften Untersuchungen der Gehölze zeigen, daß diese Klasse einen prozentualen Anteil von nur ca. 0,6 % an der Gesamtfläche für 1990 aufweist. Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung wurde für die Gehölze eine Zunahme der Fläche von 0,6 % (1990) auf 2 % (2020) ermittelt. Dieser Anstieg läßt sich auf die stetige Zunahme der forstlichen Rekultivierung in den Tagebaubereichen zurückführen. Für den Zeitraum 1996 bis 2020 kommt es für die Klasse Gehölze nur zu einem geringfügigen Flächenzuwachs von 0,1 %. Diese Zunahme resultiert insbesondere aus den im Umland der Tagebaulandschaft geplanten Gehölzanpflanzungen. Diese konzentrieren sich nach Angaben der Regionalplanung (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1996b, 1998) insbesondere an gehölzarmen Gewässerläufen, Verkehrswegen sowie Feldrainen (vgl. Abb. 23, S. 89). Eine vollständige Einschätzung der zu erwartenden Gesamtfläche von Gehölzen für des Untersuchungsjahr 2020 ist jedoch schwierig, da sich hinsichtlich der Gehölzflächen, die sich aus der Sekundärsukzession in der Tagebaulandschaft ergeben, keine Aussagen ableiten lassen. So ist zu erwarten, daß die Klasse Gehölze im Südraum Leipzig im Jahr 2020 einen noch höheren Flächenanteil einnehmen wird.

### Laubwald

Aufgrund der Veränderungen der Reflexionseigenschaften, die durch Änderungen der Dichte des Kronendachs von Gehölzen und Laubwald hervorgerufen werden, ist die Erfassung und Abgrenzung der Klassen Gehölze und Laubwald mit Satellitenbilddaten gut möglich.

Die *Land-Cover*-Klasse Laubwald stellt neben der Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) eine der dominanten Biotop- und Flächennutzungsstrukturen des Südraumes Leipzig dar. So weist diese Klasse für 1990 einen flächenhaften Anteil von 3884 ha auf. Desweiteren unterliegt die Klasse Laubwald einer hohen Dynamik. Der Anteil des Laubwaldes an der Gesamtfläche steigt zwischen 1990 und 2020 um 12,8 % an. In der Zeit von 1990 bis 1994 erfährt die Klasse einen besonders hohen Flächenzuwachs von 1,4 %, wohingegen von 1994 bis 1996 nur eine geringfügige Zunahme des Laubwaldanteils von 0,3 % ermittelt werden konnte. So läßt sich für die Klasse Laubwald von 1990 bis 1994 ein deutlicher Zuwachs aus ehemals forstlich rekultivierten Flächen beobachten. Desweiteren erfährt Laubwald eine starke Flächenzunahme aus den Gehölzbeständen spontaner Sukzessionen der Tagebauflächen Espenhain, Alttagbau Großzössen, Witznitz sowie dem Tagebau Schleenhain-Haselbach (vgl. Abb. 24, S. 90). Hinsichtlich der untersuchten raum-zeitlichen Veränderung des Laubwaldbestandes von 1996 bis 2020 konnte ein Anstieg von 8,1 % auf 19,2 % für den Südraum Leipzig ermittelt werden. Diese Ergebnisse entsprechen auch den Angaben des Regionalen Planungsverbandes Westsachsen (1998, S. 32), die eine Erhöhung des Waldanteiles durch Aufforstung von Kippenbereichen mit einer Zielgröße von 18 % bis 20 % gegenüber derzeit 7 % anstreben. Abb. 24 (S. 90) veranschaulicht die räumliche Verteilung des



Laubwaldes im Jahr 2020 für den Südraum Leipzig. So konzentrieren sich die Waldbestände der geplanten „Wald- und Seenlandschaft“ des Südraumes besonders in den Tagebauen Espenhain, Zwenkau und Schleenhain.

#### Vegetationsloses Offenland (Tagebau)

Die Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) stellt neben den Klassen Wasser und Laubwald eine der flächendominanten raumcharakterisierenden *Land-Cover*-Klassen der Tagebaufolgelandschaft dar. So prägen bereits visuell die großräumigen Bereiche des Vegetationslosen Offenlandes den Südraum Leipzig (vgl. Abb. 26, S. 92) und geben einen Hinweis auf die flächenhaften anthropogenen Eingriffe des Menschen und der damit einhergehenden funktionalen Störungen und Veränderungen des Naturhaushaltes. So wird anhand der Klasse Vegetationsloses Offenland besonders die bestehende Verflechtung zwischen den sich wirtschaftlich vollziehenden Veränderungen und der hieraus resultierenden raumstrukturellen Veränderung der Landschaftselemente sichtbar, die in ihrem Ausmaß quantifizierbar und somit erfaßbar wird.

Die flächenhafte Abnahme des vegetationslosen Offenlandes kann in seiner räumlichen Ausprägung für die Zeitschnitte 1990 bis 2020 sehr gut erfaßt werden (vgl. Abb. 20, S. 86). So wurde für die Tagebaubereiche eine flächenhafte Reduzierung von 8231 ha (13,6 %) für 1990 auf nur noch 4800 ha (8 %) für das Jahr 1996 ermittelt. Im Untersuchungsjahr 2020 weist das vegetationslose Offenland einen Flächenanteil von nur noch 2264 ha (3,7 %) auf. Dies entspricht einer flächenhaften Abnahme von 9,9 % von 1990 bis 2020 (vgl. Abb. 20, S. 86).

Infolge des großräumig zu erwartenden raumstrukturellen Wandels von Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft ist mit einer Verschiebung des derzeit vorliegenden Artengefüges für die Halboffen- und Offenlandschaft des Raumes zu rechnen.

#### Wasser

Die Untersuchung der Flächenbilanz von Oberflächengewässern der Tagebaulandschaft und seiner raum-zeitlichen Dynamik stellt aufgrund der spektralen Reflexionseigenschaften von Wasser und der folglich guten Differenzierung gegenüber anderen Klassen ein Untersuchungsschwerpunkt der Fernerkundung dar. So konnten auch für den Südraum Leipzig die sich von 1990 bis 1996 vollziehenden massiven Veränderungen der Oberflächengewässer (Tagebaurestsee, Stillgewässer sowie temporäre Kleingewässer) sehr gut zeitlich als auch in der räumlichen Verteilung erfaßt werden (vgl. Abb. 20, S. 86 und Abb. 25, S. 91). Für das Jahr 1990 zeigen die aus Satellitenbilddaten ermittelten Flächenbilanzen für die Klasse Wasser einen Anteil von 1,9 %. Die Tagebaurestseen Harthsee (Borna-Ost), das Speicher Borna (Borna West) sowie der Restsee des Speicher Witznitz (Witznitz I) nehmen hierbei den größten Flächenanteil ein (vgl. Abb. 25, S. 91). Desweiteren ist den Ergebnissen der Satellitenbildklassifikation zu entnehmen, daß sich insbesondere in den Tagebauen Espenhain, Zwenkau, Peres, Schleenhain sowie Witznitz eine Vielzahl kleinräumiger temporärer Stillgewässer bilden konnte, die ein Refugium für die zahlreich in der Tagebaulandschaft vorkommenden Tier- und Pflanzenarten darstellen. Ein weiterer Vergleich der Flächennutzungssituation im Südraum Leipzig zwischen den Jahren 1990 und 2020 verdeutlicht die sich vollziehende massive Zunahme der Wasserflächen. So beläuft sich der bis 2020 zu erwartende Flächenzuwachs der Oberflächengewässer nach den hier vorliegenden Untersuchungen auf 8,3 %. Dies entspricht einem flächenhaften Anteil von 5022 ha (50,22 km<sup>2</sup>) für das Jahr 2020.



Hierbei sind die für die Restseen Peres sowie Groitzscher See zu erwartenden Gewässeranteile noch nicht eingerechnet, da diese Tagebauseen erst nach dem Jahr 2020 geflutet werden. Die flächenhaften Anteile von Gewässern, die von den größeren Tagebaurestseen im Südraum Leipzig für die Zeitschnitte 1990 bis 2020 eingenommen werden, sind der Tab. 16 (S. 84) zu entnehmen. Den Untersuchungen des Regionalen Planungsverbandes Westsachsens (1998) zufolge, werden als Ergebnis des Grundwasseranstieges in den Tagebaurestseen des Südraumes Leipzig bis zum Jahr 2050 Wasserflächen von rund 58,6 km<sup>2</sup> Fläche entstehen (vgl. Regionaler Planungsverband Westsachsen 1998, S. 74).

Tab. 16: Flächenhafter Anteil der größeren Stillgewässer und Tagebaurestseen im Südraum Leipzig von 1990 bis 2020

Restsee (Tagebaubereich)	Flächenhafter Anteil der Gewässer Land-Cover-Klassifikation aus SPOT-XS- Daten - Fläche in (km) <sup>2</sup>			Fläche in km <sup>2</sup> Endstand*	Flutungszeitraum*
	1990	1994	1996		
Zwenkauer See (Zwenkau)				9,7	2006 - 2013
„Groitzscher See“ (Groitzscher Dreieck)				8,4	ab 2050
Pereser See (Peres)				7,0	ab 2040
Störmthaler See (Espenhain)				6,9	2004 - 2013
„Hainer See“ (Witznitz)				6,9	1997 - 2004
Cospudener See (Cospuden)		1,2	2,2	4,2	Flutung läuft, Abschluß ca. 2000
Haselbacher See (Haselbach)		0,8	1,2	3,5	Flutung läuft, Abschluß 1998 / 1999
Speicher Borna (Borna West)	2,7	2,6	2,6	2,6	abgeschlossen
Markkleeberger See (Espenhain)				2,5	2004 - 2013
Speicher Witznitz (Witznitz I)	2,2	2,1	2,2	2,1	abgeschlossen
Bockwitzer See (Bockwitz)		0,6	1,0	1,9	Flutung läuft, Abschluß 2003
Kulkwitzer See (Kulkwitz)	0,5	0,5	0,5	1,5	abgeschlossen
Werbener See # (Profen)				0,7	Flutung läuft, Abschluß ca. 2030
Harthsee (Borna-Ost)	0,7	0,8	0,8	0,7	abgeschlossen
Stausee Rötha	0,6	0,7	0,7	0,7	
Stöhmaer Becken		0,6	0,7	0,7	
<b>Summe</b>				<b>60,0</b>	

(\* Quelle: Regionaler Planungsverband Westsachsen 1998, S. 74)

(# Gewässer liegt außerhalb des Untersuchungsgebietes)



### Bebauung:

Für die Klasse Bebauung konnte im Zeitraum von 1990 bis 1994 eine flächenhafte Zunahme von 7,9 % auf 9,2 % ermittelt werden. Dieser Zuwachs hat seine Ursachen im politischen und sozioökonomischen Wandel, der mit einer Zunahme an baulichen Aktivitäten im städtischen und ländlichen Siedlungsbereich einhergeht. Die geringfügige Abnahme für den Zeitraum von 1994 bis 1996 kann ursächlich darauf zurückgeführt werden, daß neben bebauten Flächen auch Bereiche der Umwidmung als Klasse Bebauung ausgewiesen wurden und somit ein höherer Flächenanteil von 9,2 % für das Jahr 1994 erreicht wurde.

### Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation)

Für die Klasse Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation) konnte im Zeitraum von 1990 bis 1994 eine Flächenzunahme von 2,8 % auf 5,3 % festgestellt werden (vgl. Abb. 20, S. 86). Aufgrund aufnahmespezifischer Eigenschaften von Satellitenbilddaten wurden neben der Klasse Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation) von Tagebauflächen auch Vegetationsbestände mit geringem Deckungsgrad (z.B. in Auflaufflächen bzw. Ruderalfluren mit einer geringen Vegetationsdichte in landwirtschaftlichen Nutzflächen) erfaßt. Somit lassen sich die Flächenanteile von 1677 ha (2,8 %) nicht alleinig auf das Vorkommen von Vegetationsbeständen der Tagebaufolgelandschaft (Pioniervegetation) zurückführen. Eine weitergehende Differenzierung dieser Vegetationsbestände ist aufgrund der spektralen Eigenschaften des Sensors SPOT-XS für den Südraum Leipzig nicht vorgenommen worden.

Zwischen den Zeitschnitten 1990 bis 1994 steigt der Anteil der Klasse an der Gesamtfläche um 2,5 %. Dieser relativ starke Anstieg resultiert aus dem Brachliegen zahlreicher Kippenstandorte, wodurch sich zunehmend Vegetationselemente der Sekundärsukzession etablieren konnten. Für den Zeitraum 1994 bis 1996 hingegen kommt es zu einer geringfügigen Abnahme der Flächenanteile dieser Klasse. Die Verringerung der Pioniervegetation gibt einen Hinweis darauf, daß es durch die ablaufenden Arbeiten zur Bodenverbesserung im Zuge land- und forstwirtschaftlicher Rekultivierung bzw. Maßnahmen der Standortsicherheit der Kippenflächen zu einer temporalen Zerstörung einer bereits etablierten Sukzessionsvegetation kommt.

### **Zusammenfassung:**

- *Die durch den Tagebau devastierten Biotop- und Landschaftsstrukturen sind aufgrund des Braunkohlenabbaus, den geregelt ablaufenden Rekultivierungsmaßnahmen sowie den natürlich ablaufenden Regenerationsprozessen einem starken Wandel und einer hohen Dynamik unterworfen. So ist ein fortlaufendes Monitoring der Landschaft dringend erforderlich. Die Untersuchungen multitemporaler Veränderungen müssen über einen längeren Zeitraum (1990 bis 2020) erfolgen, um Tendenzen der Landschaftsveränderung sowie -entwicklung ableiten zu können (vgl. Abb. 21, S. 87 und Abb. 22, S. 88).*
- *Die Prozeßüberwachung der Tagebaufolgelandschaft ist mit dem Einsatz multitemporaler Satellitenbilduntersuchungen sehr gut möglich, wenn neben der Ableitung spektraler Informationen die Sicherung der Vergleichbarkeit der gewonnenen Ergebnisse durch Eichung, Normierung und Kalibrierung der Daten gewährleistet ist.*



- Für ein Monitoring erwiesen sich die Anwendung der hierarchischen Klassifikationsmethode sowie die Ableitung synthetisch generierter Datensätze als erfolgreich (vgl. Abb. 21<sup>36</sup>, S. 87 und Abb. 22<sup>37</sup>, S. 88).
- Für die Ableitung von Entwicklungstrends und Tendenzen ist es erforderlich, die Anzahl der untersuchten Land-Cover-Klassen für die Zeitschnitte stabil zu halten. Es stellt fernerkundungsmethodisch kein großes Problem dar, in einer Land-Cover-Klassifikation eine hohe Klassendifferenzierung (Erfassung unterschiedlicher Land-Cover-Klassen) zu erreichen. Alle in das Landschaftsmonitoring eingehenden Datensätze, abgeleitet aus Fernerkundungsdaten, müssen jedoch miteinander vergleichbarer sein d.h. die gleiche Klassendifferenzierung aufweisen. Aufgrund der bereits genannten Probleme der Änderungen von Phänologie und Bewirtschaftungen auf Grün.- u. Ackerflächen innerhalb eines Jahres sind die weiteren Analysen zum Monitoring auf raumcharakterisierende Klassen zu begrenzen die Gesamtaussagen zur Raumentwicklung zulassen.
- Für die Klassen Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation), Gehölze, Wald, Wasser, Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie Bebauung wurden Aussagen zur raum-zeitlichen Veränderung der Flächennutzung für die Zeitschnitte 1990 bis 2020 für den Südraum Leipzig getroffen (vgl. Abb. 23<sup>38</sup>, S. 89, Abb. 24<sup>39</sup>, S. 90, Abb. 25<sup>40</sup>, S. 91 und Abb. 26<sup>41</sup>, S. 92)

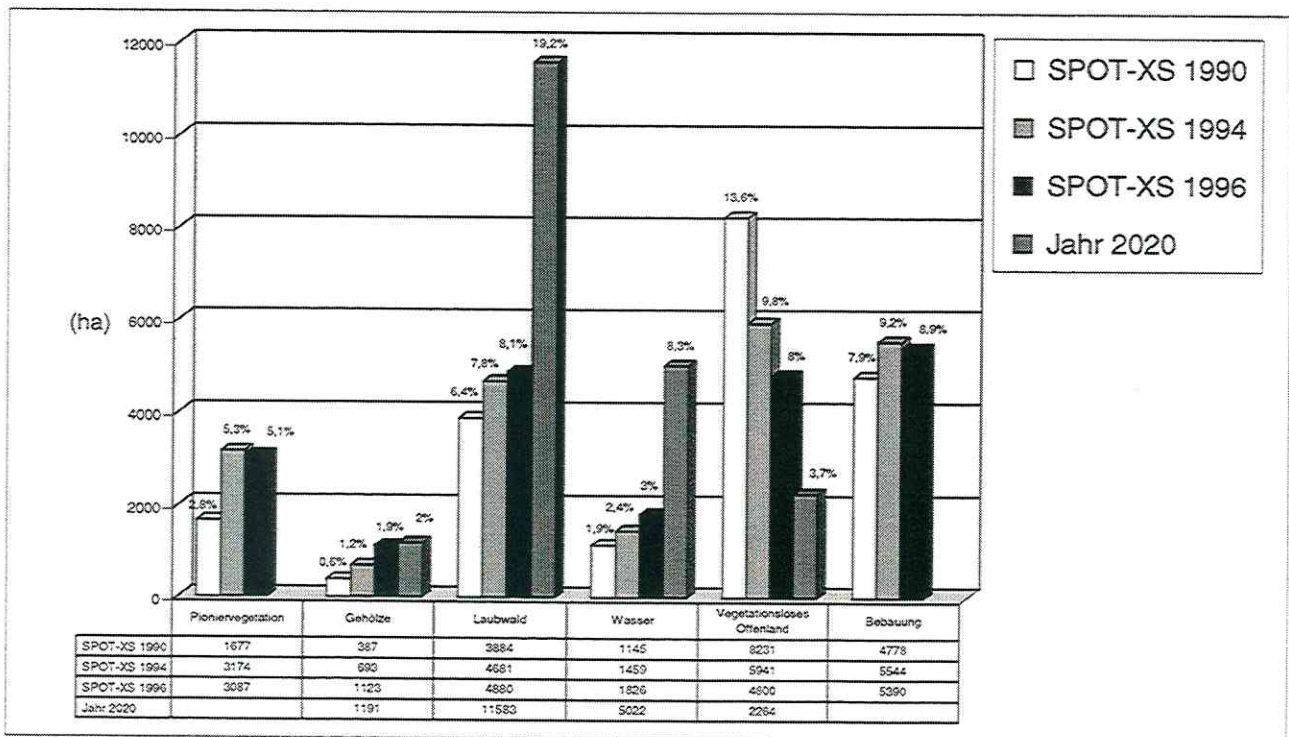


Abb. 20: Multitemporale Analyse der Flächenbilanz ausgewählter Land-Cover-Klassen aus klassifizierten SPOT-XS-Daten sowie der „Entwicklungskonzeption Landschaft“ für den Zeitraum 1990 bis 2020

<sup>36</sup> Nächste Seite – Abb. 21: Synthesebild der Flächennutzung – 1990 – Südraum Leipzig

<sup>37</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 22: Synthesebild der Flächennutzung – 2020 – Südraum Leipzig

<sup>38</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 23: Veränderung der Flächennutzungsklasse Gehölze – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

<sup>39</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 24: Veränderung der Flächennutzungsklasse Laubwald – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

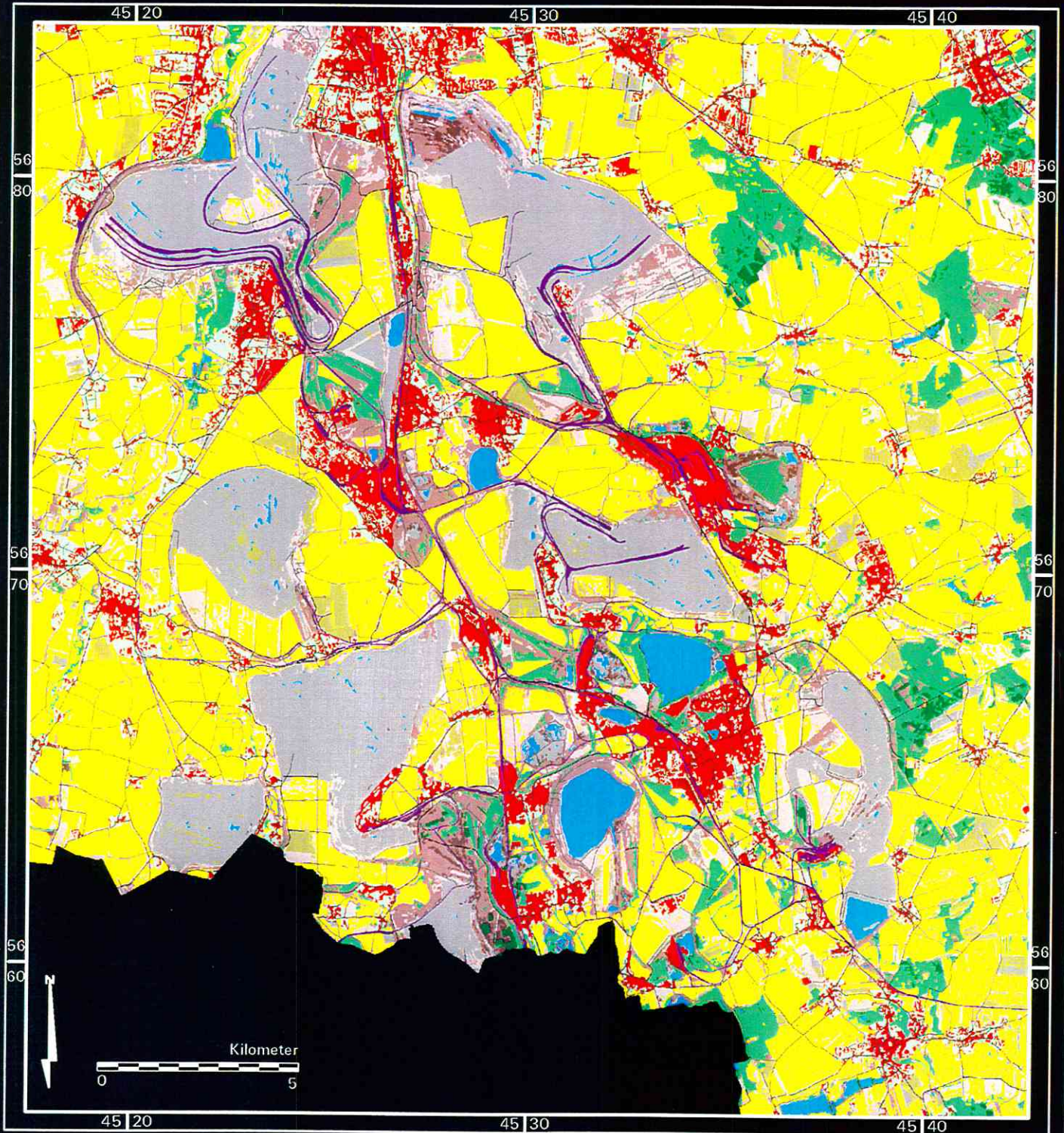
<sup>40</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 25: Veränderung der Flächennutzungsklasse Wasser – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

<sup>41</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 26: Veränderung der Flächennutzungsklasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020



# Synthesebild der Flächennutzung 1990

(generiert aus Klassifikationen Spot-XS 1990/1994, Integr. des Verkehrsnetzes)  
Südraum Leipzig



	Offenland (vegetationslos)		Laubwald		Gleisanlagen
	Offenland mit geringem Anteil Vegetation (Pioniervegetation)		Nadelwald		Bundes-u. sonstige Straße
	Offenland mit hohem Anteil Vegetation (Ruderalvegetation)		Grün-u. Ackerland		Wirtschaftsweg
	Ruderalvegetation u. Gehölze		Grün-u. Ackerland in Bebauung		
	Gehölze		Wasser		
			Bebauung		



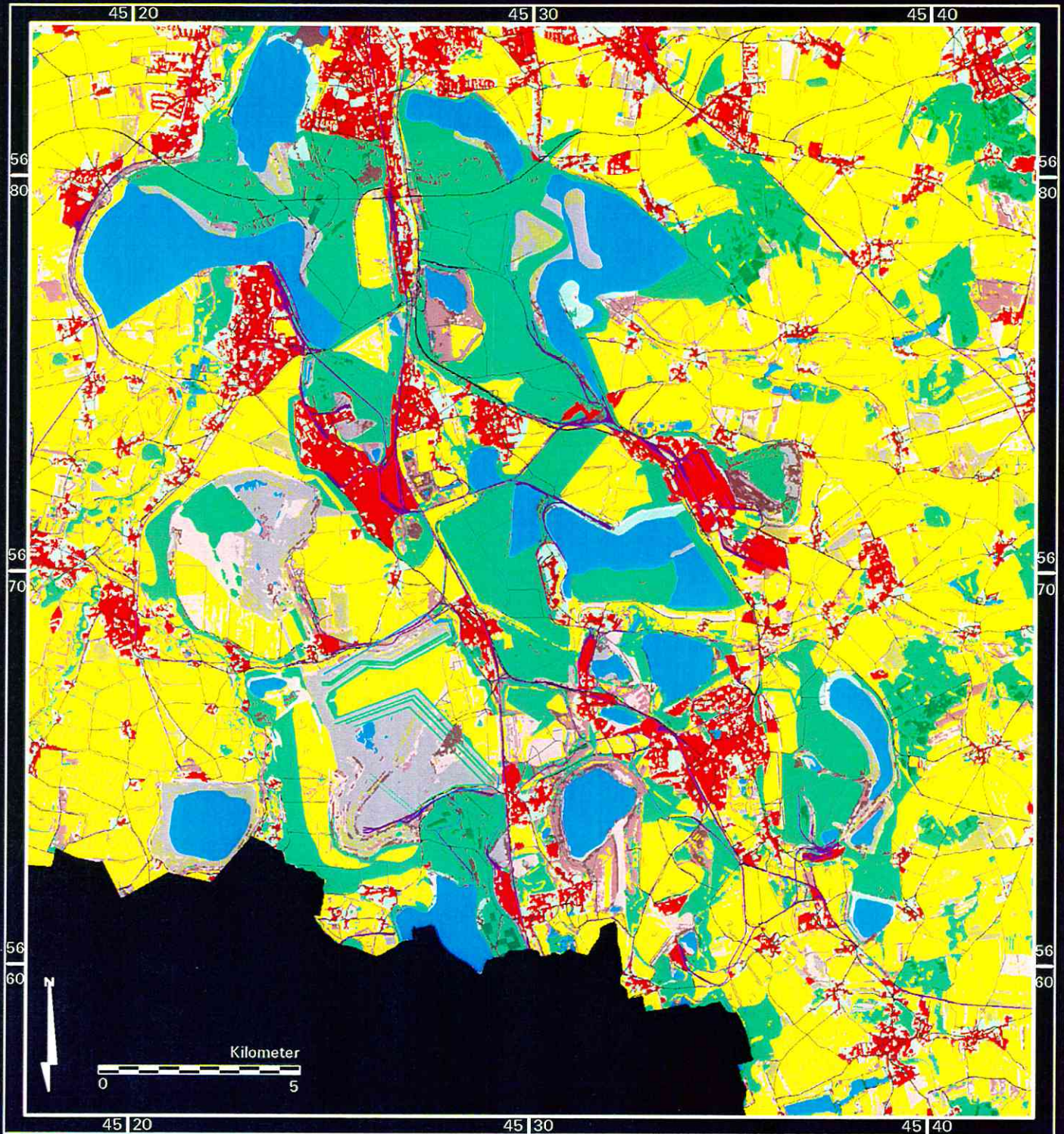
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch

Datengrundlagen:  
Klassifikation Spot-XS (06.05.1990),  
Klassifikation Spot-XS (25.06.1994),  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypen-  
kartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



# Synthesebild der Flächennutzung Jahr 2020

(generiert aus Klassifikationen Spot-XS 1996, Entwicklungskonzeption Landschaft)  
Integr. des Verkehrsnetzes - Südraum Leipzig



	Offenland (vegetationslos)		Laubwald		Gleisanlagen
	Offenland mit geringem Anteil Vegetation (Pioniervegetation)		Nadelwald		Bundes- u. sonstige Straße
	Offenland mit hohem Anteil Vegetation (Ruderalvegetation)		Grün- u. Ackerland		Wirtschaftsweg
	Ruderalvegetation u. Gehölze		Grün- u. Ackerland in Bebauung		
	Gehölze		Wasser		
			Bebauung		

Datengrundlagen:  
Klassifikation Spot-XS (31.05.1996),  
Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995  
- Regionaler Planungsverband Westsachsen,  
- Regionale Planungsstelle, Leipzig  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypen-  
kartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul

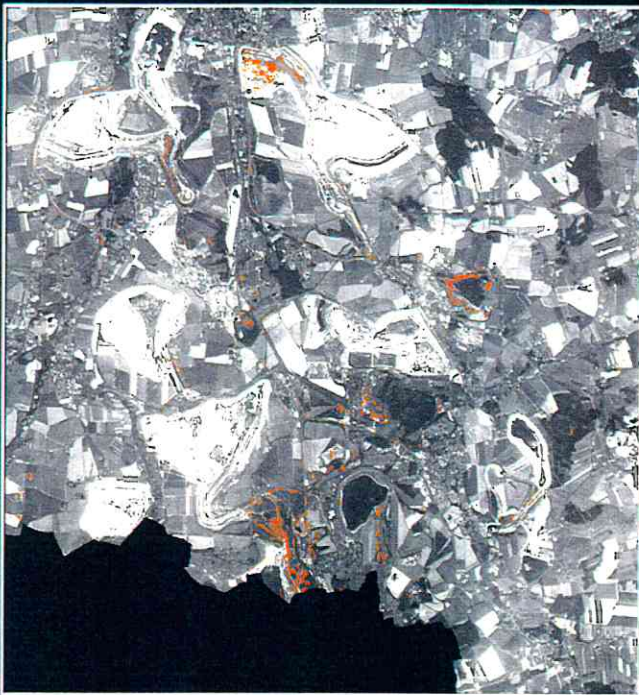


Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch



# Veränderung der Flächennutzungsklasse Gehölze Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

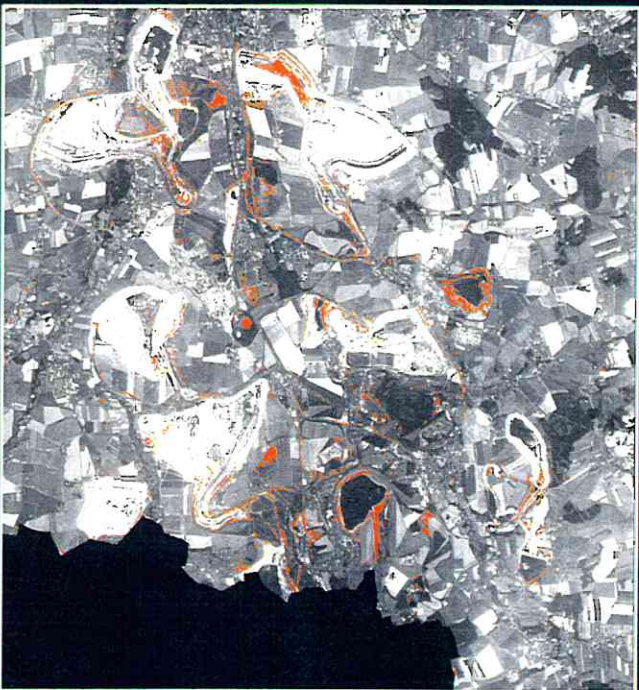
1990



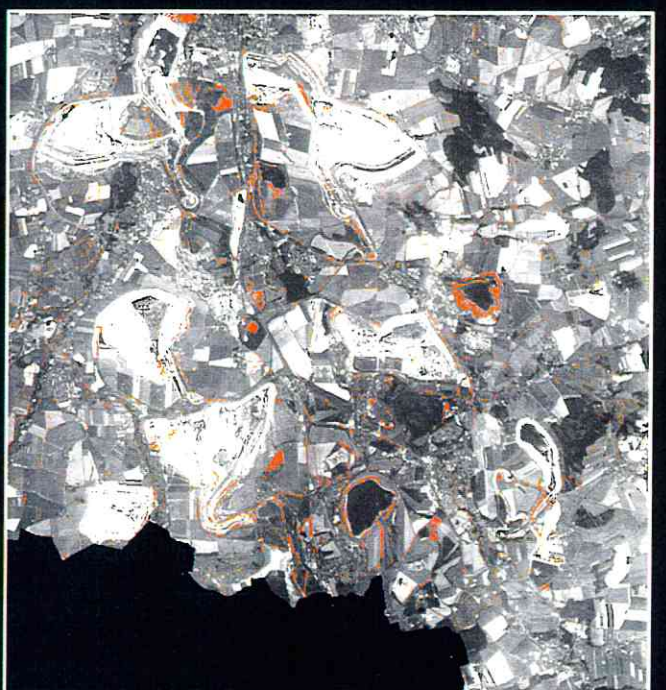
1994




1996



2020



0 5 Kilometer

 Gehölze



Satellitenbild Spot-PAN 1994  
Kantenfilterung - 3x3 Edge Enhance



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

Datengrundlagen:

- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995  
- Regionaler Planungsverband Westsachsen,  
- Regionale Planungsstelle, Leipzig  
Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)



# Veränderung der Flächennutzungsklasse Laubwald Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

1990



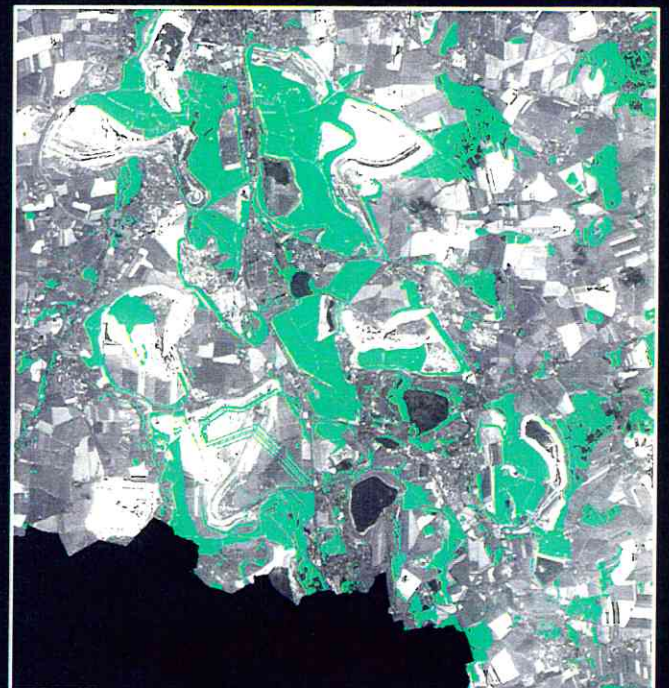
1994



1996



2020



Laubwald



Satellitenbild Spot-PAN 1994  
Kantenfilterung - 3x3 Edge Enhance



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



Datengrundlagen:

- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995  
- Regionaler Planungsverband Westsachsen,  
- Regionale Planungsstelle, Leipzig  
Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)

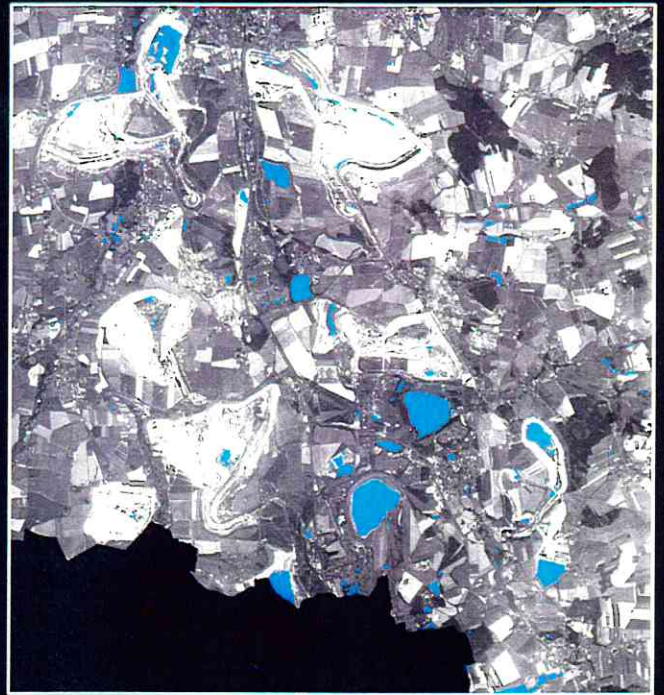


# Veränderung der Flächennutzungsklasse Wasser Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

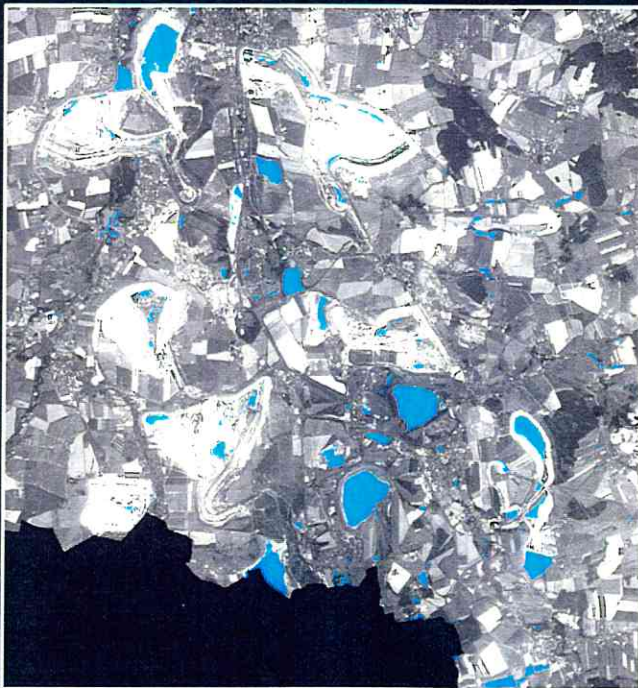
1990



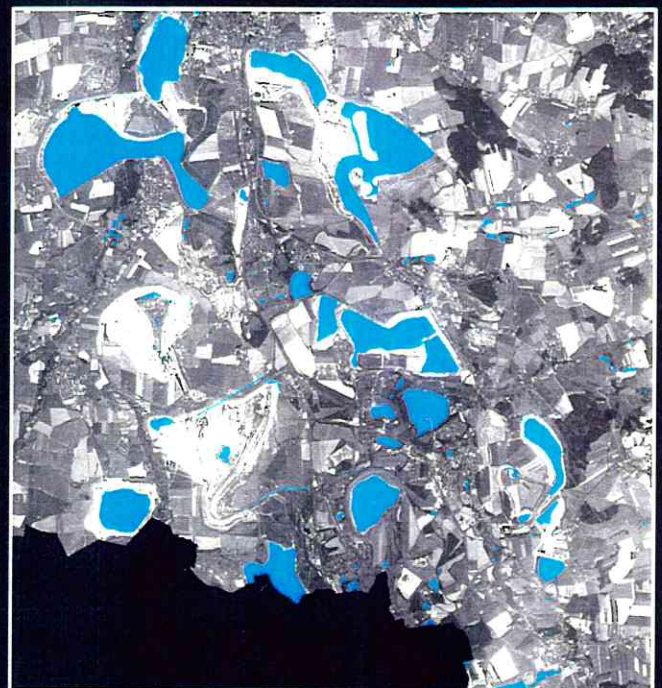
1994




1996



2020



0 5 Kilometer

 Wasserflächen



Satellitenbild Spot-PAN 1994  
Kantenfilterung - 3x3 Edge Enhance



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

Datengrundlagen:

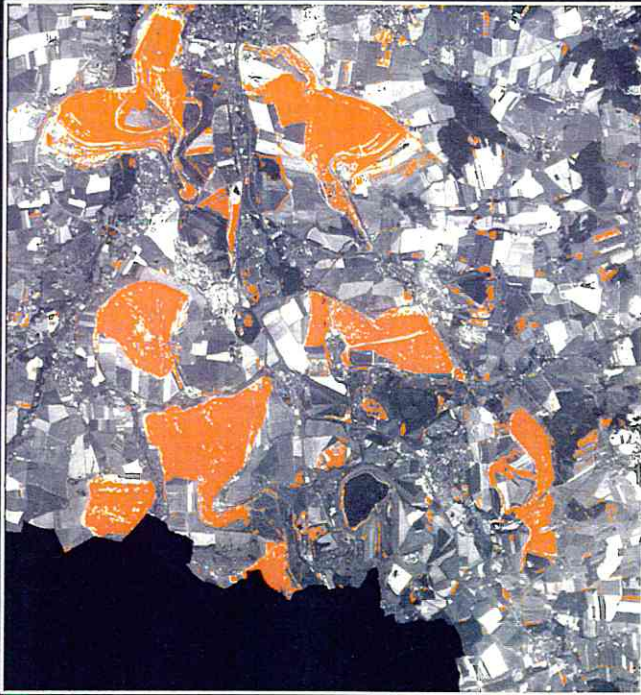
- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995  
- Regionaler Planungsverband Westsachsen,  
- Regionale Planungsstelle, Leipzig  
Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)



# Veränderung der Flächennutzungsklasse Offenland (vegetationslos) Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

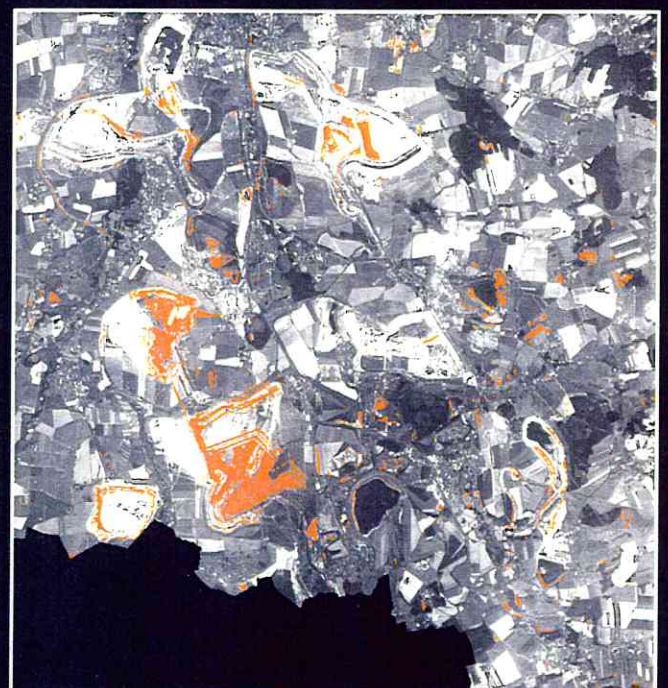
1990

1994



1996

2020



Offenland (vegetationslos)



Satellitenbild Spot-PAN 1994  
Kantenfilterung - 3x3 Edge Enhance



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



Datengrundlagen:

- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995  
- Regionaler Planungsverband Westsachsen,  
- Regionale Planungsstelle, Leipzig  
Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Spot-PAN (16.05.1994)



### 9.1.2 Dichteanalysen und deren Dynamik abgeleitet aus SPOT-XS-Daten im Zeitraum von 1990 bis 1996

Neben den Verfahren der Flächennutzungsanalyse stellt die Bewertung der Dichte ausgewählter *Land-Cover*-Klassen und ihrer Veränderungen ein weiteres Verfahren dar, um den Wandel von Landschaftselementen, Biotop- und Landschaftsstrukturen im Untersuchungsgebiet zu beschreiben bzw. zu beurteilen. In der Literatur werden verschiedene Verfahren zur Untersuchung der Dichte sowie deren Veränderung *aus Land-Cover*-Klassifikationen beschrieben. So verwendeten Gong & Howarth (1990), Spitzer (1996) sowie Weichelt (1996) zur Bestimmung des Parameters „Dichte“ unterschiedliche Filteralgorithmen (Summenmatrix). Diese haben nach Ansicht von Spitzer (1996) immer eine Generalisierung des Datensatzes zur Folge. Spitzer (1996, S. 103) weist darauf hin, daß bedingt durch den Einsatz von Filtermethoden „beim Übergang von überbauten zu nicht überbauten Flächen sich Dichtegradienten ..... durch ein Band mit nach außen hin abnehmender Überbauungsdichte zeigen“. Weichelt et al. (1996) entwickelte zur Untersuchung der Kantendichte ein mehrstufiges Verfahren, wodurch das Auftreten von Bebauungskanten im Zusammenhang mit der Häufigkeit des Auftretens weiterer Kanten in der näheren und weiteren Umgebung untersucht und bewertet wird.

Für den Südraum Leipzig wurden die Dichten der raumcharakterisierenden *Land-Cover*-Klassen Vegetationsloses Offenland (Tagebau), Gehölze, Wald sowie Bebauung ermittelt. Hierbei wurde der flächenhafte Anteil der Klassen für die Bezugsfläche von einem Hektar bestimmt und in Dichteklassen abgetragen - Klasse 1: (> 0 bis 20 % / ha); Klasse 2 (>20 bis 40 % / ha); Klasse 3 (>40 bis 60 % / ha); Klasse 4 (>60 bis 80 % / ha); Klasse 5 (>80 bis 100 % / ha), vgl. hierzu auch Abb. 27a-d (S. 96).

Um Aussagen zur raum-zeitlichen Veränderung der Dichte der jeweiligen Klasse treffen zu können, wurden mittels Differenzbildung die Dichteveränderungen der jeweiligen Dichteklassen für den Zeitraum von 1990 bis 1996 ermittelt und graphisch dargestellt (vgl. Abb. 28, S. 98 bis Abb. 30, S. 100).

#### Gehölzdichte

Die Klasse Gehölze spielt trotz ihres nur geringfügigen Flächenanteils von ca. 1 % für den Untersuchungsraum eine besondere Rolle. So lassen sich die Rekultivierungsmaßnahmen besonders an der Entwicklung dieser Klasse beobachten und beurteilen. Aufgrund der Kleinräumigkeit des Vorkommens dieser Klasse und der damit verbundenen Mischpixelproblematik unterliegt ihre quantitative Beurteilung jedoch einer erhöhten Fehlerrate. Bereits im visuellen Vergleich (vgl. Abb. 23a, (S. 89) fällt der dominierende flächenhafte Anteil der Dichteklasse 1 im Untersuchungsraum auf. Für das Jahr 1990 wurden 1203 ha Gehölzflächenanteil der Dichteklasse 1 ermittelt, wohingegen ca. 381 ha Flächenanteil der Gehölzdichteklasse 2 zugeordnet werden. Die Untersuchungen der zeitlichen Veränderung der Gehölzdichte zeigen eine starke Zunahme innerhalb des Zeitraumes von 1990 bis 1996 von ca. 1203 auf 3017 ha der Dichteklasse 1, dies wurde durch Spontansukzession bzw. forstliche Rekultivierung hervorgerufen.

Die Untersuchungen bezüglich der raum-zeitlichen Veränderungen lassen in der Abb. 28 (S. 98) sehr deutlich erkennen, daß sich die Veränderungen der Dichtezunahme von Gehölzen insbesondere in den Bereichen der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig vollziehen.



### Dichte von Laub- und Nadelwald (Walddichte)

Für die Analysen zur Dichte von Wald wurden die *Land-Cover*-Klassen Laub- und Nadelwald als eine Klasse betrachtet, da im Südraum Leipzig ein nur geringer Flächenanteil an Nadelwald vorliegt. Mit Hilfe der vorliegenden Dichteuntersuchungen zum Wald können flächenkonkrete Aussagen in bezug auf den Erfolg der laufenden forstwirtschaftlichen Rekultivierung der Tagebaue gemacht werden.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß insbesondere die Dichteklassen 1 (Flächen mit geringer Walddichte) sowie die Dichteklasse 5 (Flächen mit sehr hoher Walddichte) den dominanten Flächenanteil vergleichsweise zu den Dichteklassen 2,3, und 4 im Südraum Leipzig einnehmen Abb. 27b (S. 96).

Zu den Beständen des Laub- und Nadelwaldes mit einer sehr geringen Dichte zählen insbesondere folgende Vegetationselemente:

- Waldbestände mit einem noch geringen Kronendach (z.B. Neuanpflanzungen von Pappel, Birke),
- Laub- und Nadelgehölze, die einen mehr oder weniger breiten , z.T. noch lückigen Waldrandstreifen bilden sowie
- Laub- und Nadelgehölze in lichter Einzelstellung.

Eine sehr hohe Dichte weisen besonders die bereits stark etablierten und dicht stehenden Laub- und Nadelwaldbestände wie beispielsweise das Oberholz sowie die Hochhalde Trages auf.

Aus den Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Walddichte wird ebenfalls ersichtlich, daß alle Dichteklassen einem Flächenzuwachs von 1990 bis 1996 unterliegen, wobei die Waldbestände mit einer sehr hohen Dichte flächenhaft am stärksten von 1990 bis 1994 zunehmen.

Mit Hilfe der Abb. 29 (S. 99) ist die räumliche Verteilung der unterschiedlichen Walddichteklassen sowie deren Veränderung von 1990 bis 1996 ersichtlich. So zeigen die Analysen, daß der Laub- und Nadelwald der Tagebaulandschaft einer hohen Dynamik unterliegt. So kommt es besonders in den zentralen Bereichen der Tagebaulandschaft zu einer Zunahme der Dichte, wohingegen die etablierten Waldbereiche (Oberholz) keine bzw. nur geringfügige Änderungen in der Walddichteentwicklung aufweisen.

### Dichte von Vegetationsloses Offenland (Tagebau)

Die Untersuchungen zur Dichte von Vegetationslosem Offenland (Tagebau) zeigen, daß im Südraum Leipzig insbesondere Offenlandbereiche (vegetationslos) mit einer sehr hohen Dichte (Dichteklasse 5, >80 bis 100%/ha) den flächenhaft dominanten Anteil (6083 ha) einnehmen (vgl. Abb. 27c, S. 96). Räumlich gesehen konzentriert sich das Vegetationslose Offenland (1990) besonders in den Tagebaubereichen Espenhain, Zwenkau, Peres, Witznitz, Schleenhain, Groitzscher Dreieck sowie geringfügig auch im Tagebau Bockwitz (vgl. Abb. 30, S. 100). Einen geringeren Flächenanteil von ca. 3316 ha nimmt das Vegetationslose Offenland der Dichteklasse 1 (>0 bis 20%/ha) ein. So stellen die Übergangsbereiche unterschiedlicher Biotop- und Flächennutzungsstrukturen (z.B. Vegetationsloses Offenland und Pioniervegetation) Flächen nur geringer Offenlanddichte dar. Hier ist die Verzahnung der verschiedenen Biotopstrukturen sehr hoch.

Anhand der Prozeßanalyse der Offenlanddichte von 1990 bis 1996 wird ersichtlich, daß Bereiche sehr hoher Dichte (Dichteklasse 5) eine starke Verringerung der Flächenanteile von 6083 auf 2179 ha erfahren. Unter Einbeziehung des Differenzbildes lassen sich diese Dichteveränderungen auch räumlich erfassen. So vollzieht sich die Abnahme der Dichte vorrangig in den zentralen



Bereichen der Tagebaue, wohingegen für die randlichen Zonen eine geringfügige Zunahme der Offenlanddichte (Dichteklasse 2 und 3) ermittelt wurde. Mit Hilfe der Dichteentwicklung können desweiteren Rückschlüsse auf die Entwicklung der in den Offenlandbereichen etablierten Vegetation (Pioniervegetation, Ruderalvegetation, Gehölze) gezogen werden. So geben die Bereiche der ermittelten Dichtezunahme von Vegetationslosem Offenland (Tagebau) einen Hinweis auf die hier ablaufenden Maßnahmen zur Bodenverbesserung (Planierung, Aufschütten von kulturfähigem Bodenmaterial sowie Pflanzarbeiten), die mit einer Zerstörung der etablierten Vegetation einhergehen. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen auch die Untersuchungen zur Ausbreitung der Sukzessionsvegetation in Kippengebieten von Schmidt (1995), Durka et al. (1996) sowie Durka & Altmoss (1997a, 1997b).

### Bebauungsdichte

Hinsichtlich der Bestimmung der Dichte von bebauten Flächen liegen von Spitzer (1996) sowie Heinz (1999) Untersuchungen vor, die insbesondere den Einsatz von Fernerkundungsdaten als eine durchaus geeignete und verlässliche Methode zur Bestimmung der Bebauungsdichte unterstreichen. Aufgrund des besonderen Erfassungsmodus von Satellitenbilddaten wurde durch Spitzer (1996, S. 95) der Begriff 'Überbauungsdichte' geprägt. So kennzeichnet „die 'Überbauung' (= überbaute Fläche) alle im Satellitenbild differenzierbaren Oberflächen, deren Spektraleigenschaften eindeutig auf eine anthropogene Bodenbedeckung hinweisen. Diese Oberflächen setzten sich zum Großteil aus Beton- Dach-, Asphalt- oder Blechflächen zusammen. Neben reinen Gebäuden und Verkehrsflächen aus Beton- und Asphaltoberflächen sind in dieser Gruppe auch Bildelemente enthalten, die aus Mischsignaturen bestehen können“. So wird die Überbauungsdichte aus dem Anteil der überbauten Fläche an einer festgesetzten Bezugsfläche bestimmt.

Für die im Untersuchungsraum erfaßte Bebauung wurde keine weitere Differenzierung der Klasse vorgenommen. Hinsichtlich der Anteile (vgl. Abb. 27d (S. 96) weisen die Bebauungsflächen der Dichteklassen 1 und 5 eine geringfügig flächenhafte Dominanz gegenüber den relativ gleichmäßig verteilten Dichteklassen 2 bis 4 auf. Diese Dominanz wird durch die im Südraum Leipzig konzentrierten Industriestandorte (Böhlen, Espenhain) hervorgerufen, die einen hohen Grad der Bebauungsdichte pro Flächeneinheit aufweisen. Der hohe flächenhafte Anteil der Bebauungsdichte 1 erklärt sich aus der Vielzahl vorliegender Einzelsiedlungen im Südraum Leipzig. So weisen die Bereiche ländlicher Bebauungsstrukturen einen relativ hohen Grünflächenanteil pro Bezugsfläche aus. Hingegen besitzen wenig durchgrünte Flächen eine höhere Bebauungsdichte, dies läßt sich insbesondere für die Bebauung von Markkleeberg erkennen.

Die Untersuchungen der Dichteveränderungen zwischen 1990 und 1996 zeigen unter Einbeziehung des Differenzbildes (vgl. Abb. 31, S. 101) eine Zunahme der Bebauungsdichte der stadtnahen Bereiche bzw. der im Westen des Südraumes gelegenen Bebauung. Desweiteren wurde neben der Flächenzunahme der Überbauungsdichte (Klasse 5) auch die Zunahme der Bebauung mit einer nur geringen Dichte (Klasse 1) ermittelt, die insbesondere auf die Zunahme des Wohnungsbaus im Zuge der wirtschaftlichen Veränderungen von 1990 bis 1996 zurückzuführen sind.



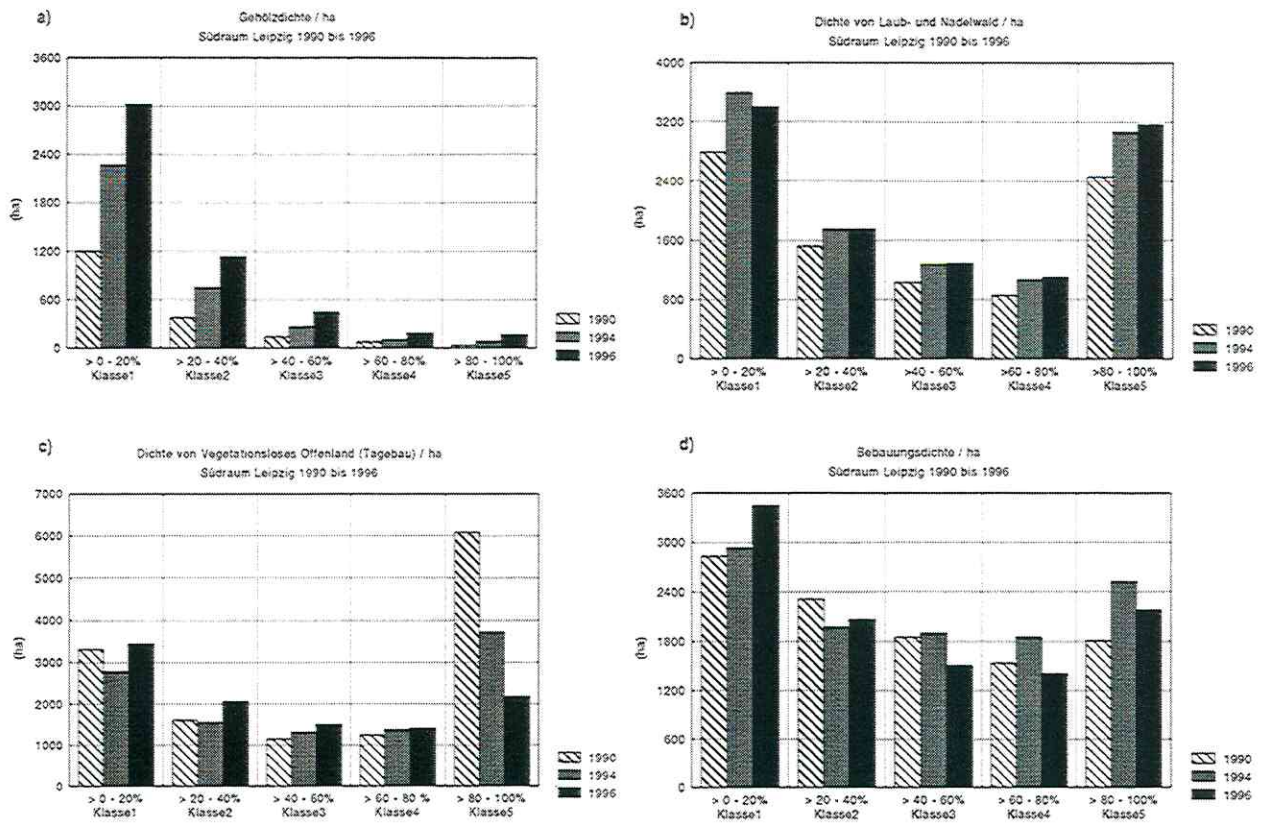


Abb. 27a-d: Multitemporale Analysen der Dichten der Klassen Vegetationsloses Offenland (Tagebau), Gehölze, Laub- und Nadelwald sowie Bebauung für den Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

### Zusammenfassung

- Die Untersuchung der Dichte der raumcharakterisierenden Klassen Gehölze, Laub- und Nadelwald, Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie Bebauung stellt eine wichtige Methode zur Erfassung und Beschreibung der Biotop- und Landschaftsstruktur des Südraumes Leipzig dar. So ist durch die Dichteerfassung eine komplexe Betrachtung der im Untersuchungsraum ablaufenden Entwicklungsprozesse für die untersuchten Klassen möglich.
- Der Erfolg der raum-zeitlichen Prozeßerfassung großräumiger Landschaften wird neben der Wahl geeigneter Untersuchungsmethoden (Fernerkundung) auch von der Anwendung unterschiedlicher Analyse- und Darstellungsformen (z.B. Erfassung von Differenzbildern) bestimmt. Mit Hilfe der hier vorgestellten Methoden können wichtige Aussagen zur
  - räumlichen Verteilung der Dichteklassen sowie
  - zeitlichen Veränderung der Dichteklassen der Klassen Gehölze, Wald, Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie der Bebauung gemacht werden.
- Die Erfassung der Dichte sowie deren Dynamik liefert wichtige flächenspezifische Aussagen zum Verlauf von Sukzessionsentwicklung, Gehölzentwicklung sowie dem Zustand des Waldes. Hieraus lassen sich wichtige Informationen zum Erfolg der land- und forstwirtschaftlichen Rekultivierung (Anwachsen, Entwicklung, flächenhafte Verbreitung der Gehölze, Eignung des aufgetragenen Bodenmaterials) gewinnen, aus denen der(noch/wieder notwendige) regionale Handlungsbedarf bestimmt werden kann.



- *Die Bestimmung der Dichte der Land-Cover-Klassen (Pioniervegetation, Gehölze, Laubwald) liefert interessante methodische Ansätze zur Untersuchung ökologischer Phänomene an Grenzen sowie den Übergangsbereichen unterschiedlicher Biotopstrukturen (Ökotope). So lassen sich aus der Dichte (z.B. Dichte von Waldsaum) sowie den Kantenmaßen, die Intensität sowie der Grad der Verzahnung von unterschiedlichen Biotop- und Flächennutzungsstrukturen ableiten, wodurch Einschätzungen zur ökologischen Bedeutung der Grenzen möglich sind.*
- *Die vorliegenden Untersuchungen zum Dichteverhalten belegen den besonderen Wert der Fernerkundungsdaten für das Monitoring der Tagedaulandschaft. Zusammen mit den Ergebnissen der Flächennutzungsanalysen bilden diese die Datengrundlage für die nachfolgenden Trend- und Prozeßanalysen sowie die Charakterisierung der Biotop- und Landschaftsstruktur und deren Dynamik mittels Bestimmung der Landschaftsstrukturmaße für den Südraum Leipzig (vgl. Abb. 28<sup>42</sup>, S. 98, Abb. 29<sup>43</sup>, S. 99, Abb. 30<sup>44</sup>, S. 100, Abb. 31<sup>45</sup>, S. 101).*

---

<sup>42</sup> Nächste Seite – Abb. 28: Untersuchung der Gehölzdichte – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

<sup>43</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 29: Untersuchung der Dichte von Laub- u. Nadelwald – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

<sup>44</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 30: Untersuchung der Dichte von Offenland (vegetationslos) – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

<sup>45</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 31: Untersuchung der Bebauungsdichte – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996



# Untersuchung der Gehölzdichte Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

1990



1994



1996



Veränderungen der Gehölzdichte  
Zeitraum 1990 bis 1996



Gehölzdichte / ha [%]



Veränderungen der Gehölzdichte



Kilometer  
0 5

Datengrundlagen:

1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)

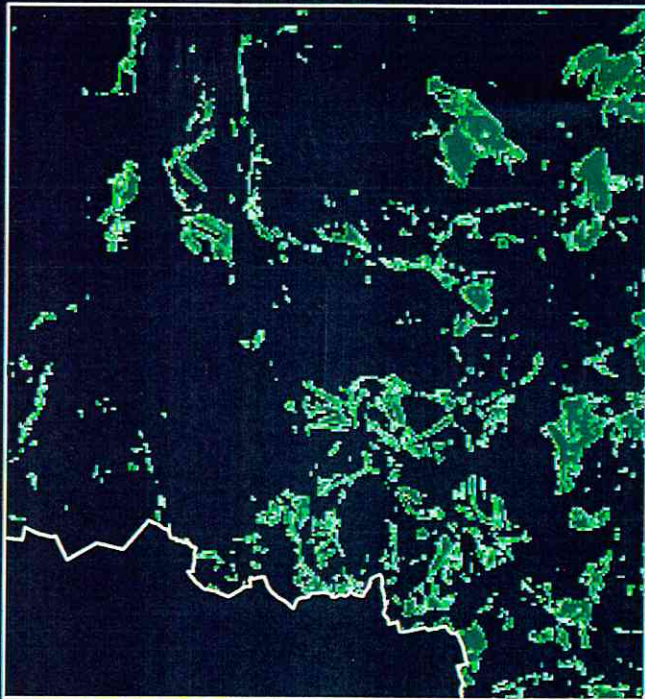


Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch

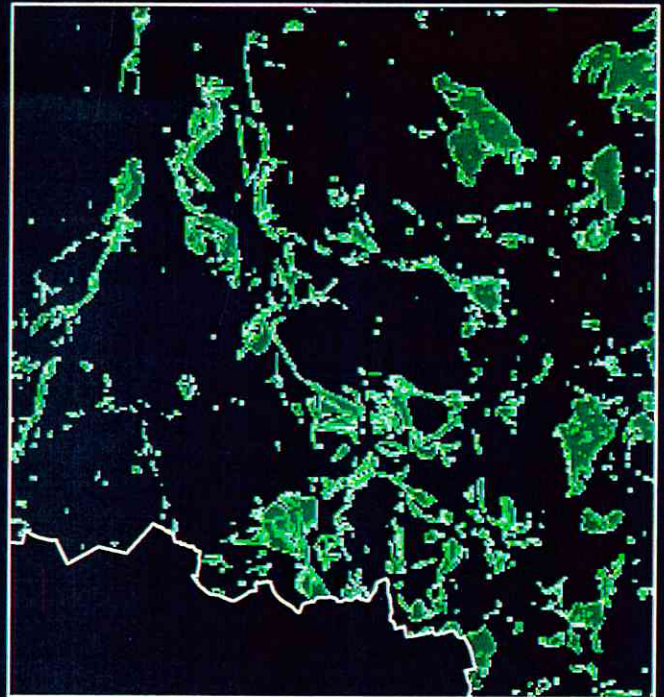


# Untersuchung der Dichte von Laub- u. Nadelwald Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

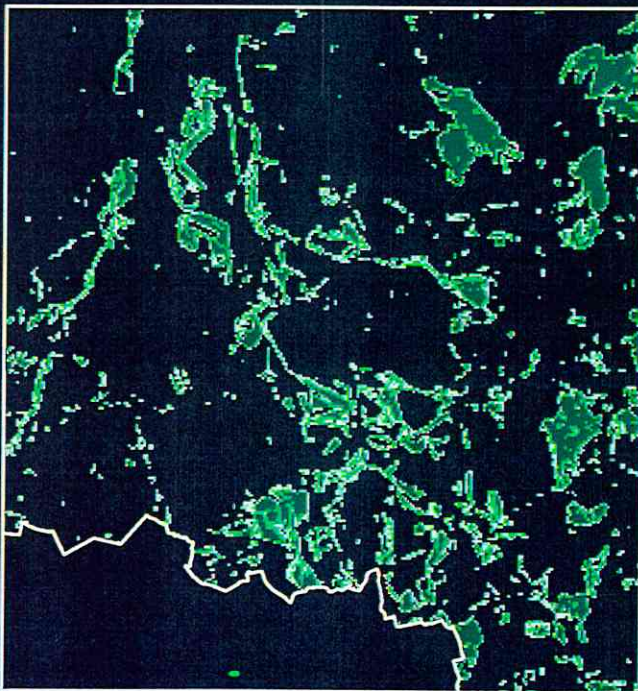
1990



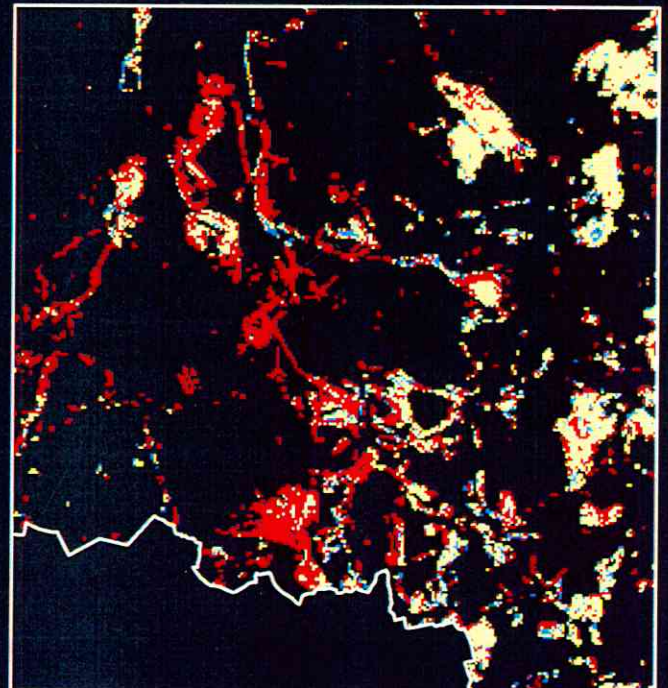
1994



1996



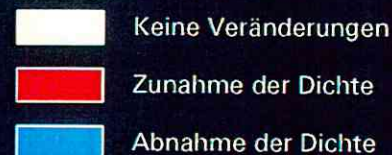
Veränderungen der Dichte  
von Laub- u. Nadelwald  
Zeitraum 1990 bis 1996



Dichte von Laub- u. Nadelwald / ha [%]



Veränderungen der Dichte von  
Laub- u. Nadelwald



Kilometer  
0 5

Datengrundlagen:

1990	Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)
1994	Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)
1996	Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)

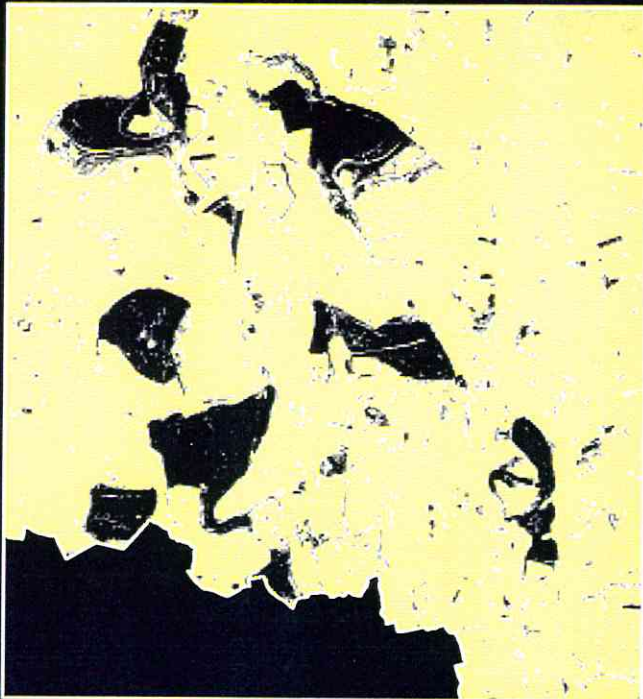


Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch

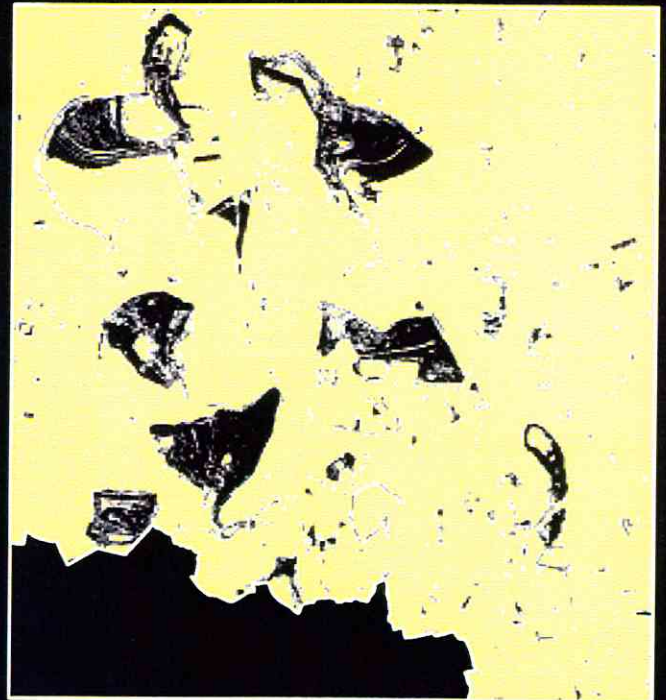


# Untersuchung der Dichte von Offenland (vegetationslos) Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

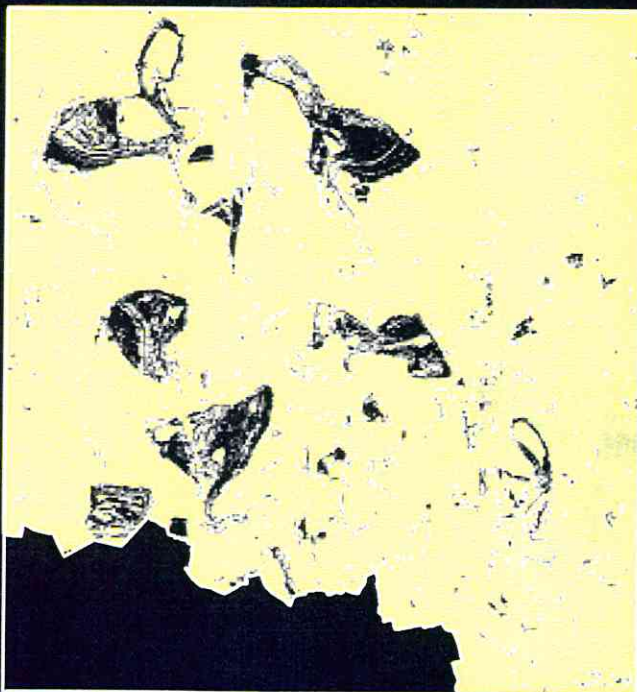
1990



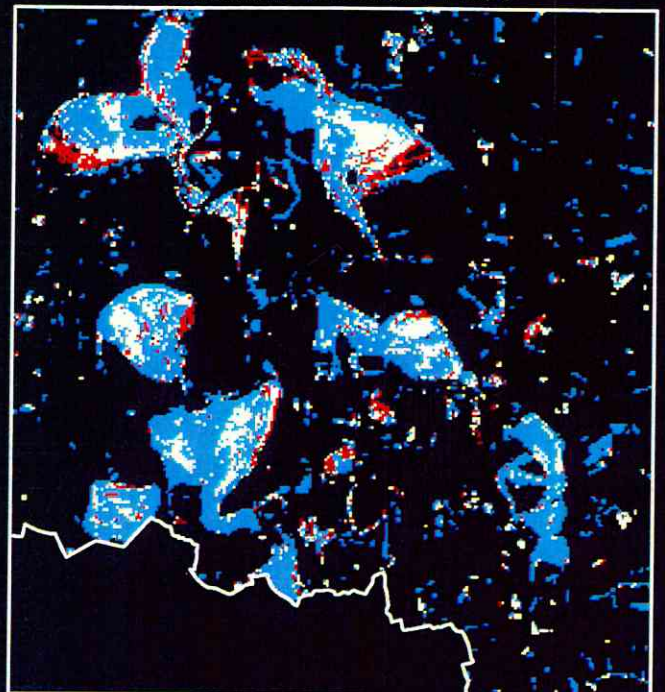
1994



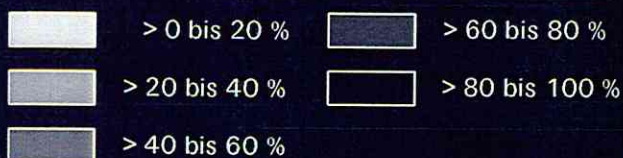
1996



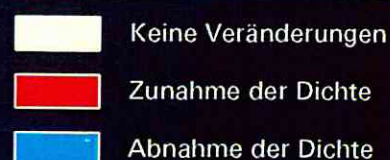
Veränderungen der Dichte von  
Offenland (vegetationslos)  
Zeitraum 1990 bis 1996



Dichte von Offenland (vegetationslos) / ha [%]



Veränderungen der Dichte von  
Offenland (vegetationslos)



Kilometer  
0 5



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

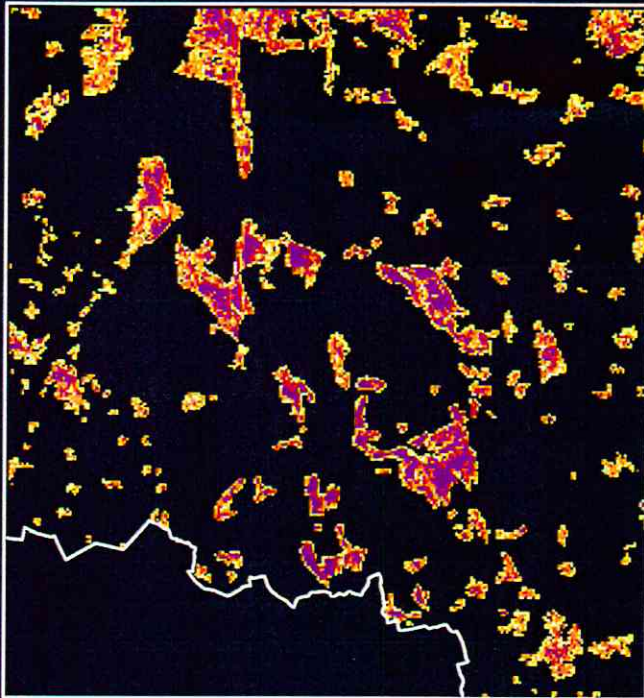
Datengrundlagen:

1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)

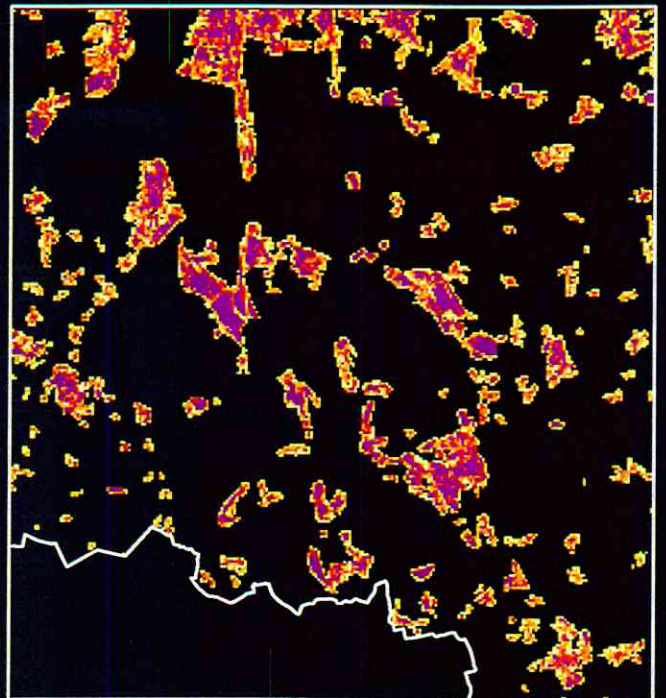


# Untersuchung der Bebauungsdichte Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

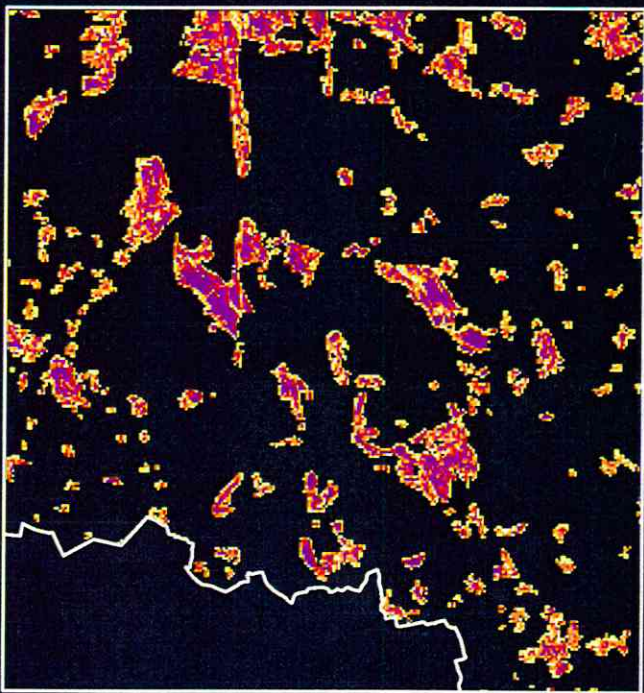
1990



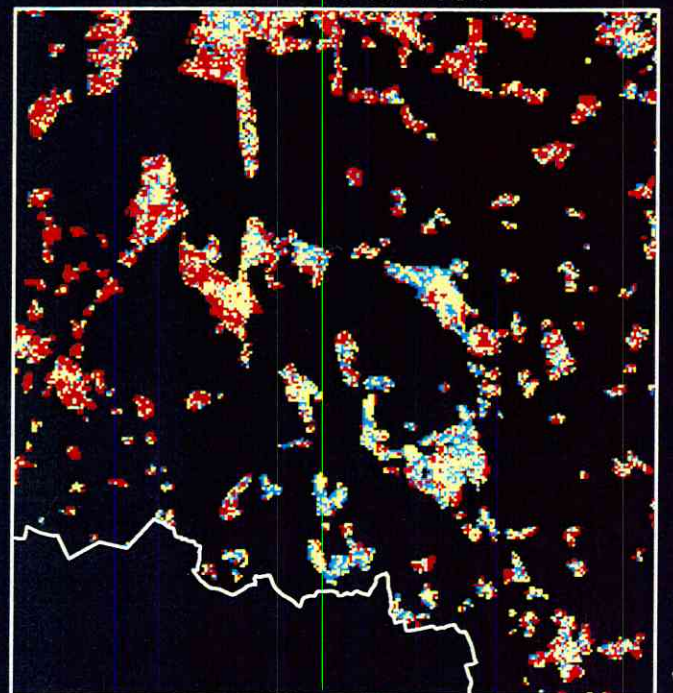
1994



1996



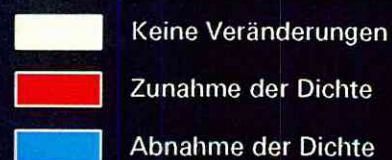
Veränderungen der Dichte  
der Bebauung  
Zeitraum 1990 bis 1996



Dichte der Bebauung / ha [%]



Veränderungen der Dichte der  
Bebauung



Kilometer

0 5

Datengrundlagen:

1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)



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



### 9.1.3 Veränderungen von Landschaftsstrukturmaßen abgeleitet aus SPOT-XS-Daten – 1990 bis 1996 und geplantem Zustand 2020

Die in Kap. 6.1.3 (S. 40) erarbeiteten multitemporalen Daten wurden hinsichtlich ihrer raumstrukturellen Eigenschaften für das Monitoring von Landschaftsveränderungen für die Zeitschnitte 1990, 1994, 1996 und 2020 untersucht. Hieraus lassen sich Aussagen bezüglich der Gesamtentwicklung des Südraumes Leipzig ableiten.

#### 9.1.3.1 Analysen der Veränderungen durch Flächenmaße

Indikatoren der Flächenmaße quantifizieren die flächenhafte Zusammensetzung der Landschaft. Sie stellen somit wichtige Maße zur Beurteilung der Landschaftsveränderung dar. Für den Südraum Leipzig wurden die Indikatoren der Flächenmaße *LPI*, *MPS*, *PD* sowie *PSCV auf der* Landschafts- und Klassenebene berechnet (vgl. Abb. 32a-h, S. 103).

Die Landschaftselemente des Südraumes zeigen eine starke Veränderung des *Index Largest patch index (LPI)* für den Zeitraum 1990 bis 2020 (vgl. Abb. 32a-h, S. 103). So fällt der anfangs hohe *LPI* (2,3%) von 1990 bis 1996 auf 1,36% ab und nimmt bis 2020 wieder geringfügig zu. Der *LPI* des Südraumes wird besonders von dem hohen *LPI*-Wert der Tagebauflächen für 1990 bestimmt. Erst die Tagebaustillegung, sowie die ab 1990 beginnenden großflächigen Rekultivierungsarbeiten, reduzieren den *LPI* und die damit verbundene flächenhafte Dominanz der Landschaftselemente des Tagebaus. Für das Jahr 2020 bedingen die geplanten Flächenplanungen der „Wald- und Seenlandschaft“ des Südraumes Leipzig eine Zunahme von Laubwald und Wasser, wodurch sich der Anstieg des *LPI* für das Jahr 2020 erklärt (vgl. Abb. 32a-b, S. 103).

Neben dem *LPI* liefern die Indikatoren *Mean patch size (MPS)* sowie *Patch density (PD)* wichtige Aussagen zur mittleren Flächengröße sowie Dichte der Landschaftselemente des Südraumes. So wurden für den Zeitschnitt 1990 geringe *MPS*-Werte (ca. 2 ha) ermittelt, deren Werte bis zum Jahr 2020 auf 3 ha ansteigen. Die Zunahme des *MPS* bis 2020 begründet sich in der Zunahme der mittleren Flächengrößen der raumcharakterisierenden *Land-Cover*-Klassen Laubwald, Wasser sowie Grün- und Ackerland, verbunden mit einer gleichzeitigen Abnahme des *MPS* für Vegetationsloses Offenland (Tagebauflächen) von 1990 bis 2020. Für die Klasse Gehölze kann hinsichtlich des *MPS* ein geringfügiger Anstieg der mittleren Flächengröße von 0,7 ha (1990) auf 1,3 ha (2020) errechnet werden (vgl. Abb. 32c-d, S. 103).

Die Zunahme der mittleren Flächengröße der Landschaftselemente wird von einer Abnahme der *Patch density* (1990) von 48 *Patches*/100 ha auf noch 32 *Patches*/100 ha für den Zeitschnitt 2020 begleitet (vgl. Abb. 32e, S. 103). Die Ursache dieser Dichteabnahme ist in der Verringerung der Flächenanzahl (*Number of patches - NP*) der Klassen Laubwald, Tagebau, Grün- und Ackerland sowie geringfügig auch von Wasserflächen im Zeitraum von 1990 bis 2020 zu sehen. Für die Klasse Gehölze kann aufgrund der Zunahme der forstlichen Rekultivierung ein Anstieg der Flächendichte gezeigt werden. Diese Zunahme der *PD* hat jedoch aufgrund des nur geringen prozentualen Flächenanteils dieser Klasse keinen Einfluß auf die Flächendichte (*PD*, vgl. Abb. 32e-f, S. 103).



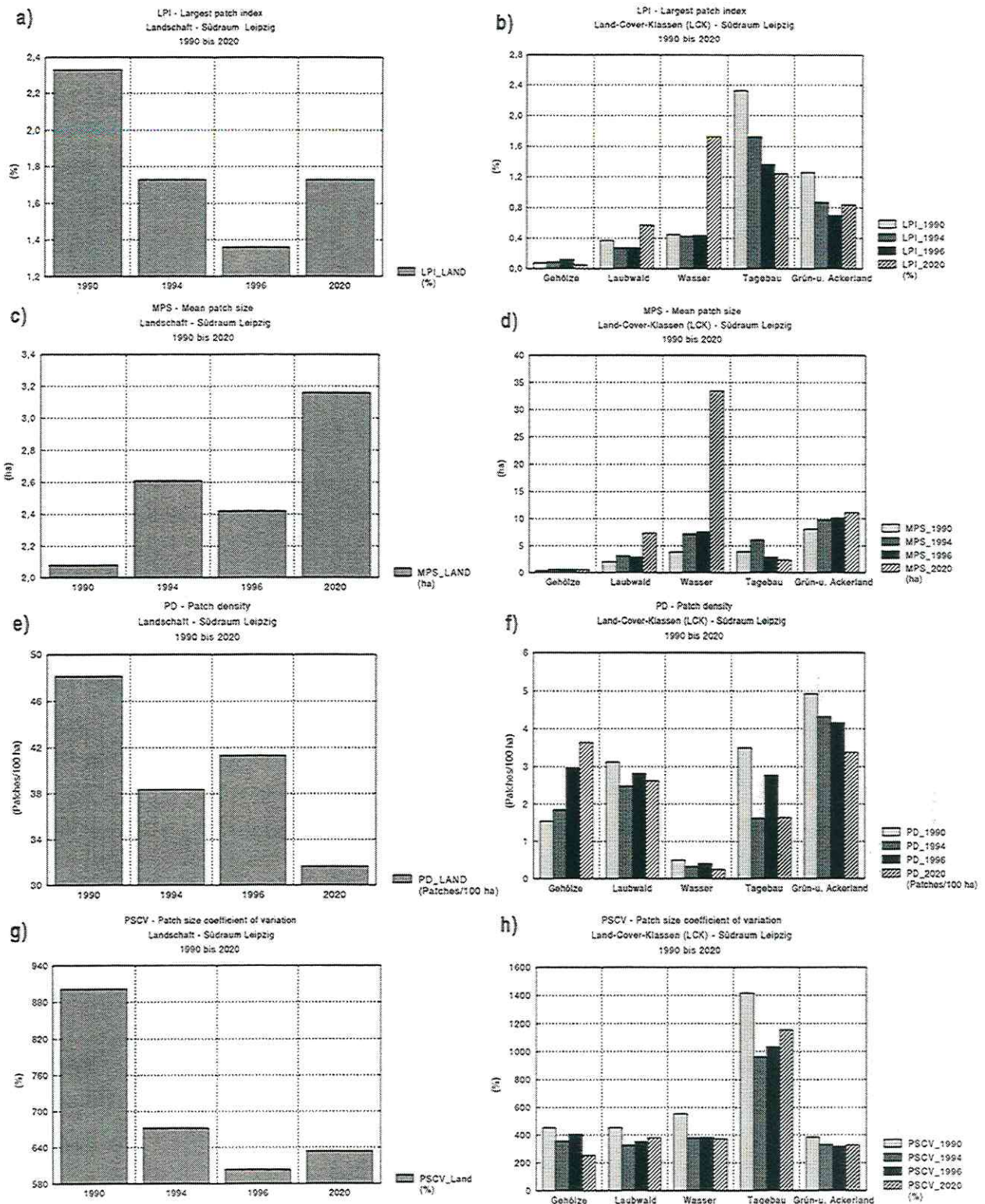


Abb. 32a-h: Flächenmaße – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020

Die Landschaftselemente der Tagebaulandschaft des Südraumes zeigen für 1990 eine Dominanz der großen zusammenhängenden Tagebauflächen, die von einer geringen mittleren Flächengröße (*MPS*) aller Landschaftselemente begleitet wird. Desweiteren wird ersichtlich, daß die Flächengrößen der LE des Südraumes einer hohen Variabilität der Flächengröße bezogen auf die mittlere Flächengröße der LE, unterliegen. So erreicht der Index *Patch size coefficient of variation* (*PSCV*) für den



Zeitschnitt 1990 hohe Werte. Die weitere Entwicklung zeigt, daß es bis 1996 zu einer Zunahme der Uniformierung der Flächengrößen der LE kam, was sich in der Abnahme des PSCV zeigt. Die für 1996 geringe Variabilität der Flächengrößen nimmt bis zum Jahr 2020 wieder leicht zu. Die Entwicklung des Index *PSCV\_Land* für die Tagebaulandschaft kann nicht durch die *PSCV*-Entwicklung nur einer *Land-Cover*-Klasse begründet werden. Alle untersuchten Klassen zeigen eine anfänglich hohe Variabilität für 1990, wobei der Index für die Tagebauflächen dominiert. Die zeitliche Entwicklung des *PSCV* gibt den Hinweis, daß die untersuchten Klassen ein unterschiedliches Verhalten gegenüber dem Index zeigen. So verringert sich die Variabilität der Flächengrößen für die Gehölze, wohingegen die Landschaftselemente der Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) nach anfänglicher Abnahme eine zunehmende Tendenz von 1994 bis 2020 aufweisen, den Maximalwert von 1990 jedoch nicht erreichen. Aufgrund des vorliegenden geologischen raumstrukturellen Mosaiks der Tagebaulandschaft konnten sich im Untersuchungsraum z.T. zahlreiche temporäre Kleingewässer etablieren. Sie weisen unterschiedliche Flächengrößen auf, die sich auch in den hohen Werten des *PSCV* für 1990 niederschlagen. Von 1994 bis 2020 sind die Werte des *PSCV* der Wasserflächen nahezu konstant. Dies zeigt, daß trotz der für 2020 geplanten Seenlandschaft, eine noch gleichbleibende Variabilität unterschiedlicher Flächengrößen für diese Klasse gegeben ist (vgl. Abb. 32g-h, S. 103).

### 9.1.3.2 Analysen der Veränderungen durch Kantenmaße

Die Kanten (*edges*) bilden die Grenzen der Landschaftselemente. Mit ihrer Hilfe ist das Ausmaß sowie die Dynamik des menschlichen Einflusses auf die Landbedeckung quantitativ erfaßbar. Für den Südraum Leipzig wurden die Indikatoren *Edge density (ED)* sowie *Mean edge contrast index (MECI)* auf der Landschafts- und Klassenebene ermittelt (vgl. Abb. 33a-d, S. 106).

Der *ED* zeigt für alle Landschaftselemente des Raumes im Zeitraum 1990 bis 1996 nur geringfügige Schwankungen, wohingegen von 1996 zu 2020 eine hohe Abnahme des Index *ED* zu verzeichnen ist (vgl. Abb. 33a, S. 106). Die Werte der *ED* für den Südraum Leipzig können mit den vorliegenden *ED*-Werten der raumcharakterisierenden Klassen nicht begründet werden, da nur die LE der Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) eine abnehmende Tendenz der *ED* von 1990 bis 2020 aufweisen (vgl. Abb. 33b, S. 106). Bei einer Zunahme des *MPS* sowie gleichzeitiger Abnahme des *PD* der Elemente auf Landschaftsebene müßte auch eine Zunahme der *ED* für die Gesamtlandschaft zu erwarten sein.

Folgende Faktoren können einen Einfluß auf die starke Abnahme des *Edge density* haben:

- Es wurden Daten unterschiedlichen Datenursprunges sowie Maßstabs zur Generierung des Zeitschnittes 2020 verarbeitet (Vektordaten besitzen eine geringere Grenzlänge gegenüber den Rasterdaten des klassifizierten Satellitenbildes (vgl. Kap. 8.2, S. 69)).
- Der *ED* der hier nicht näher untersuchten Klassen (Pioniervegetation, Ruderalvegetation u.a.) haben einen hohen Einfluß auf *ED\_Land*.

Die Untersuchungen zum Verhalten der *ED* zeigen, daß es für die Klassen Gehölze, Laubwald sowie Wasser zu einer Zunahme des Index von 1990 bis 2020 kommt. Die Ursachen des positiven Trends der Kantendichte dieser *Land-Cover*-Klassen sind jedoch unterschiedlich. So können erst im Zusammenhang mit den Indikatoren *PD* und *MPS* Aussagen zur Trendentwicklung des *ED* gemacht



werden. Die Zunahme der *ED* der Gehölze ist auf die Erhöhung der Anzahl von Gehölzelementen pro Flächeneinheit (*PD*) bei relativ gleichbleibenden *MPS* zurückzuführen (vgl. Abb. 32f, S. 103), wohingegen die positive Trendentwicklung der *ED* der Klassen Laubwald und Wasser im Zusammenhang mit der Zunahme der mittleren Flächengröße (*MPS*) bei gleichzeitiger Abnahme der *PD* dieser Klasse gesehen werden muß. Die Kantendichte der Tagebauflächen verringert sich von ca. 28 auf 13 m/ha im Zeitraum von 1990 und 2020. Diese Entwicklung ist auf die gleichzeitige Abnahme von *PD* sowie *MPS* dieser Klassen zurückzuführen. Die LE der Ackerflächen zeigen bezüglich des Index *ED* keinen Trend in der Entwicklung. Um konkrete Aussagen diesbezüglich für die Klasse Grün- und Ackerland zu erhalten, ist die Abgrenzung bzw. Aufteilung der Flächen in einzelne Ackerschläge erforderlich (vgl. hierzu auch Kap. 8.1, S. 66).

Aufgrund des zu erwartenden strukturellen Wandels im Südraum Leipzig ist zusätzlich zu den Indikatoren der horizontalen Gliederung ein Maß zur Quantifizierung der vertikalen Schichtung der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen erforderlich. Als zielführend erwies sich hierbei die Definition eines Index zur Quantifizierung des Höhenkontrastes, (vgl. Kap. 8.1, S. 66) von Biotop- und Flächennutzungsstrukturen. Dieser Index findet in der vorliegenden Arbeit erstmalig Anwendung. Ausgehend von den bei McGarigal & Marks (1994) beschriebenen Kontrastmaßen (*EDCON*, *MECI*) besteht für diesen Index die Möglichkeit der Benennung spezifischer Wichtungsgößen. Für den Höhenkontrastindex wurde eine Wichtung der Höhendifferenzen der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen vorgenommen (vgl. Tab. 9, S. 47) Die Berechnung erfolgte auf den Ebenen der Landschaftselemente (*VEDCON* - *Vertical edge contrast index*), der Klasse sowie der Landschaft (*MVECI* - *Mean vertical edge contrast index*) und ermittelt den Kontrast (hier Höhenkontrast) zwischen Landschaftselementen und seiner unmittelbaren Nachbarschaft. Der prozentual angegebene Zahlenwert wird im Vergleich zum höchstmöglichen Gesamthöhenkontrast (in dieser Untersuchung = 25 Metern) der Landschaft wiedergegeben, wodurch ein regionaler Vergleich des Indexes möglich wird.

Die Analysen des *MVECI* für den Südraum Leipzig zeigen einen klaren Anstieg des Index von 1996 bis 2020 (vgl. Abb. 33c, S. 106) von ca. 23% (1990) auf 28% (2020). Mit Hilfe des Höhenkontrastindex ist der zu erwartende strukturelle Wandel der LE von einer derzeit offenen Tagebaulandschaft (1990) bis hin zu einer stark vertikal strukturierten „Wald- und Seenlandschaft“ des Südraumes Leipzig (2020), quantitativ klar zu erfassen. Die Veränderungen der Höhendifferenz der Landschaftselemente bezüglich seiner unmittelbaren Nachbarschaft von 1990 bis 2020 erklären sich aus dem Verhalten der raumcharakterisierenden Klassen. So zeigen die Klassen Gehölze, Wasser, Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie Grün- und Ackerland einen positiven Trend für *MVECI*, wohingegen für die Klasse Laubwald von 1990 bis 2020 keine Veränderungen zu verzeichnen sind. Eine starke Zunahme des *MVECI* wurde für die Klassen Gehölze, Wasser sowie Vegetationsloses Offenland (Tagebau) ermittelt (vgl. Abb. 33d, S. 106). So sind bezüglich dieser Klassen starke vertikale Strukturänderungen bis zum Jahr 2020 zu erwarten.

Die weitergehenden Untersuchungen zum Verhalten der LE gegenüber der Höhenschichtung zeigen, daß Flächen mit nur geringem Höhenkontrastindex von 0-10% (vgl. Abb. 34, S. 106) in der Tagebaulandschaft dominieren. Der Abb. 35 (S. 108) ist zu entnehmen, daß es sich hierbei insbesondere um Flächen der Tagebaue selbst sowie Grün- und Ackerland handelt.



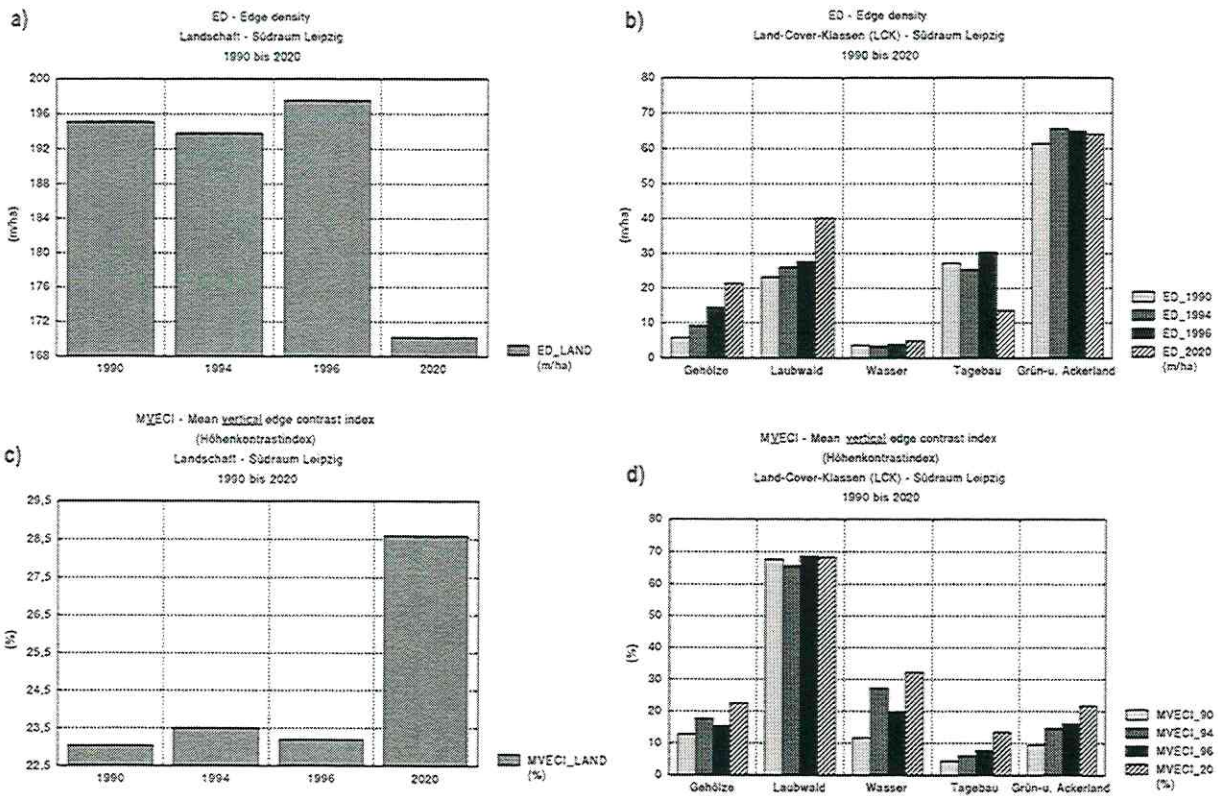


Abb. 33a-d: Kantenmaße - quantifiziert auf der Landschaft- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020

Die raum-zeitlichen Untersuchungen ergeben für die Klasse 1 (0-10% Höhendifferenz) im Verlaufe der Zeit eine starke Reduktion, wohingegen die Klassen 7 und 8 (60-80% Höhendifferenz) einen starken Entwicklungstrend aufweisen (vgl. Abb. 34, S. 106).

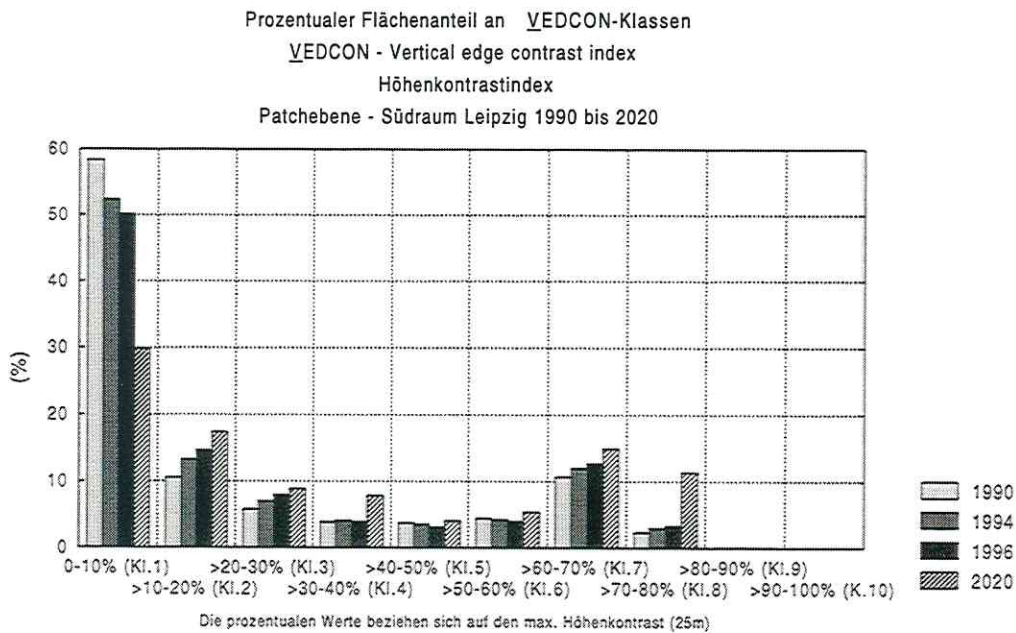


Abb. 34: Veränderungen des prozentualen Flächenanteils der Landschaftselemente (Patchebene) an den VEDCON-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020



Um konkrete raumspezifische Aussagen zur Veränderung des Höhenkontrastindex (vgl. Abb. 35<sup>46</sup>, S. 108) zu erhalten, erweist sich die Erstellung von Differenzbilddaten des Index *VEDCON* als sehr aussagekräftig (Abb. 36<sup>47</sup>, S. 109). Hierbei zeigt sich, daß sich die Zunahme der Höhengschichtung vorrangig auf die Bereiche der Tagebauflächen konzentriert, wohingegen der überwiegende Teil des Tagebauumlandes keiner Veränderung der Höhendifferenz unterliegt.

Mit Hilfe des genannten Höhenkontrastindex kann der sich im Südraum Leipzig vollziehende landschaftliche Wandel von einer „Offenen Tagebaulandschaft“ zu einer „Wald- und Seenlandschaft“ gut quantifiziert werden. Dieser Wandel ist mit einer starken Zunahme der vertikalen Schichtung von Biotop- und Flächennutzungsstrukturen verbunden.

---

<sup>46</sup> Nächste Seite – Abb. 35: *VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level)* – Südraum Leipzig 1990 bis 2020

<sup>47</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 36: Veränderungen des *VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level)* – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020



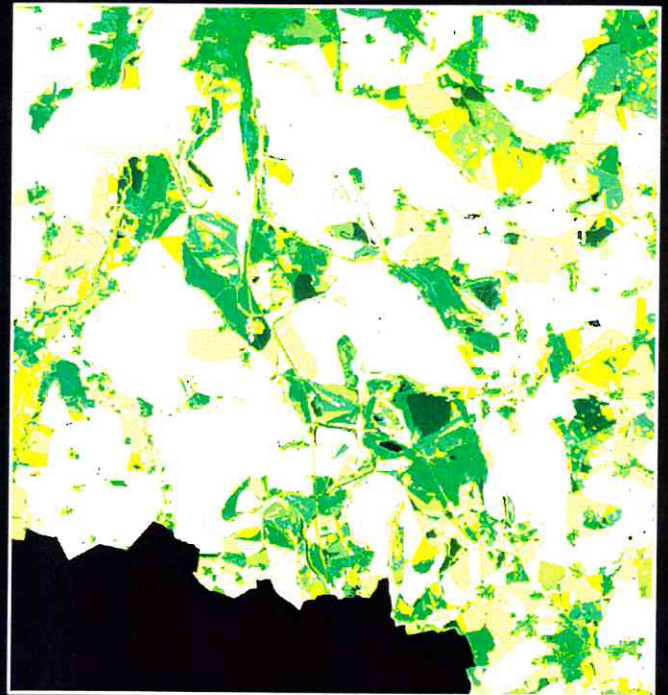
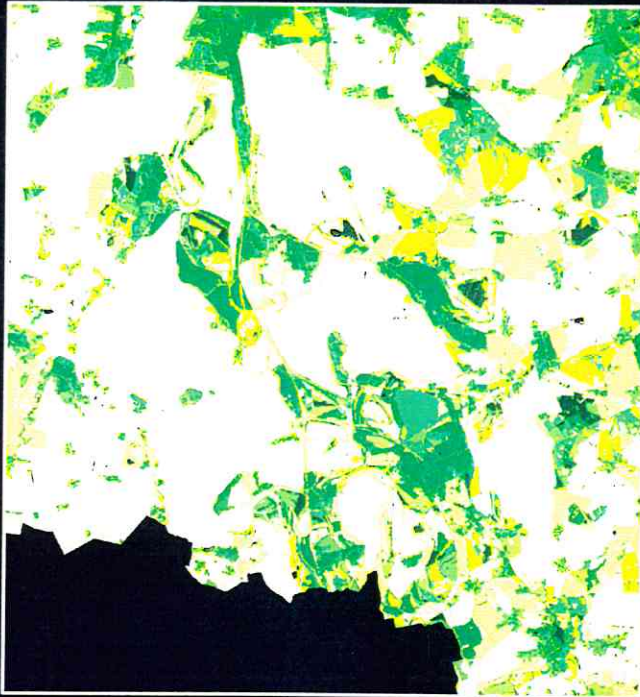
# VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level)

## Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

Höhenkontrast einer Flächennutzungsklasse (Patch)  
zu seiner unmittelbaren Nachbarschaft

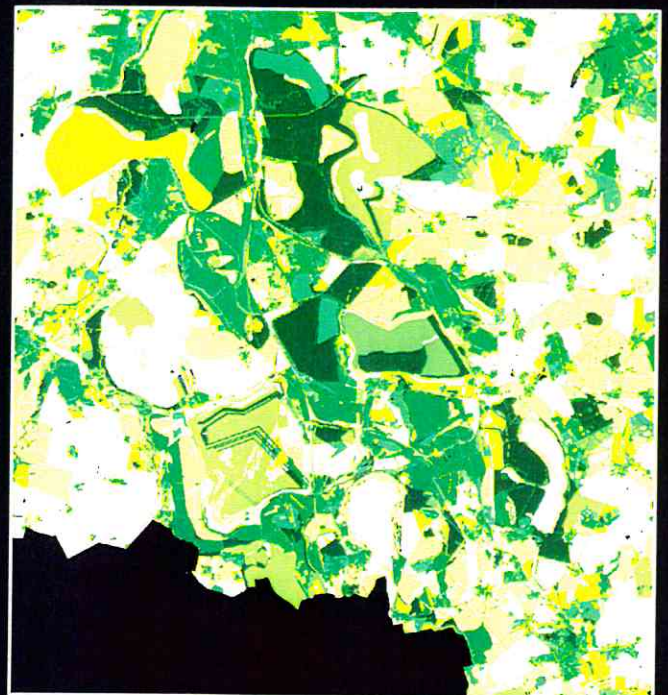
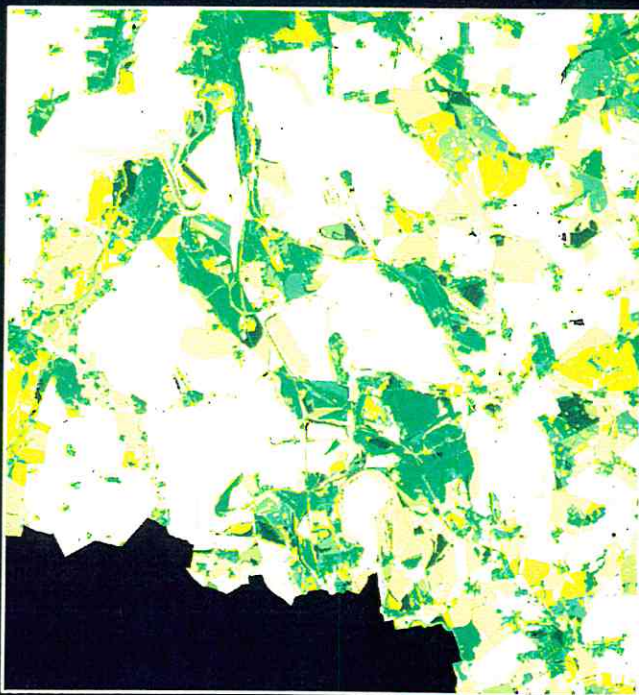
1990

1994



1996

2020



### VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level)

Höhenkontrast einer Flächennutzungsklasse (Patch)  
Umgebung in % bezogen auf den Gesamthöhenkontrast der Landschaft



Datengrundlagen:

0 5 Kilometer

- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995
  - Regionaler Planungsverband Westsachsen,
  - Regionale Planungsstelle, Leipzig
- Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)

In allen vier Zeitschnitten:  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



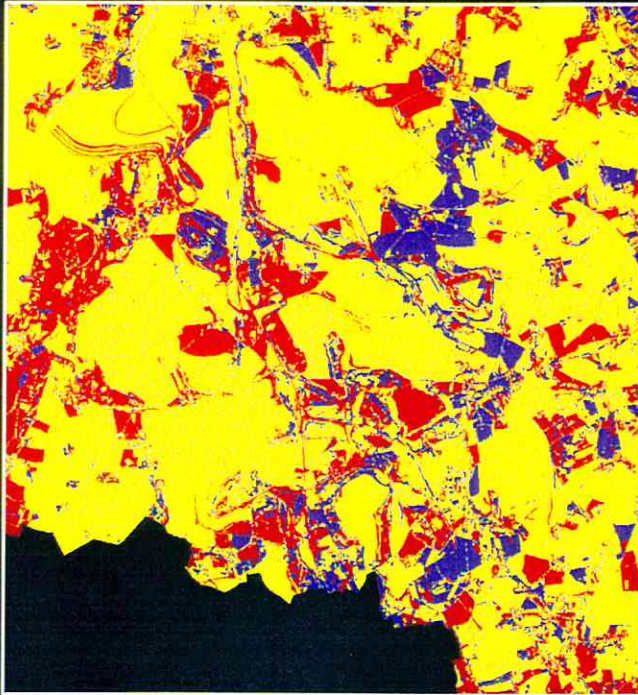
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch



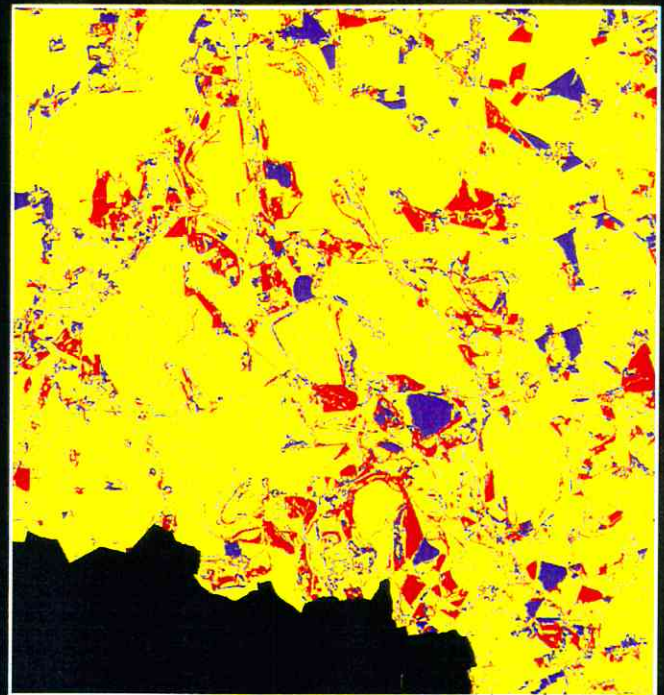
# Veränderungen des VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level) Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

Höhenkontrast einer Flächennutzungsklasse  
zu seiner unmittelbaren Nachbarschaft

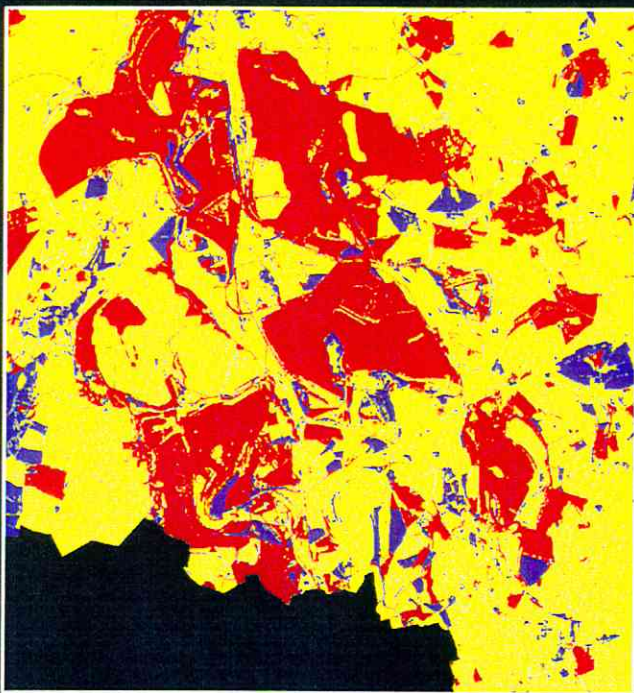
1990 bis 1994



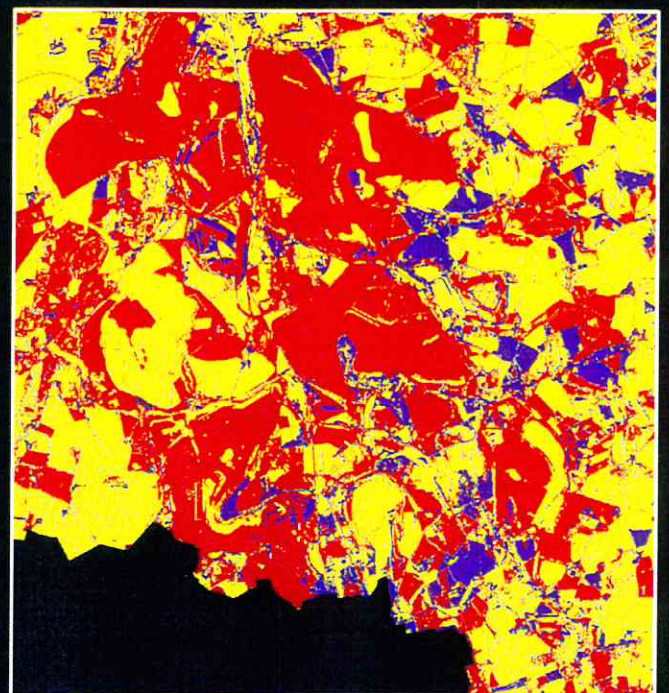
1994 bis 1996



1996 bis 2020



1990 bis 2020



VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (patch-level)  
Höhenkontrast einer Flächennutzungsklasse (Patch) zur unmittelbaren  
Umgebung in % bezogen auf den Gesamtkontrast der Landschaft

- Keine Veränderung
- Zunahme des VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX
- Abnahme des VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX

Datengrundlagen: Kilometers

- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft,  
Stand 1995
  - Regionaler Planungsverband  
West Sachsen,
  - Regionale Planungsstelle, Leipzig
- Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)



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

In allen vier Zeitschnitten:  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypen-  
kartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



### 9.1.3.3 Analysen der Veränderungen durch Formmaße (Formdeskriptoren)

Formmaße quantifizieren die Form und Gestalt von Landschaftselementen. Ausgehend von dem Zusammenhang, daß Landschaftselemente natürlichen Charakters komplexe Formen (hohe Verzahnung der Grenzlinien) aufweisen, besitzen stärker anthropogen beeinflusste Landschaftselemente hingegen einfache Formen (geringe Verzahnung der Grenzlinien). Anhand der Formdeskriptoren kann somit der Einfluß menschlicher Aktivität auf die Landschaftselemente des Südraumes Leipzig sowie deren Veränderung erfaßt werden.

Von den Formdeskriptoren wurden auf der Landschafts- und Klassenebene der *Landscape shape index (LSI)* bzw. auf der Ebene der Landschaftselemente der *Shape index (SHAPE)* in die Analyse zum strukturellen Wandel der Tagebaulandschaft einbezogen. Die Formkomplexität der Landschaftselemente, Klassen als auch der Landschaft wird hierbei als standardisierter Index verwendet, der verglichen mit einem Quadrat, Aussagen zur Form und Gestalt zuläßt.

Die Landschaftsstrukturmaße besitzen folgenden Aussagewert:

- *LSI, SHAPE* haben einen kleinen Wert, gegen 1: Erreichen der Standardform eines Quadrates, geringe Grenzlinienlänge/Flächeneinheit, es liegen kompakte Formen vor
- *LSI, SHAPE* einen hohen Wert: Mit zunehmenden Werten erfolgt eine Abweichung von der Standardform, hohe Grenzlinienlänge/Flächeneinheit (komplizierter Grenzverlauf sowie Zerlappung), Zunahme der Formkomplexität der LE

Die Untersuchungen zum *LSI* auf Landschafts- sowie Klassenebene erbrachten für den Südraum Leipzig keine nennenswerten Ergebnisse, um die Formkomplexität der Landschaftselemente und deren Veränderung in der Tagebaufolgelandschaft zu charakterisieren. Um dennoch Aussagen bezüglich der Änderungen der Form von Landschaftselementen zu erhalten, wurden hinsichtlich der Formdeskriptoren Untersuchungen auf der *Patchebene (SHAPE)* durchgeführt. Bereits der visuelle Vergleich der Daten zeigt die bestehenden Unterschiede der Formmaße der Landschaftselemente des Südraumes Leipzig (vgl. Abb. 37<sup>48</sup>, S. 111). So wurden für die ausgedehnten Tagebauflächen überwiegend hohe *SHAPE*-Werte (>6) ermittelt, wohingegen die umliegenden vorrangig agrarisch genutzten Flächen geringe *SHAPE*-Werte aufweisen. Diese hohen *SHAPE*-Werte der Tagebauflächen geben einen Hinweis auf das Vorliegen komplexer Grenzverläufe und Zerlappungen, dies führt zu einer massiven Verzahnung unterschiedlicher Landschaftselemente. Bezogen auf die Strukturdiversität des Raumes ist dies positiv zu bewerten.

Die Analysen der flächenhaften Anteile zeigen eine klare Dominanz von Flächen hoher Ähnlichkeit mit dem quadratischen Standart (*SHAPE*-Werte von 1-2 bzw. 2-3). Es liegt somit ein stark anthropogener Einfluß für diese LE des Raumes vor (vgl. Abb. 38b, S. 112). Für die *SHAPE*-Werte >6 (hohe Abweichung von der quadratischen Standardform) konnten ebenfalls hohe flächenhafte Anteile ermittelt werden. Diese resultieren aus dem hohen Anteil stark strukturierter Tagebauflächen (vgl. Abb. 38c, S. 112).

<sup>48</sup> Nächste Seite – Abb. 37: *SHAPE INDEX (patch-level)* – quantifiziert auf Ebene der Landschaftselemente für den Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020



# SHAPE INDEX (patch-level) Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

1990



1994



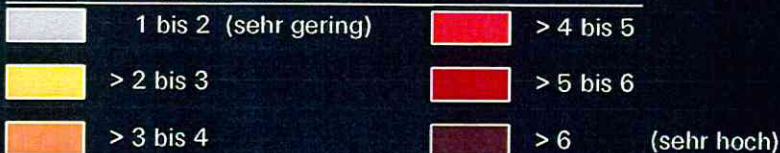
1996



2020



SHAPE INDEX (patch-level) - dimensionslos  
Bewertung der Komplexität der Gestalt eines Patches durch den Vergleich mit einer Standardgestalt (Quadrat)



Datengrundlagen:



- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995
  - Regionaler Planungsverband Westsachsen,
  - Regionale Planungsstelle, Leipzig
- Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)

In allen vier Zeitschnitten:  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



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



Die Veränderungsanalyse der Indikatoren der Formmaße zeigen von 1990 bis 2020 einen Trend der Uniformierung der Landschaft. So wurde ein flächenhafter Anstieg insbesondere für die *LE* mit geringen *SHAPE*-Werten sowie einer Abnahme der Einzelflächen mit *SHAPE*-Werten von  $>6$  ermittelt. Anhand weiterführender Untersuchungen für die Flächen mit nur geringen *SHAPE*-Werten (1-2) kann gezeigt werden, daß es insbesondere im Zeitraum von 1990 bis 1996 zu einem flächenhaften Anstieg der Klasse Grün- und Ackerland kommt, wohingegen von 1996 bis 2020 die Klassen Laubwald und Wasser den flächenhaften Anstieg der *SHAPE*-Klasse 1 erklären. Die Untersuchungen der *SHAPE*-Klasse 6 zeigen (vgl. Abb. 38c, S. 112), daß die Reduzierung der Anteile dieser Klasse im Zeitraum durch die Verringerung der Anteile der Tagebauflächen hervorgerufen wird.

Für die Landschaftselemente des Südraumes Leipzig wurde von 1990 bis 2020 eine geringe Zunahme des *SHAPE* von 1,74 auf 1,92 ermittelt (vgl. Abb. 39a, S. 113). Diese niedrigen *SHAPE*-Werte geben einen Hinweis auf den stark anthropogenen Einfluß, der sich in einer starken Ähnlichkeit quadratischer Formen der *LE* ausdrückt. Die bis 1990 noch existierenden Bereiche hoher Formkomplexität (hohe *SHAPE*-Werte für Flächen des Tagebaus) nehmen bis zum Jahr 2020 drastisch ab. Gegensätzlich erhöhen sich die Anteile der Flächen mit geringeren Formkomplexitäten. Somit wird für den Südraum Leipzig die Abnahme seltener, hoch strukturierter Bereiche bei gleichzeitiger Zunahme von Flächen mit einer geringen Formkomplexität beobachtet (vgl. Abb. 37, S. 111).

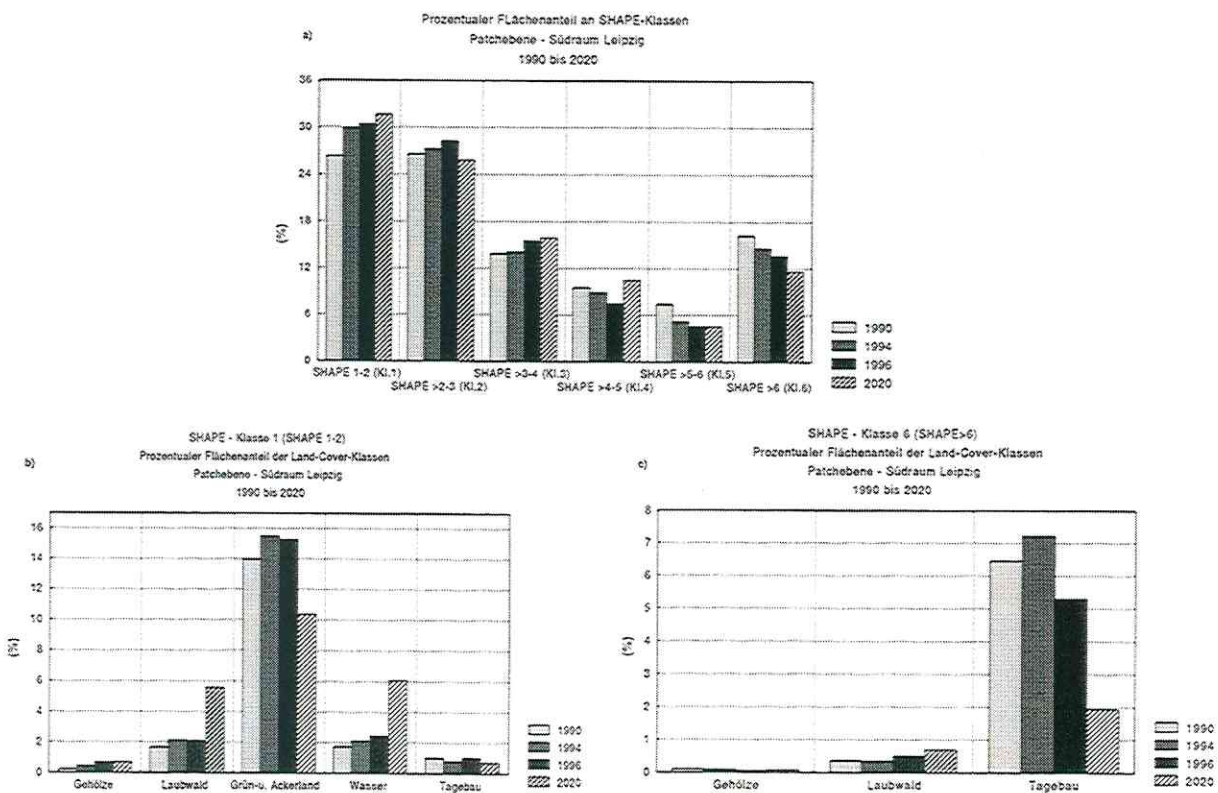


Abb. 38a-c: Veränderungen des prozentualen Flächenanteils der Landschaftselemente an den *SHAPE*-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020



Die Analyse des *SHAPE* für die raumcharakterisierenden Klassen zeigt, daß die Klassen Gehölze, Laubwald, Grün- und Ackerland sowie Wasser im Durchschnitt eine Zunahme der *SHAPE*-Werte bis 2020 erfahren, wohingegen für die Landschaftselemente der Tagebauflächen im Zeitraum von 1994 bis 2020 abnehmende *SHAPE*-Werte erfaßt wurden (vgl. Abb. 39b, S. 113).

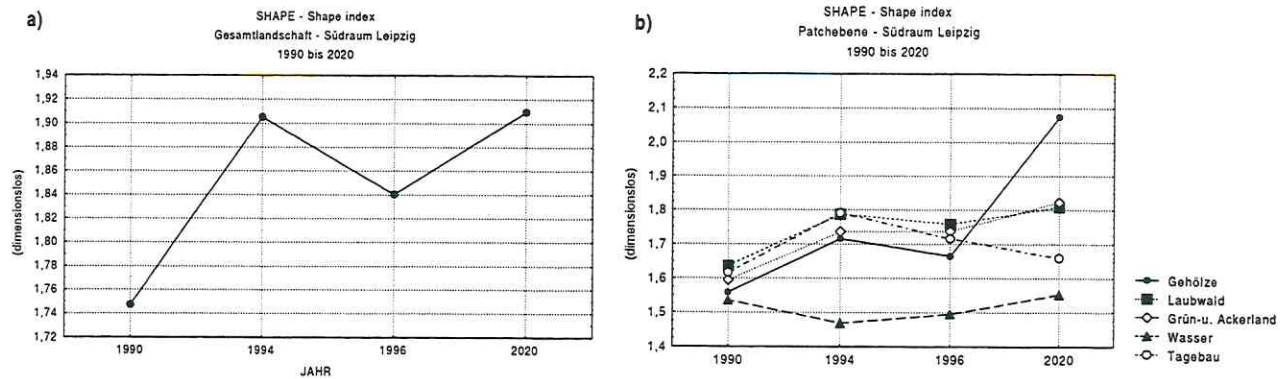


Abb. 39a-b: *Shape index (SHAPE)* für die *Land-Cover-Klassen* vom Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020

#### 9.1.3.4 Analysen der Veränderungen durch Maße der Nächsten-Nachbarschaft

Zur Quantifizierung der Anordnung von Elementen in der Landschaft besitzen Maße zur Erfassung von Abständen (Maße der Nächster-Nachbarschaft) einen wichtigen Stellenwert. Für den Südraum Leipzig wurden auf der Landschafts- und Klassenebene die Indikatoren *Mean-nearest-neighbor distance (MNN)*, *Nearest-neighbor coefficient of variation (NNCV)* sowie *Mean proximity index (MPI)* berechnet. Auf der *Patchebene* kamen die Indikatoren *Nearest-neighbor distance (NEAR)* sowie der *Proximity index (PROXIM, Suchradius = 50 Meter)* zum Einsatz.

Die Anordnung Landschaftselemente des Raumes zeigen eine große Trendentwicklung von 1990 bis 2020 für den Index *MNN\_Land* (vgl. Abb. 40a, S. 115). So erhöht sich die mittlere Entfernung der Landschaftselemente gleicher Klassen von ca. 40 Metern (1990) auf ca. 67 Metern (2020). Diesen Trend der Zunahme von *MNN* zeigen die Klassen Wasser und Vegetationsloses Offenland (Tagebau, vgl. Abb. 40b, S. 115). So erhöht sich die Entfernung der Wasserflächen um 130 Meter wohingegen für die Tagebauflächen nur eine Zunahme von ca. 70 Metern von 1990 bis 2020 zu verzeichnen ist. Eine günstigere Entwicklung der Landschaftskonfiguration liegt für die Klassen Gehölze und Laubwald vor. Für beide Klassen gibt die ermittelte Abnahme der mittleren Entfernung der LE einen Hinweis darauf, daß es zu einer Abnahme der Isolation der Gehölz- und Laubwaldflächen im Untersuchungsraum kommt. Keine Veränderungen bezüglich des *MNN* wurde für die Klasse Grün- und Ackerland ermittelt.

Die Einbeziehung des *NNCV (Nearest-neighbor coefficient of variation)* ermöglicht Aussagen über die Höhe der Variabilität der Entfernung der LE von der mittleren Entfernung (vgl. Abb. 40c-d, S. 115). So weisen geringe Werte des *NNCV* darauf hin, daß gleiche oder ähnliche Entfernungen der Landschaftselemente einer Klasse vorliegen. Im Zusammenhang mit dem Index *MNN* wurden für die raumcharakterisierenden Klassen folgende Entwicklungstendenzen ermittelt:



- Gehölze: Abnahme der mittleren Entfernung sowie Abnahme der Variabilität der Entfernung der LE  
Laubwald: Abnahme der mittleren Entfernung aber Zunahme der Variabilität der Entfernung der LE  
Wasser: Zunahme der Mittleren Entfernung bei Abnahme der Variabilität der Entfernung der LE  
Vegetationsloses Offenland (Tagebau): Zunahme der Mittleren Entfernung bei Zunahme der Variabilität der Entfernung der LE

Mit Hilfe des Index *MPI* (*Mean proximity index*) sind Aussagen bezüglich der Isolierung als auch der Fragmentierung der Landschaftselemente möglich, da neben der Distanz der LE auch deren Größe innerhalb eines angegebenen Suchradius um das zu betrachtende Landschaftselement möglich sind. Die Quantifizierung der räumlichen Zusammenhänge (Grad der Fragmentierung) von Landschaftselementen in Beziehung zu ihren Nachbarn sind für die Beurteilung geplanter Eingriffe im Südraum Leipzig hilfreich.

Das Landschaftsstrukturmaß besitzt folgenden Aussagewert:

- *PROXIM, MPI* hat einen hohen Wert, wenn ein LE von großen und/oder nahegelegenen LE umgeben wird, (kompakte bzw. geklumpte Anordnung von großen LE)
- *PROXIM, MPI* hat einen geringen Wert, wenn ein LE von kleinen und/oder entfernten LE umgeben wird, (spärliche Verteilung von kleinen LE)

Die Untersuchungen des *MPI\_Land* für das Jahr 1990 zeigen eine kompakte Anordnung relativ großer LE für den Südraum Leipzig (vgl. Abb. 40f, S. 115). Diese relativ geklumpte Anordnung der LE wird vorrangig durch die LE der Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau), die für den Zeitschnitt 1990 sehr hohe *MPI* als auch *LPI*-Werte besitzten, hervorgerufen. Im Verlaufe der zeitlichen Entwicklung kommt es für die Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) zu einer massiven Abnahme des Index *MP*; dies wirkt sich auch auf den *MPI* der Gesamtlandschaft aus. So führt die Reduzierung des *MPI\_Land* von 1990 bis 1996 zu einer Verringerung der kompakten Anordnung, die mit dem Auftreten einer spärlichen Verteilung der LE verbunden ist. Der Grad der Isolierung von LE nimmt somit von 1990 bis 1996 zu. Von 1996 bis 2020 wurde für die Landschaft ein Anstieg des *MPI\_Land* ermittelt. So lassen sich die Ursachen des Anstiegs der Anhäufung großer Landschaftselemente auf die Zunahme des *MPI* der Klassen Laubwald und Wasser für den Zeitschnitt 2020 zurückführen. Der Grad der Fragmentierung der LE kann für die Klassen des Südraumes Leipzig auch raumbezogen ermittelt und dargestellt werden. So zeigt sich, daß es zu einer Konzentrierung von LE der Klasse Laubwald (vgl. Abb. 41, S. 116) mit einem nur geringen Grad an Isolation und Fragmentierung von 1990 bis 2020 im mittleren Raum der Tagebaulandschaft kommt. Die rot gekennzeichneten LE der Klasse Laubwald geben einen räumlichen Hinweis zum Vorkommen von Laubwaldflächen, die einen hohen Grad der Isolierung und Fragmentierung im Raum aufweisen.



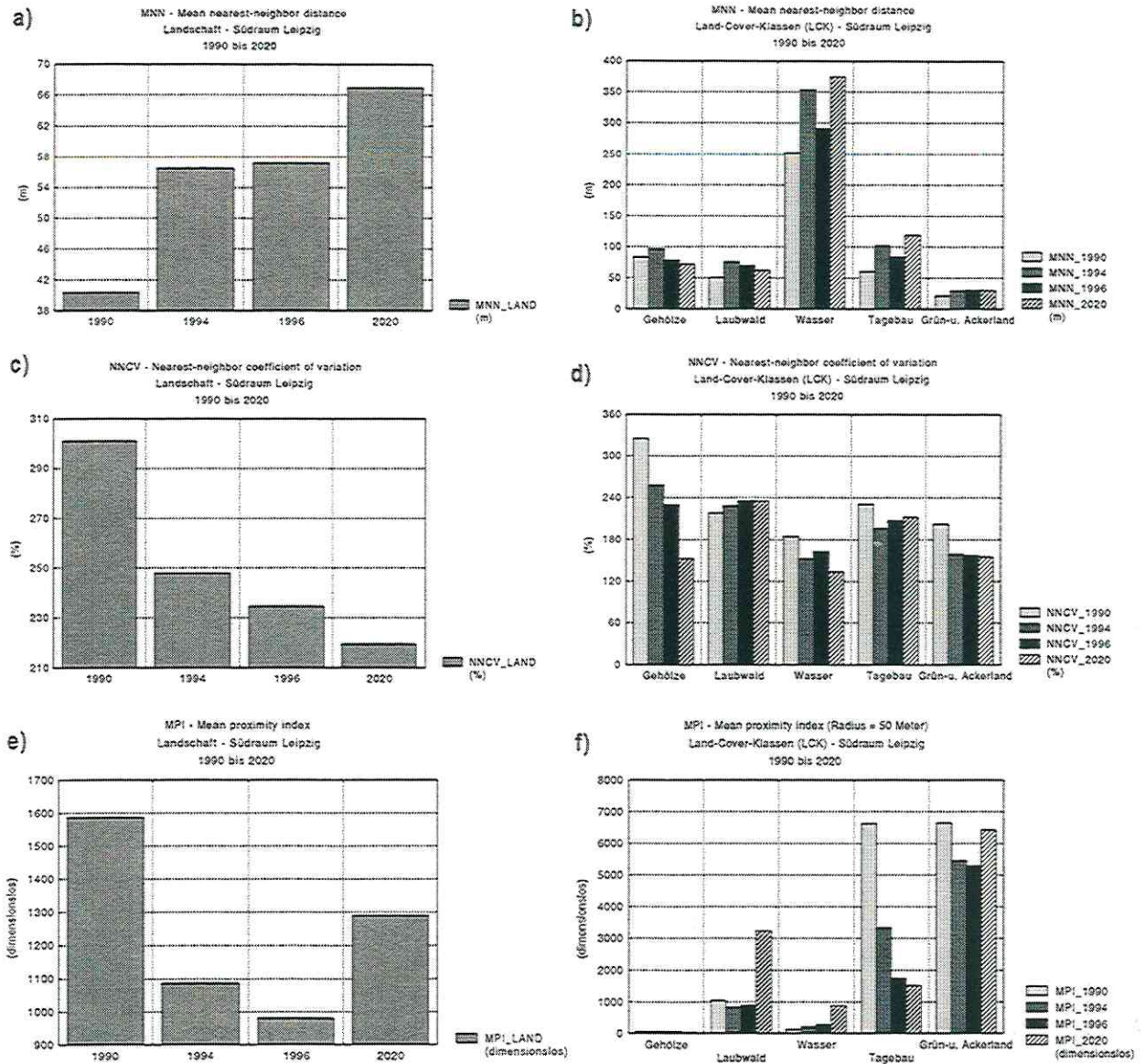


Abb. 40a-f: Maße der Nächsten-Nachbarschaft – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020.

<sup>49</sup> Nächste Seite – Abb. 41: PROXIMITY INDEX (patch-level) – Klasse Laubwald – Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020



# PROXIMITY INDEX (patch-level) - Klasse Laubwald

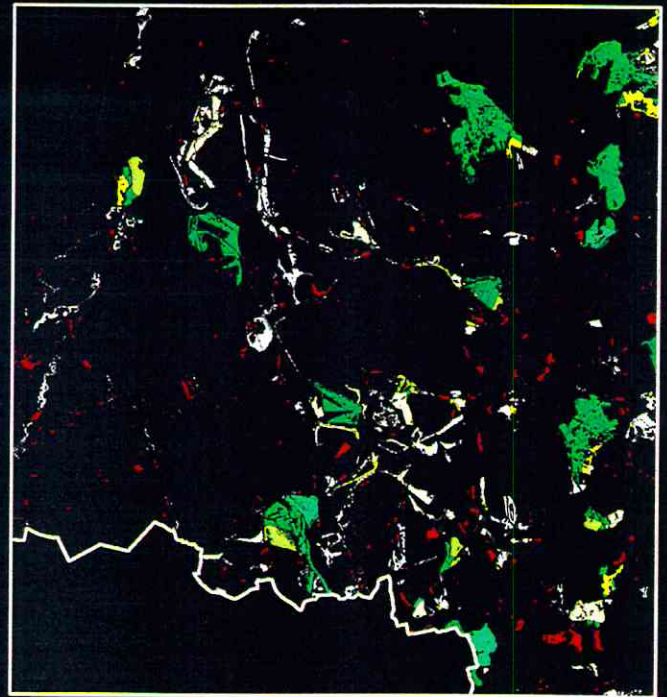
## Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 2020

Grad der Isolation und Fragmentierung korrespondierender Patches der Klasse Laubwald

1990

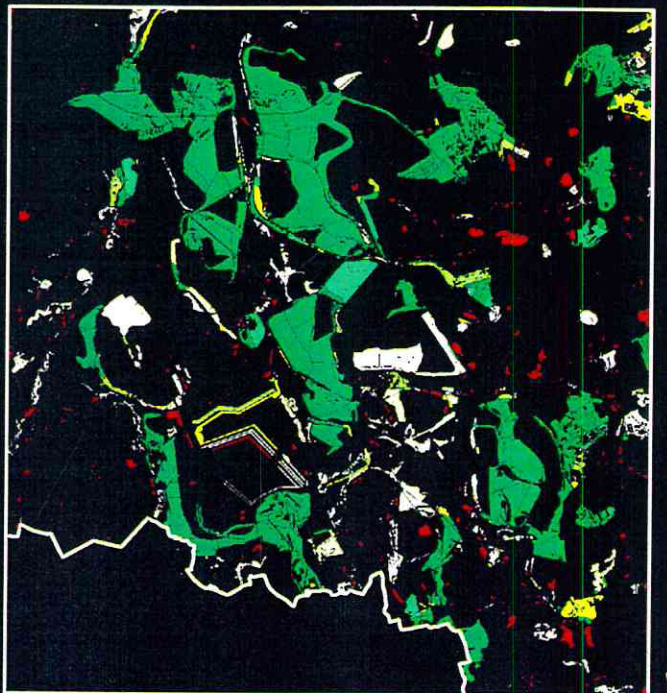
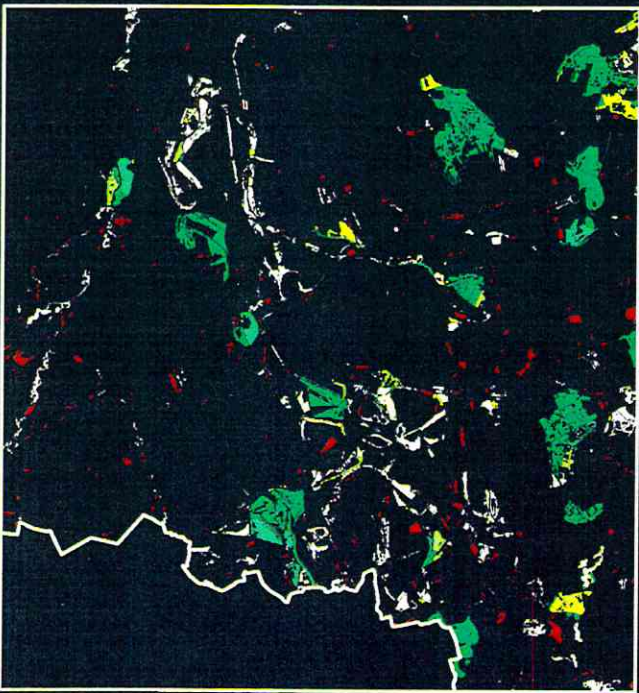
Suchradius 50 Meter

1994



1996

2020



PROXIMITY INDEX (patch-level) - dimensionslos  
Analyse der Isolation und Fragmentierung der Landschaftselemente einer Klasse innerhalb des Suchradius von 50 Meter um das betrachtete Element erfolgte mathematisch unter Berücksichtigung der Parameter Größe und Distanz der Patches einer Klasse



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

Datengrundlagen:



- 1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)
- 1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)
- 1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)
- 2020 Entwicklungskonzeption Landschaft, Stand 1995
  - Regionaler Planungsverband Westsachsen,
  - Regionale Planungsstelle, Leipzig
- Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)

In allen vier Zeitschnitten:  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



### 9.1.3.5 Analysen der Veränderungen durch Maße der Diversität und Verteilung

Die Maße der Diversität quantifizieren die Vielfalt der Landschaftszusammensetzung und beinhalten die Komponenten Gleichmäßigkeit (*evenness*) und Reichtum (*richness*). Die hierfür gängigen Diversitätsindikatoren *Shannon's diversity index (SHDI)* sowie *Shannon's evenness index (SHEI)* zeigten für das Monitoring nur schwer interpretierbare Ergebnisse.

Für die Einschätzung der Diversität der Tagebaulandschaft und deren Veränderung wurde auf Maße zurückgegriffen, die Reichtum und Gleichmäßigkeit von LE unabhängig voneinander beurteilen. Zur Charakterisierung von Gleichmäßigkeit (Verteilung) der LE wurde das Maß *Interspersion and Juxtaposition index (IJI)* sowie von Reichtum *Land-cover-class richness density (LCCRD)* herangezogen.

Mit Hilfe des *Interspersion and Juxtaposition index (IJI)* wird der Grad der Verteilung von LE einer Klasse im Südraum Leipzig quantifiziert.

Der Indikator besitzt folgenden Aussagewert:

- *IJI* - hoher Wert: die LE sind innerhalb der Landschaft gleichmäßig (proportional) verteilt
- *IJI* - geringer Wert: die LE zeigen eine ungleichmäßige (disproportional) Verteilung innerhalb der Landschaft

Die Untersuchungen des *IJI* erfolgten auf Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig und sind der Abb. 42a-b (S. 117) zu entnehmen. Für die LE der Gesamtlandschaft des Raumes wurde ein Anstieg des *IJI\_Land* von 77 % (1990) auf ca. 81 % (2020) ermittelt. Dies deutet tendenziell darauf hin, daß sich die Verteilung der LE für die Tagebaulandschaft von 1990 bis 2020 verbessert. Desweiteren ist den quantifizierten Werten des Index *IJI\_Land* von ca. 81 % zu entnehmen, daß im Gegensatz zur maximal möglichen Verteilung von 100% die Verteilung der LE im Raum als sehr gut eingeschätzt werden kann. Der Anstieg des *IJI\_Land* wird besonders durch die ebenfalls zunehmenden Werte des *IJI* der Klassen Laubwald, Wasser, Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie Grün- und Ackerland hervorgerufen. Für die Klasse Gehölze wurde gleichfalls eine Verbesserung der Verteilung der LE bis 2020 ermittelt, dessen Werte jedoch große Schwankungen unterlegen sind.

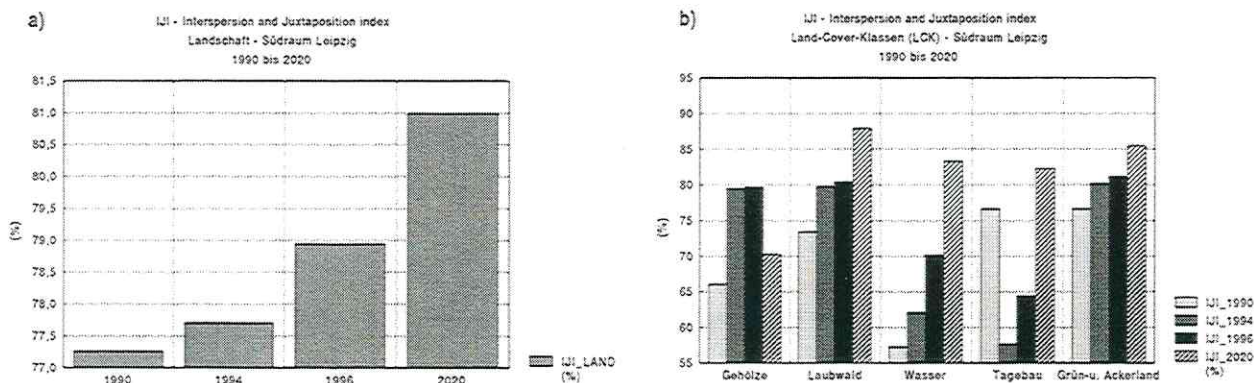


Abb. 42a-b: *Interspersion and Juxtaposition index (IJI)* – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene für den Südraum Leipzig der Zeitschnitte 1990 bis 2020



Der Index *Land-cover-class richness density (LCCRD)* ist ein wichtiges Schlüsselement zur Charakterisierung der Landschaftsstruktur. Mit dem Index wurde ein Vielfältigkeitsmaß gewählt, welches leicht interpretierbar ist und gesamtäumliche Vergleiche zuläßt. Als flächenstandardisiertes Maß quantifiziert es die Anzahl unterschiedlicher *Land-Cover*-Klassen pro gewählte Einheitsfläche. Für den Untersuchungsraum wurde der Index *LCCRD* bezogen auf 0,25 ha Rasterzellen berechnet, die regionale als auch zeitliche Veränderungen des *LCCRD* für die Tagebaulandschaft ermöglichen. Um die versiegelten Flächen von der Analyse auszuschließen, erfolgte eine Ausmaskierung der Klassen Bebauung und Verkehrsnetz. So weist ein hoher Anteil der untersuchten Flächen eine *LCCRD* von nur 1 LCK/0,25 ha auf, wohingegen für nur sehr wenige Flächen hohe bis sehr hohe *LCCRD*-Werte (4-6 LCK/0,25 ha) ermittelt wurden (vgl. Abb. 43, S. 118). Die bebauten Flächen sowie das Verkehrsnetz wurden nicht mit in die Analyse einbezogen, um Verfälschungen des Maßes Reichtum von *Land-Cover*-Klassen pro Flächeneinheit auszuschließen. Das Differenzienbild der raum-zeitlichen Untersuchung der *Land-cover-class richness density* sowie die zeitliche Analyse der flächenhaften Veränderung zeigen, daß es zu einer Abnahme der *LCCRD*- Klasse 1 kommt und geringe Zunahmen in den Klassen 2 bis 5 zu verzeichnen sind. Räumlich gesehen konzentrieren sich die flächenhaften Zunahmen der *LCCRD* insbesondere auf die stark dynamischen Bereiche der Tagebaulandschaft (vgl. Abb. 44<sup>50</sup>, S. 119). Die hier vorliegende Kleinräumigkeit (bodengeologisch, hydrologisch, pflanzensoziologisch) erzeugt eine feine Differenzierung unterschiedlicher Biotop- und Flächennutzungsstrukturen und kann mit Hilfe von *Land-cover-class richness density* aus Fernerkundungsdaten für den Gesamttraum gut ermittelt werden.

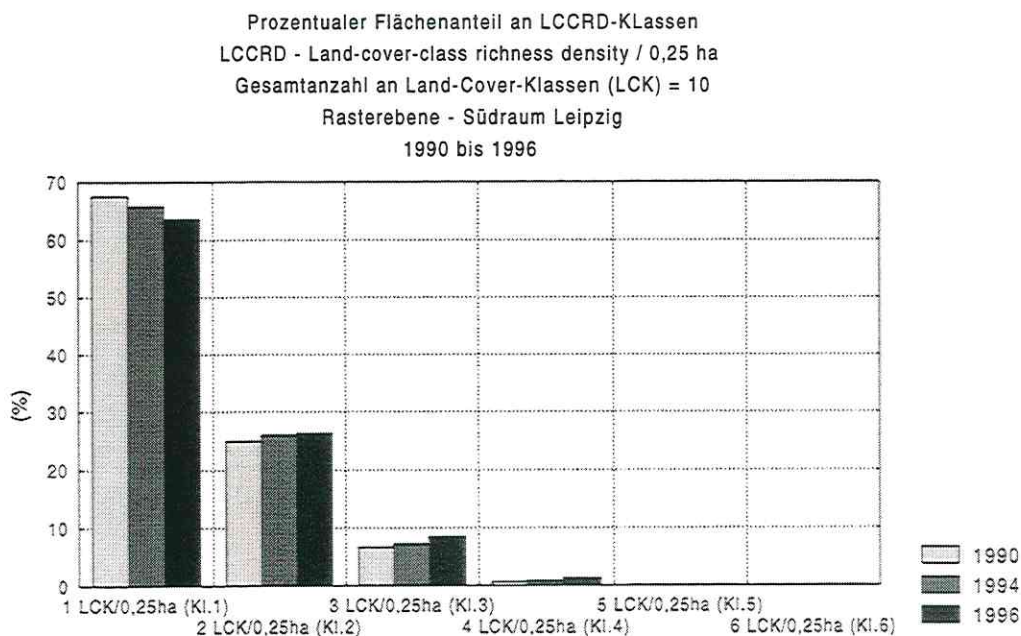


Abb. 43: Veränderungen des prozentualen Flächenanteils an den *LCCRD*-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 1996

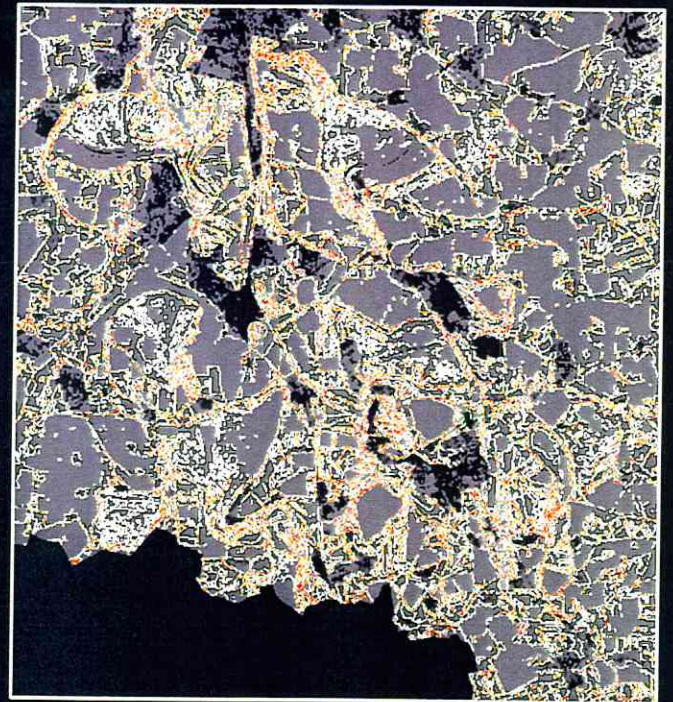
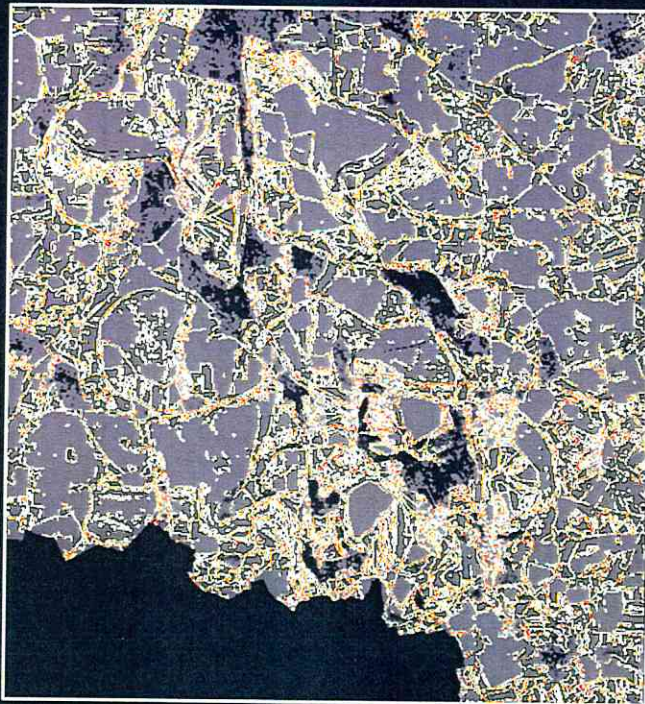
<sup>50</sup> Nächste Seite – Abb. 44: *LAND-COVER-CLASS RICHNESS DENSITY (LCCRD) / 0,25 ha* - Untersuchung der Anzahl vorkommender *Land-Cover*-Klassen pro Bezugseinheit - Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996



# Untersuchung der Anzahl vorkommender 'Land-Cover'-Klassen pro Bezugseinheit - LAND-COVER-CLASS RICHNESS DENSITY (LCCRD) Südraum Leipzig im Zeitraum 1990 bis 1996

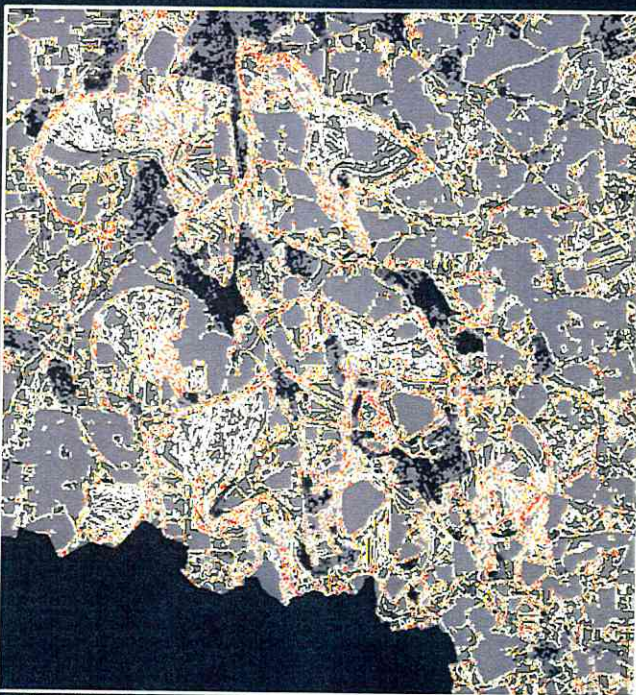
1990

1994

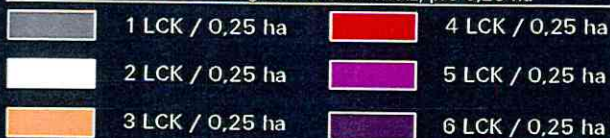


1996

Veränderungen der LCCRD / 0,25 ha  
Zeitraum 1990 bis 1996

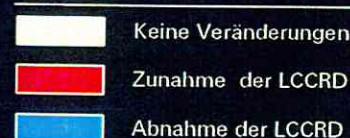


LAND-COVER-CLASS RICHNESS DENSITY - dimensionslos  
Analyse der Anzahl vorkommender 'Land-Cover'-Klassen (LCK)  
(ohne die Klassen Bebauung und Verkehrsnetz) pro 0,25 ha



Gesamtanzahl der 'Land-Cover'-Klassen = 10

Veränderungen der LAND-COVER-CLASS RICHNESS DENSITY  
pro 0,25 ha



Kilometer  
0 5



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

Datengrundlagen:

1990 Klassifikation Spot-XS (06.05.1990)  
1994 Klassifikation Spot-XS (25.06.1994)  
1996 Klassifikation Spot-XS (31.05.1996)  
Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypen-  
kartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



### 9.1.3.6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Landschaftsstrukturmaßanalyse auf der Basis von Landschaftselementen, Klassen und der Gesamtlandschaft des Südraumes Leipzig sind in der Abb. 45 (S. 121) graphisch zusammengefaßt.

Die quantitative Erfassung der strukturellen Veränderungen der *Land-Cover*-Klassen stellt eine wichtige Grundlage für die Leitbildentwicklung der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig dar. Mit der Integration der Entwicklungskonzeption Landschaft für das Jahr 2020 läßt sich die Entwicklungen der Biotop- und Landschaftsstrukturen bis zu diesem Zeitpunkt quantifizieren. Diese stehen für Diskussionen der Raumplanung des Südraumes Leipzig zur Verfügung.

Die Untersuchungen zur Eignung von Landschaftsstrukturmaßen für die Erfassung und das Monitoring von Veränderungen der Landschaftsstruktur lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- *Die sich im Südraum Leipzig vollziehenden Veränderungen der Tagebaulandschaft können durch Berechnungen von Landschaftsstrukturmaßen quantifiziert und bewertet werden. Hierzu erwies sich der Einsatz der Bilddaten der Land-Cover-Klassifikation vom Sensor SPOT-XS als sehr gut geeignet.*
- *Die Vielseitigkeit der raumstrukturellen Änderungen macht die Einbeziehung von Flächenmaßen, Kantenmaßen, Formmaßen, Maßen der Nächsten-Nachbarschaft sowie Maßen der Diversität und Verteilung zur Charakterisierung der Änderungen von Biotop- und Landschaftsstrukturen erforderlich.*
- *Die Untersuchungen zeigen, daß ein Set von 12 Indikatoren ausreicht, um die Veränderungen der Landschaftselemente, der raumcharakterisierenden Land-Cover-Klassen Gehölze, Laubwald, Wasser, Vegetationsloses Offenland (Tagebau), Grün- und Ackerland sowie der Landschaft des Südraumes Leipzig quantitativ zu erfassen.*
- *Aufgrund der bis zum Jahr 2020 geplanten strukturellen Änderungen der Tagebaulandschaft ist die Anwendung eines Maßes zur Charakterisierung der vertikalen Diversität der Landschaft erforderlich. Die hier erstmals beschriebenen Landschaftsstrukturmaße Mean vertical edge contrast index (MVECI) sowie der Vertical edge contrast index (VEDCON) stellen einen guten Ansatz zur Charakterisierung und Quantifizierung der Höhendifferenz von Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft dar.*
- *Zur Charakterisierung der Veränderungen der Form von Landschaftselementen erwies sich das Landschaftsstrukturmaß LSI als unzureichend. Aussagen zur Formkomplexität der Landschaftselemente konnten hingegen unter Verwendung des Shape index (SHAPE) gemacht werden.*
- *Eine hohe Sensibilität gegenüber der Verschneidung von Daten unterschiedlichen Datenursprunges, die zur Erstellung des Zeitschnittes 2020 notwendig war, zeigten die Indikatoren Edge density (ED\_Land) sowie Landscape shape index (LSI\_Land).*
- *Die auf Landschafts- und Klassenebene berechneten Landschaftsstrukturmaße zeigen für die in sich heterogene Landschaft des Südraumes Leipzig große Varianzen. Die Aussagen der LSM auf Landschafts- und Klassenbasis ermöglichen zwar Aussagen zur Gesamtentwicklung bezüglich der Indikatoren für die gesamte Landschaft sowie der raumcharakterisierenden Klassen, erlauben jedoch aufgrund regional gegenläufiger Trends sowie der hohen Generalisierung und Mittelwertbildung keine Aussagen zu raum-zeitlichen Trendentwicklungen.*



- Um konkrete raum-zeitliche Aussagen zur Änderung der LSM zu erhalten, sind folgende Ansätze möglich:
  - ⇒ Berechnung der LSM auf Patchebene – Shape index (SHAPE), Patch richness density (PRD), Vertical edge contrast index (VEDCON), Proximity index (PROXIM)
  - ⇒ Untersuchung der Trendentwicklung von Indikatoren in kleinräumig abgegrenzten Landschaften (Naturräumliche Einheiten – Mikrogeochoren)
  - ⇒ Untersuchungen der Landschaft im kleinräumigen Rasterformat
- Die strukturellen Entwicklungstendenzen der raumcharakterisierenden Klassen (Gehölze Laubwald, Wasser, Vegetationsloses Offenland (Tagebau), Grün- und Ackerland) wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Raumentwicklung der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig bewertet.
- Die Analysen sowie die Bewertung der raumcharakterisierenden Klassen zum raumstrukturellen Verhalten sowie dessen zeitliche Entwicklung bis zum Jahr 2020 könnte eine wichtige Grundlage der Regionalplanung darstellen.

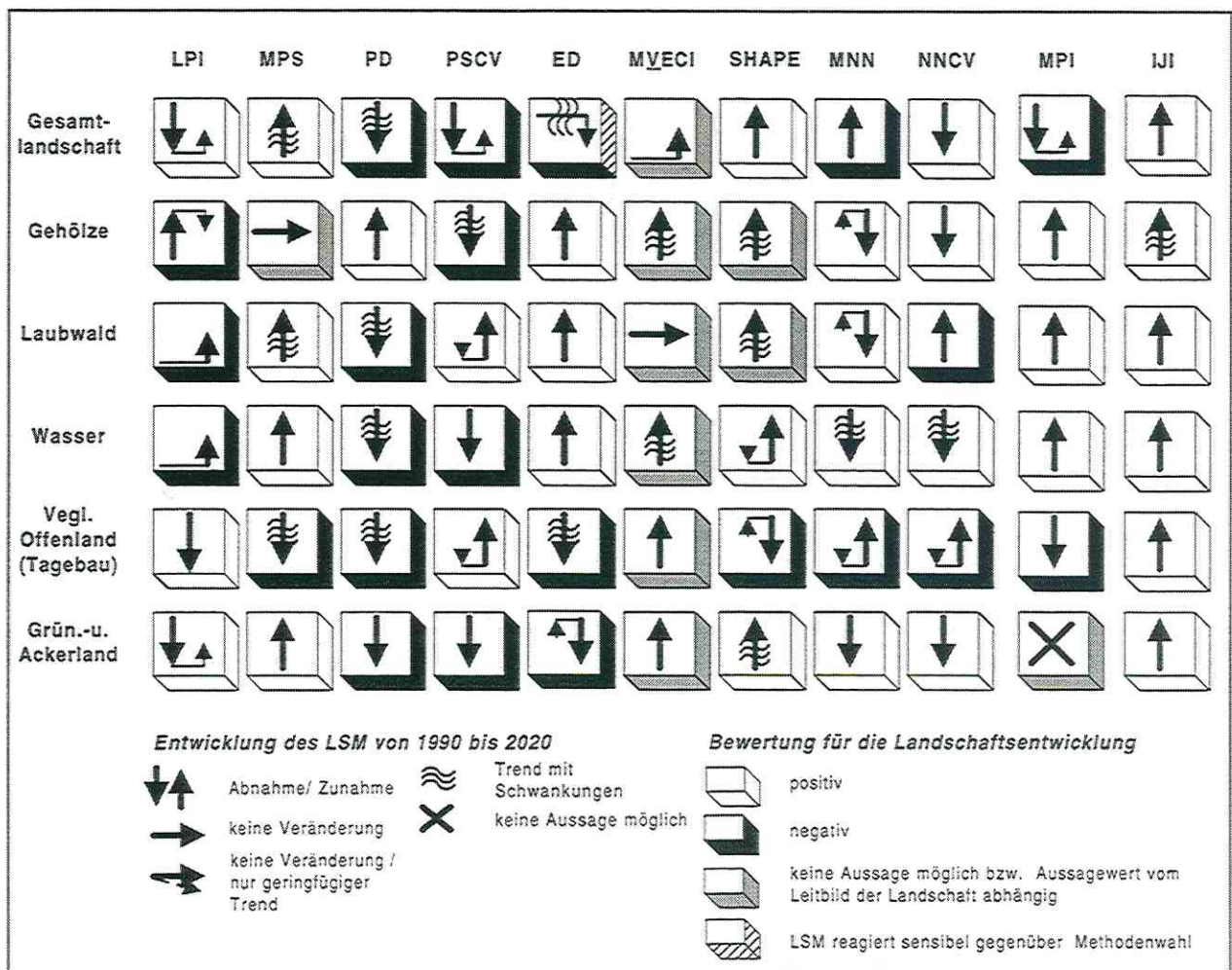


Abb. 45: Übersicht zur Entwicklung der Landschaftsstrukturmaße für die Gesamtlandschaft sowie die raumcharakterisierenden Land-Cover-Klassen für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020



Die raumcharakterisierenden Klassen des Südraumes Leipzig zeigen von 1990 bis 2020 folgende strukturellen Charakteristika:

### Gehölze

- Zunahme dominanter Einzelflächen (*LPI\_Gehölze*)
- keine Veränderungen der mittlere Flächengröße (*MPS\_Gehölze*)
- Zunahme der Dichte der Gehölzflächen (*PD\_Gehölze*)
- Abnahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Gehölze*)
- Zunahme der Kantendichte von Gehölzflächen (*ED-Gehölze*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung der Gehölzflächen (*MVECI\_Gehölze*)
- Zunahme der Formkomplexität (*SHAPE\_Gehölze*)
- Abnahme der mittleren Entfernung der Gehölzflächen zueinander (*MNN\_Gehölze*)
- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Gehölze*)
- Abnahme der Verinselung von Gehölzflächen (*MPI\_Gehölze*)
- Zunahme der proportionalen Verteilung von Gehölzflächen (*IJI\_Gehölze*)

### Laubwald

- Zunahme dominanter Einzelflächen erst im Jahr 2020 (*LPI\_Laubwald*)
- Zunahme der mittlere Flächengröße (*MPS\_Laubwald*)
- Abnahme der Dichte der Laubwaldflächen (*PD\_Laubwald*)
- Zunahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Laubwald*)
- Zunahme der Kantendichte von Laubwaldflächen (*ED\_Laubwald*)
- keine Veränderungen des Höhenkontrastes in der Umgebung der Laubwaldflächen (*MVECI\_Laubwald*)
- Zunahme der Formkomplexität (*SHAPE\_Laubwald*)
- Abnahme der mittleren Entfernung der Laubwaldflächen zueinander (*MNN\_Laubwald*)
- Zunahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Laubwald*)
- Abnahme der Verinselung von Laubwaldflächen (*MPI\_Laubwald*)
- Zunahme der proportionalen Verteilung von Laubwaldflächen (*IJI\_Laubwald*)

### Wasser

- Zunahme dominanter Einzelflächen erst im Jahr 2020 (*LPI\_Wasser*)
- Zunahme der mittlere Flächengröße (*MPS\_Wasser*)
- Abnahme der Dichte der Wasserflächen (*PD\_Wasser*)
- Abnahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Wasser*)
- Zunahme der Kantendichte von Wasserflächen (*ED\_Wasser*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung der Wasserflächen (*MVECI\_Wasser*)
- Zunahme der Formkomplexität ab 1994 (*SHAPE\_Wasser*)
- Abnahme der mittleren Entfernung der Wasserflächen zueinander (*MNN\_Wasser*)
- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Wasser*)
- Abnahme der Verinselung von Wasserflächen (*MPI\_Wasser*)
- Zunahme der proportionalen Verteilung von Wasserflächen (*IJI\_Wasser*)



### Vegetationsloses Offenland (Tagebau)

- Abnahme dominanter Einzelflächen (*LPI\_Vegl. Offenland*)
- Abnahme der mittlere Flächengröße (*MPS\_Vegl. Offenland*)
- Abnahme der Dichte der Tagebauflächen (*PD\_Vegl. Offenland*)
- Zunahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Vegl. Offenland*)
- Abnahme der Kantendichte von Tagebauflächen (*ED\_Vegl. Offenland*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung der Tagebauflächen (*MVECI\_Vegl. Offenland*)
- Abnahme der Formkomplexität von Tagebauflächen (*SHAPE\_Vegl. Offenland*)
- Zunahme der mittleren Entfernung der Tagebauflächen zueinander (*MNN\_Vegl. Offenland*)
- Zunahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Vegl. Offenland*)
- Zunahme der Verinselung von Tagebauflächen (*MPI\_Vegl. Offenland*)
- Zunahme der proportionalen Verteilung von Tagebauflächen (*IJI\_Vegl. Offenland*)

### Grün- und Ackerland

- Abnahme dominanter Einzelflächen (*LPI\_Grün.-u. Ackerland*)
- Zunahme der mittlere Flächengröße (*MPS\_Grün.-u. Ackerland*)
- Abnahme der Dichte der Flächen von Grün- und Ackerland (*PD\_Grün.-u. Ackerland*)
- Abnahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Grün.-u. Ackerland*)
- Abnahme der Kantendichte von Grün- und Ackerlandflächen (*ED\_Grün.-u. Ackerland*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung von Grün- und Ackerlandflächen (*MVECI\_Grün.-u. Ackerland*)
- Zunahme der Formkomplexität - keine qualitative Änderung (*SHAPE\_Grün.-u. Ackerland*)
- Abnahme der mittleren Entfernung der Grün- und Ackerlandflächen zueinander (*MNN\_Grün.-u. Ackerland-*)
- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*PSCV\_Grün.-u. Ackerland*)
- keine Aussage zur Verinselung der Flächen möglich (*MPI\_Grün.-u. Ackerland*)
- Zunahme der proportionalen Verteilung von Grün- u. Ackerlandflächen (*IJI\_Grün.-u. Ackerland*)

### Landschaftselemente des Südraumes Leipzig (Gesamtlandschaft)

- Abnahme dominanter Einzelflächen (*LPI\_Land*)
- Zunahme der mittlere Flächengröße (*MPS\_Land*)
- Abnahme der Dichte der Flächen (*PD\_Land*)
- Abnahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Land*)
- Abnahme der Kantendichte erst im Jahr 2020 (*ED-Land*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung erst im Jahr 2020 (*MVECI\_Land*)
- Zunahme der Formkomplexität, jedoch ohne qualitative Änderung (*SHPAE\_Land*)
- Zunahme der mittleren Entfernung der Landschaftselemente zueinander (*MNN\_Land*)



- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Land*)
- Zunahme der Verinselung der Landschaftselemente im Raum (*MPI\_Land*)
- Zunahme der proportionalen Verteilung der Landschaftselemente (*IJI\_Land*)

## 9.2 Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig

Die Erfassung von Landschaftsstrukturmaßen steht im direkten Zusammenhang mit der räumlichen Auflösung sowie dem Maßstab der Untersuchung. So besitzen die LSM für das gesamte Gebiet Südraum Leipzig (vgl. Kap. 9.1.3, S. 102) spezifische Aussagequalitäten für die Interpretation der strukturellen Ausstattung von Biotop- und Flächennutzungsstrukturen des Raumes. Infolge ihrer hohen Strukturmerkmalsvariabilität des Südraumes Leipzig können die erfaßten Landschaftsstrukturmaße auf den Ebenen der Klassen und Landschaft bisher nur als Mittelwerte in die Auswertung einbezogen werden. Flächenkonkrete quantitative sowie qualitative Aussagen ergeben sich jedoch erst bei einem kleineren Raumbezug. Die Bezugseinheit Mikrogeochoren (MG) erlaubt die Vermittlung kleinräumiger Angaben zur raumstrukturellen Ausstattung sowie deren zeitlicher Änderung. Die verwendeten naturräumlichen Einheiten gelten gegenüber der einfachen rechteckigen Abgrenzung der Landschaft als geeignete Raumeinheiten für die Bestimmung von Potentialeigenschaften und eignen sich für die Bestimmung des Einflusses landschaftsökologischer Störgrößen. So ist die Untersuchung, Quantifizierung und Modellierung von Zusammenhängen zur Bestimmung von Belastungsgraden, der Tragfähigkeit von Nutzungsänderungen und Nutzungsintensivierung erst auf der Basis solcher Raumeinheiten möglich (Haase 1996).

Für die Typisierung der Mikrogeochoren werden diese nach einem für ganz Ostdeutschland erarbeiteten Typenkatalog geordnet. Dieser Katalog der Mikrogeochoren-Typen ist ein wesentliches Resultat des Projektes 'Naturraumtypen-Karte der DDR im mittleren Maßstab' (vgl. Haase & Mannsfeld 1987). Die Mikrogeochoren des Südraum Leipzig gehören den folgenden drei Typenhauptgruppen (THG, vgl. Tab. 17, S. 124) an.

Tab. 17: Mikrogeochoren-Typen für den Südraum Leipzig (nach Haase & Mannsfeld 1987, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt- und Landesentwicklung 1997)

Typen- haupt- gruppen	Typen- unter- gruppen	Bezeichnung
<b>D</b>		Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland
	D1	Naturraumtypen der mäßig hydromorphen Auen-Mosaik im glazial bestimmten Tiefland
	D3	Naturraumtypen der hydromorphen Auen- und Tal-Mosaik im Hügelland und unteren Bergland
<b>E</b>		Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland
	E1	Naturraumtypen der Schwarzerde-Löß-Mosaik im Hügelland
	E3	Naturraumtypen der hydromorphen Lößdecken-Mosaik im Hügelland
	E4	Naturraumtypen der geringmächtigen sandigen Lößdecken-Mosaik im Hügelland
<b>H</b>		Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“

(Typenhauptgruppe – THG)



## 9.2.1 Raumstrukturelle Untersuchung der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H)

### 9.2.1.1 Charakteristik und Veränderung der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H)

#### Analysen der Veränderungen durch Flächenmaße

##### Charakteristik der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H)

Die Charakterisierung der Flächenmaße der Mikrogeochoren erfolgt mit Hilfe der Landschaftsstrukturmaße *LPI*, *MPS*, *PSCV* sowie *PD*

- Die Landschaftselemente der MG technogen stark veränderter oder neu geschaffener „Naturräume“ (THG-H) zeichnen sich gegenüber THG-D,E durch die Dominanz hoher zusammenhängender Einzelflächen (*LPI\_Land*) aus, die durch den *LPI* der Klasse Wasser verursacht wird.
- Die MG der Tagebaulandschaft (MG technogen stark veränderter oder neu geschaffener „Naturräume“) zeichnen sich durch eine hohe Variabilität der Flächengrößen (*PSCV\_Land*) bezogen auf die mittlere Flächengröße der Landschaftselemente aus.
- Die zeitliche Analyse von 1990 bis 2020 beschreibt eine Abnahme großer dominanter Einzelflächen bis 1996 (Abnahme *LPI* der Klassen Vegetationsloses Offenland (Tagebau) bzw. Grün- und Ackerland). Der für 2020 ermittelte Anstieg des *LPI\_Land* wird durch die Dominanz großer Flächen der Klassen Wasser und Laubwald für das Jahr 2020 verursacht (vgl. Abb. 46a-b, S. 126).
- Für die Klassen Grün- und Ackerland der MG der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland wurden sehr hohe *LPI*-Werte ermittelt. So spiegeln sich in diesem Index die zusammenhängenden Flächen von Grünland der noch existierenden Auen (Weiße Elster) wieder.
- Die mittlere Flächengröße (*MPS\_Land*), sowie die Dichte der Landschaftselemente (*PD\_Land*) einer Klasse zeigen vergleichend zu den MG der Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland (THG-D) sowie der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland (THG-E) nur mittlere Werte (vgl. Abb. 46c-f, S. 126). So weisen, bedingt durch die hohe wirtschaftliche Bedeutung der Flächen für das Grün- und Ackerland, insbesondere die lößbestimmten Räume hohe mittlere Flächengrößen (*MPS\_Land*) bei gering vorliegenden Flächendichten (*PD\_Land*) auf. Das für Auelandschaften charakteristische kleinräumige Mosaik an Flächengrößen wird durch die vorliegenden Landschaftsstrukturmaße sehr gut quantifiziert. So zeigen die LE der THG-D vergleichsweise geringe mittlere Flächengrößen (*MPS\_Land*) bei einer hohen Dichte der Landschaftselemente (*PD\_Land*).
- Die Zunahme der mittleren Flächengrößen bei gleichzeitiger Abnahme der Flächendichte (*PD\_Land*) von 1990 bis 2020 sowie Abnahme der Variabilität der Flächengrößen (*PSCV\_Land*) gibt einen Hinweis auf eine zunehmende Uniformierung der Landschaftselemente des Untersuchungsraumes (vgl. Abb. 46g-h, S. 126).



- Die MG der technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräume“ unterliegen den höchsten Veränderungen bezüglich der hier untersuchten Flächenmaße.

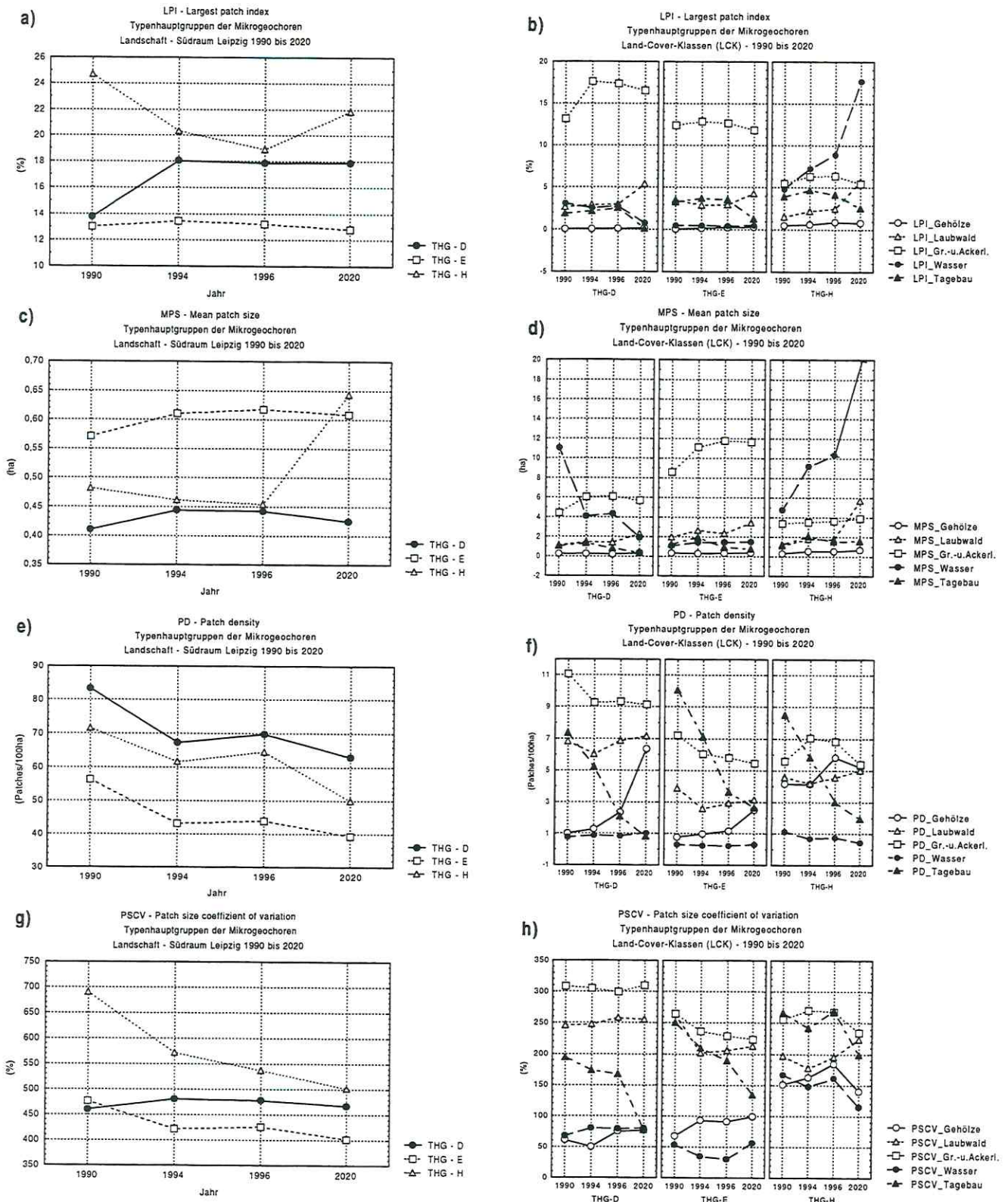


Abb. 46a-h: Flächenmaße - quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020



## Analysen der Veränderungen durch Kantenmaße

- Für die Untersuchungen zur quantitativen Charakterisierung der Kanten wurde das Kantenstrukturmaß (*Edge structure index - ESI*) einbezogen. Die vergleichenden Analysen der LE der MG der THG-D,E,H zeigen sehr deutlich, daß die Kanten der LE von MG der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland (THG-D) eine starke Strukturierung aufweisen (hohe Verzahnung mit den benachbarten LE). Hierbei ist die Kantenstruktur der Gehölze sowie von Laubwald als günstig einzuschätzen.
- Eine gleichfalls „hohe ökologische Bedeutung“ zeigen die Kanten der LE der MG technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräume“ (THG-H). Als ungünstig eingeschätzt werden die Kanten der LE der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland (THG-E). So zeigen besonders die bewirtschafteten Flächen von Grün- und Ackerland der Lößregion ungünstige Kantenstrukturverhältnisse, die sich durch eine hohe Geradlinigkeit gegenüber Grün- und Ackerflächen der LE der MG-THG- D und H auszeichnen (vgl. Abb. 47a-c, S. 127).

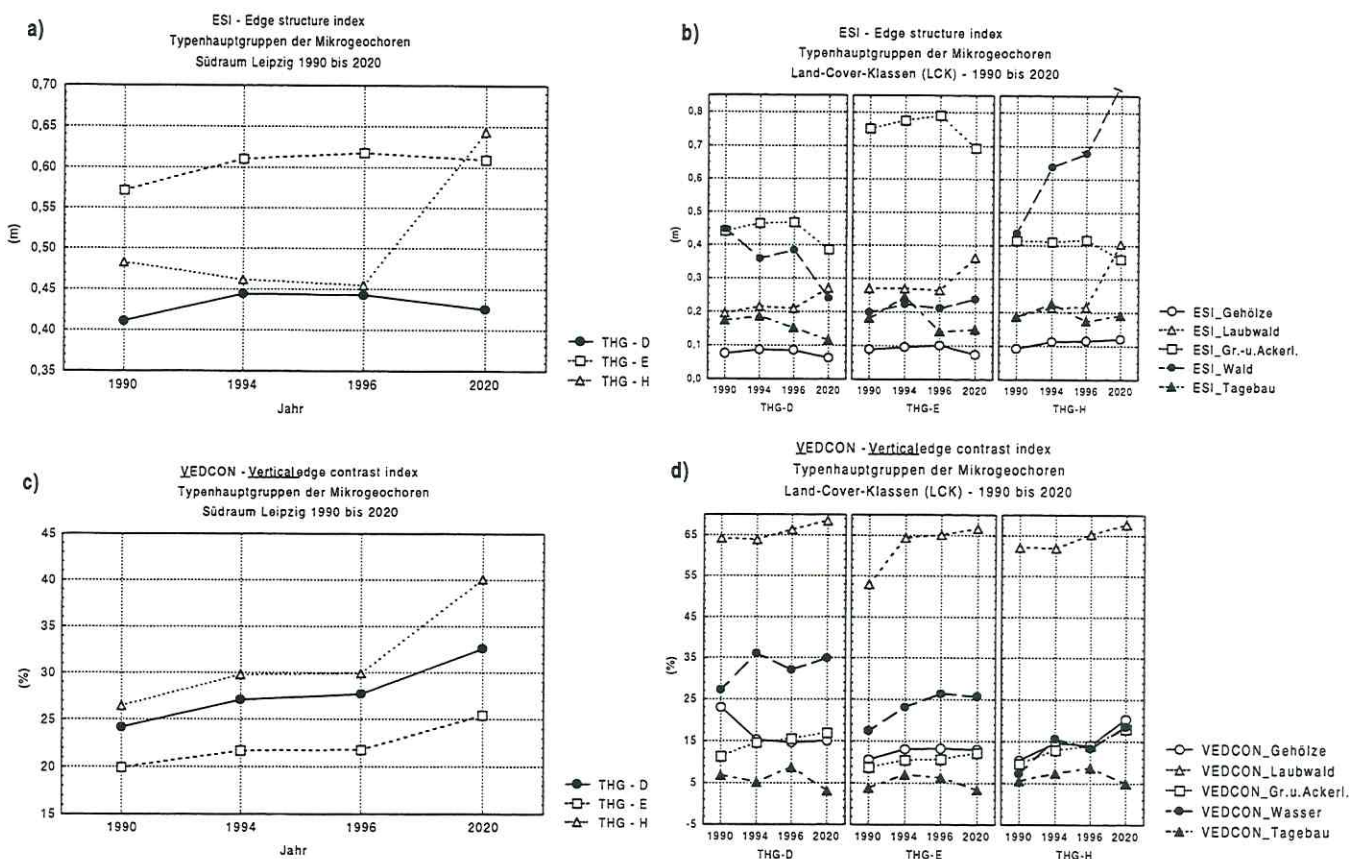


Abb. 47a-d: Kantenmaße - quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020

- Die zeitlichen Analysen von 1990 bis 1996 zeigen eine geringfügige Verschlechterung (Abnahme der Verzahnung der LE mit benachbarten LE) der Kantenstrukturen der LE der MG-THG-D und E wohingegen sich die Kantenstruktur der LE der Klasse Vegetationsloses Offenland (Tagebau) verbessert. Die Untersuchung der Zeitschnitte 1996 bis 2020 macht den Anstieg des Kantenstrukturindex für die LE der Tagebauflächen, die sich aus hohen *ESI*-Werten



der Klassen Wasser und Laubwald ergeben, deutlich. Diese Zunahme kann nicht in Verbindung mit einer Abnahme der Kantenstruktur gebracht werden. In der Veränderung der Werte kommt das methodische Problem von Daten unterschiedlichen Datenursprunges für den Zeitschnitt 2020 zum Ausdruck (vgl. Kap 8.2, S. 69).

- Der Höhenkontrastindex (*VEDCON*) trägt zur Charakterisierung der LE unterschiedlicher MG bei. So zeigen die MG technogener Prägung (THG-H) eine vergleichsweise zu den MG THG-D und H hohe vertikale Schichtung der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen, die durch die hohen *VEDCON*-Werte der Klasse Laubwald hervorgerufen werden. Nur geringe Höhendifferenzen weisen demgegenüber die LE der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland auf.
- Gegenüber der zeitlichen Betrachtung wurden für alle MG der untersuchten THG-D,E,H ein Anstieg des Höhenkontrastindex (*VEDCON*) bis zum Untersuchungsjahr 2020 ermittelt (vgl. Abb. 47c-d, S. 127).

### Analyse der Veränderungen durch Formmaße (Formdeskriptoren)

- Die Quantifizierung der Form und die damit verbundenen Aussagen zur Kompaktheit ermöglichen die Einschätzung der ökologischen Bedeutung der Landschaftselemente nach dem Maß der Form. So weisen besonders die LE der Mikrogeochoren der Tagebaue (THG-H) sehr komplexe Formen (hoher *SHAPE*) verglichen zu den LE für MG der agrarischen Bereiche (THG-E) auf.
- Für die Zeitreihenuntersuchung zeigen die LE der Naturraumtypen auf Lockergestein eine Abnahme der Formkomplexität; dies bedeutet die Zunahme der Uniformierung der Landschaft. Desweiteren wurde für die LE der Tagebaue (THG-H) ab 1996 eine starke Veränderung der Form ermittelt. Diese Quantifizierung steht möglicherweise unter Einfluß der bereits bei der Quantifizierung des Maßes *Edge density (ED)* genannten Problematik von Daten (Integration von Vektordaten mit geringerer Kantenlänge). Es müssen daher für die Interpretation dieser Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 2020 diese Fehlerquellen in Betracht gezogen werden.

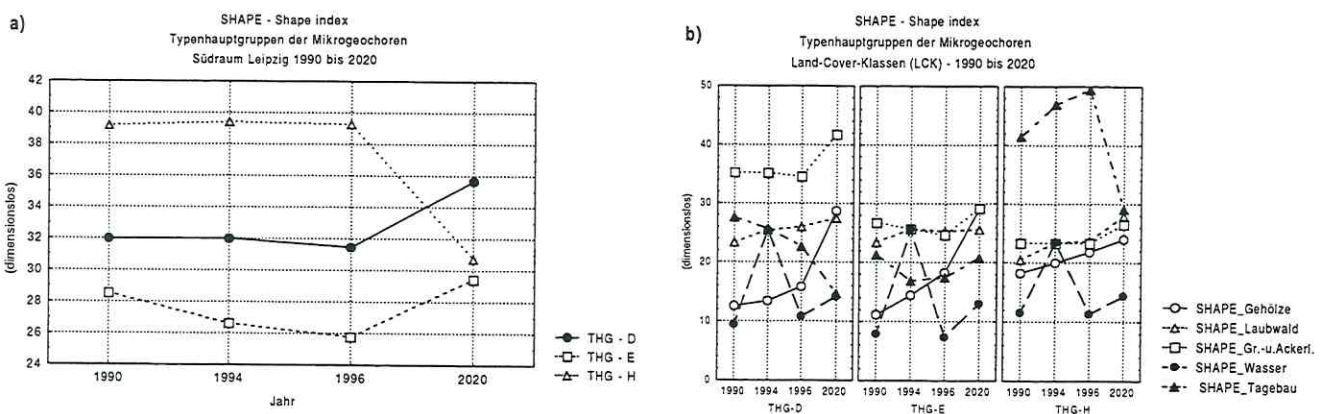


Abb. 48a-b: Formmaße – quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020



## Analyse der Veränderungen durch Maße der Nächsten-Nachbarschaft

- Die Untersuchungen von Maßen der Nächsten-Nachbarschaft beschreibt die räumlichen Entfernungen der Landschaftselemente. Als entscheidende Maße der Analyse der Veränderungen der MG der THG-D,E,H erwiesen sich *MNN*, *NNCV* sowie *PROXIM*.
- Für die LE der MG der THG-H wurden geringfügige mittlere Entfernungen (*MNN\_Land*) der LE bei nur geringen Varianzen der Entfernungen quantifiziert. Somit liegen die LE dieses Naturraumtypes wenig voneinander entfernt. Starke Varianzen der Entfernung der LE zeigen die Flächen der MG der Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland. Hierbei zeigen die Klassen Vegetationsloses Offenland (Tagebau) sowie Laubwald starke Unterschiede in den Entfernungen ihrer LE bezogen auf den Mittelwert (vgl. Abb. 49a-b, S. 129).

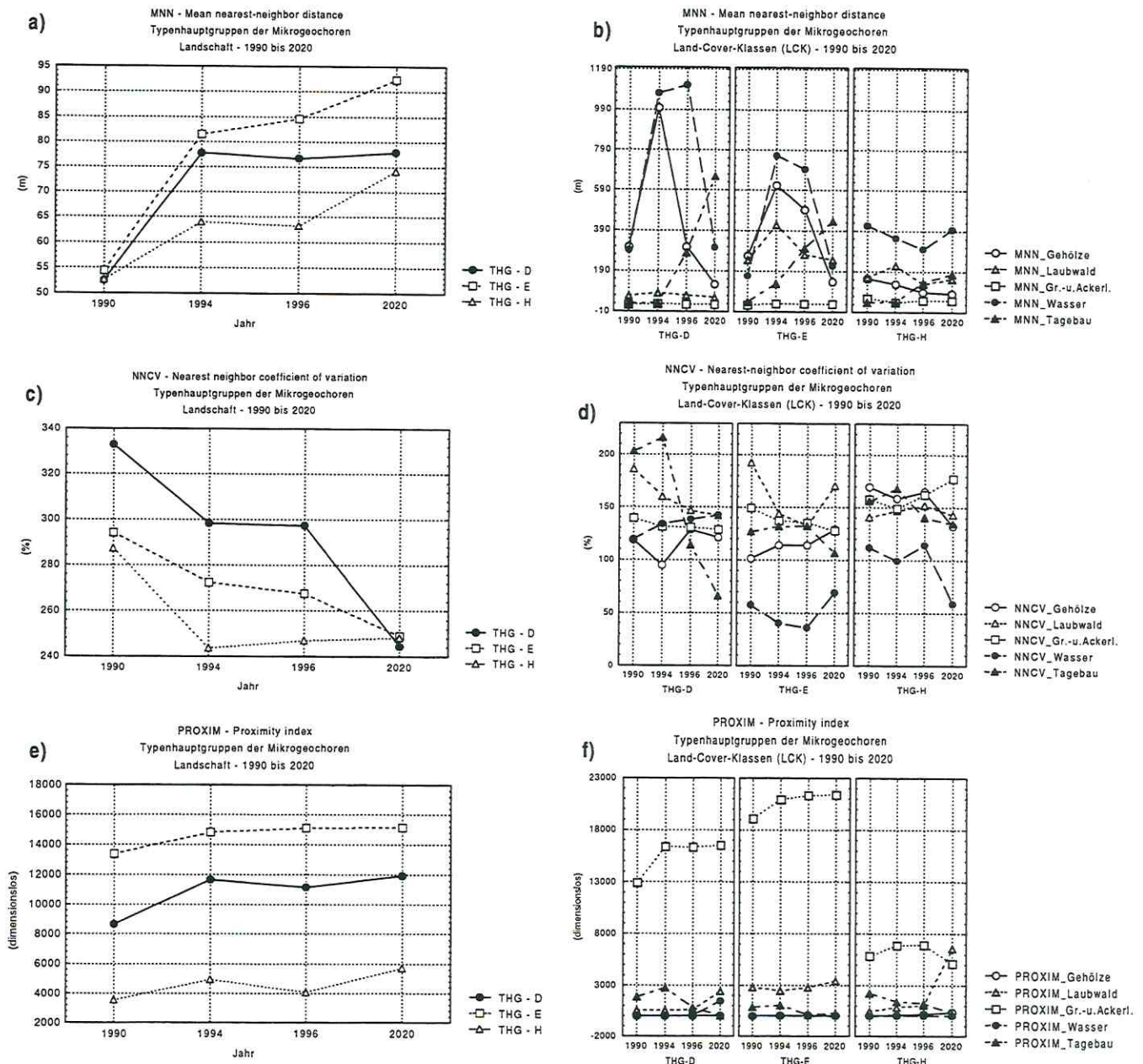


Abb. 49a-f: Maße der Nächsten Nachbarschaft– quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020



- Für alle LE, gruppiert nach den Typenhauptgruppen der MG, wurde bis 2020 eine Zunahme der mittleren Entfernung der LE bei gleichzeitiger Abnahme der Varianz der Entfernung (*NNCV\_Land*) der LE ermittelt (vgl. Abb. 49c, S. 129). Diese Ergebnisse bestätigen die Grundannahme einer *Homogenisierung* der Landschaft des Südraumes Leipzig (vgl. Kap. 9.1.3.1, S. 102).
- Der *Proximity index (PROXIM)* ermöglicht es, Aussagen zur Fragmentierung von LE der MG zu treffen. So wurden für die LE des Tagebaus (THG-H) nur sehr geringe Werte für den *PROXIM\_Land* ermittelt, wohingegen für die Elemente der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland (THG-E) vergleichsweise hohe Werte ausgewiesen wurden (vgl. Abb. 49e, S. 129). Diese gemittelten Werte des *PROXIM\_Land* geben einen Hinweis darauf, daß die LE der Tagebauregionen (THG-H) einer stärkeren Fragmentierung unterliegen als dies vergleichsweise für die LE der MG der THG-E (Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland) der Fall ist. Die Untersuchungen des Landschaftsstrukturmaßes *PROXIM* auf Klassenebene geben einen ursächlichen Hinweis. So weisen die Klasse Grün- und Ackerland eine komplexe Anhäufung der LE dieser Klasse auf (hohe *PROXIM*-Werte), was sich aufgrund der vorliegenden agrarischen Nutzung zwangsläufig ergibt. Eine nur geringe Nutzungsintensität bzw. ein hoher flächenhafter Anteil der Klasse Grün- und Ackerland (vgl. Abb. 49f, S. 129) liegt für die MG der Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“ (THG-H) nicht vor.

### **Analysen der Veränderungen durch Maße der Diversität und Verteilung**

- Zur Quantifizierung von Reichtum an unterschiedlichen *Land-Cover-Klassen* wurde das Landschaftsstrukturmaß *Patch richness density (PRD)* und Gleichmäßigkeit (Verteilung) der *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)* herangezogen. Es wurden für die Landschaftselemente der MG der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland (THG-D) vergleichsweise hohe *PRD*-Werte (Landschaftsebene) für die Zeiträume von 1990 bis 2020 ermittelt. Die LE der MG anthropogen stark beeinflusster Landschaften der Tagebaue (THG-H) weisen ebenfalls sehr hohe Werte für den Reichtum an LE pro Flächeneinheit auf. Die Landschaften der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland (THG-E) besitzen die geringste Reichhaltigkeit an LE unterschiedlicher Klassen (vgl. Abb. 50a, S. 131).
- Für die LE der MG der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland (THG-D) sowie der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland (THG-E) wurde eine Zunahme des Landschaftsstrukturmaßes *PRD\_Land* ermittelt, wohingegen die LE eine Abnahme der *PRD\_Land* ab 1996 aufweisen (vgl. Abb. 50a, S. 131).
- Der *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)* erlaubt Aussagen zur Verteilung der LE bezüglich der vorliegenden Klassen. So wurden für die MG der Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“ (THG-H) eine vergleichsweise disproportionale Verteilung der LE gegenüber der Landschaft der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland (THG-D) ermittelt. Der geringe Wert des *IJI\_Land* der MG der THG-H wird durch die geringen *IJI*-Werte der Klasse Wasser hervorgerufen. So korreliert die Zunahme des *IJI* der Klasse Wasser mit der Zunahme des *IJI\_Land* auf Landschaftsebene der Mikrogeochoren. Eine Zunahme der proportionalen



Verteilung der LE für die technogen beeinflussten MG erfahren ebenfalls die Klassen Laubwald, Gehölze und Vegetationsloses Offenland (Tagebau). Für die LE der THG-D und E hingegen wurde von 1990 bis 2020 eine stetige Abnahme der *IJI*-Werte (Landschaftsebene) ermittelt. Die Landschaftselemente erfahren somit in der Analyse der zeitlichen Entwicklung eine Zunahme der disproportionalen Verteilung (vgl. Abb. 50b-c, S. 131).

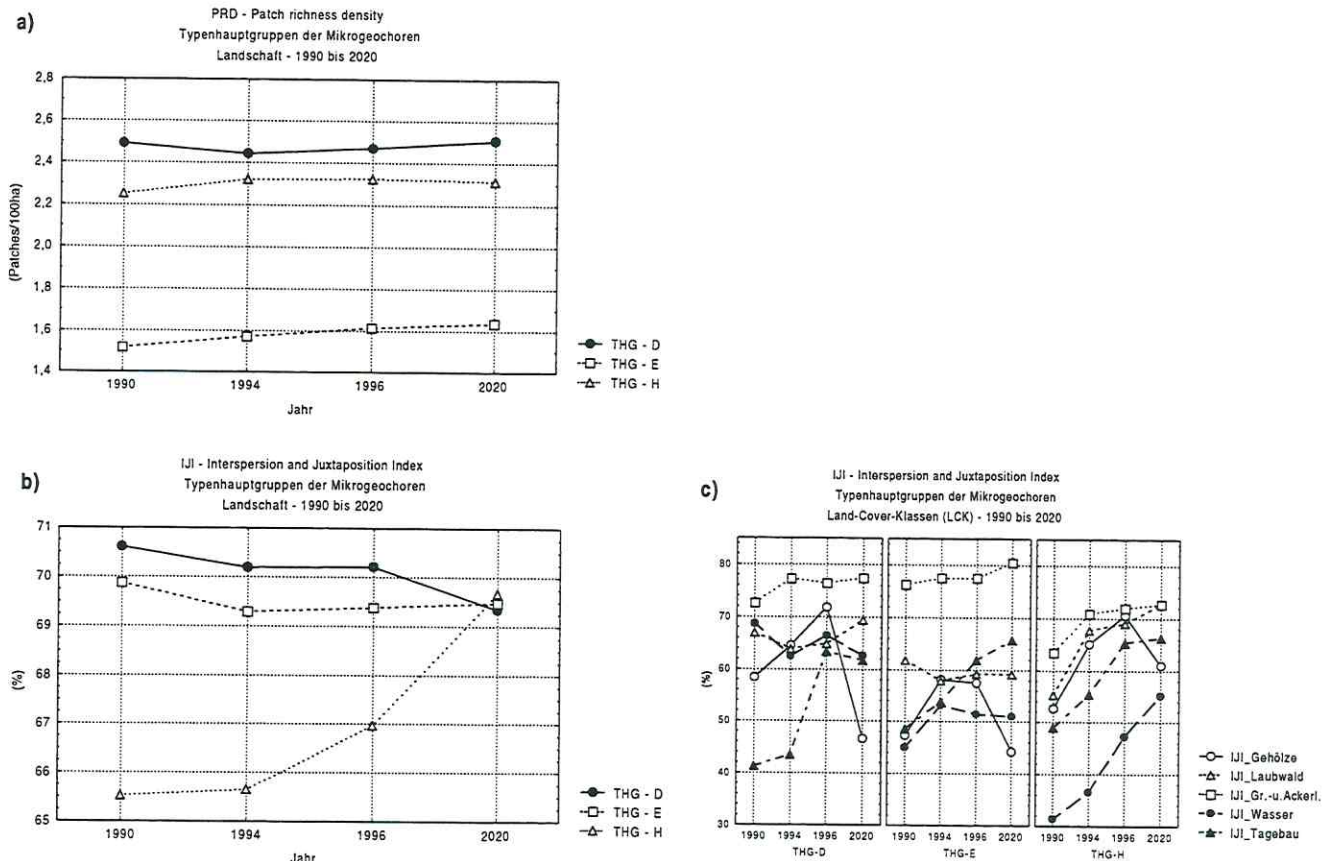


Abb. 50a-c: Maße der Diversität und Verteilung - quantifiziert auf der Landschafts- und Klassenebene der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020

Zusammenfassung der Änderungen der Landschaftsstrukturen der Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen (THG-D,E,H) für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020

Mikrogeochoren - Typenhauptgruppe (THG-D) - Die Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland

- Zunahme dominanter Einzelflächen (*LPI\_Land\_THG-D*)
- Zunahme der mittleren Flächengröße (*MPS\_Land\_THG-D*)
- Abnahme der Dichte der Landschaftselemente (*PD\_Land\_THG-D*)
- Keine Veränderung in der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Land\_THG-D*)
- negative Entwicklung der Kantenstrukturen der Landschaftselemente (Abnahme der Verzahnung der LE untereinander), ungünstige Entwicklung in der Ökotonausbildung (*ESI\_Land\_THG-D*)



- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung der Landschaftselemente (*VEDCON\_Land\_THG-D*)
- Zunahme der Formkomplexität (*SHAPE\_Land\_THG-D*)
- Zunahme der mittleren Entfernung der LE zueinander (*MNN\_Land\_TGH-D*)
- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_THG-D*)
- Abnahme der Verinselung von Landschaftselementen (*PROXIM\_Land\_THG-D*)
- Zunahme der Reichhaltigkeit von LE unterschiedlicher Klassen (*PRD\_Land\_THG-D*)
- Zunahme der disproportionalen Verteilung von LE (*IJI\_Land\_THG-D*)

#### Mikrogeochoren - Typenhauptgruppe (THG-E) - Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland

- keine Veränderung dominanter Einzelflächen
- Zunahme der mittleren Flächengröße (*LPI\_Land\_THG-E*)
- Abnahme der Dichte der Landschaftselemente (*PD\_Land\_THG-E*)
- Abnahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Land\_THG-E*)
- negative Entwicklung der Kantenstrukturen der Landschaftselemente (Abnahme der Verzahnung der LE untereinander), ungünstige Entwicklung in der Ökotonausbildung (*ESI\_Land\_THG-E*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung der Landschaftselemente (*VEDCON\_Land\_THG-E*)
- Zunahme der Formkomplexität ab 1996 (*SHAPE\_Land\_THG-E*)
- Zunahme der mittleren Entfernung der LE zueinander (*MNN\_Land\_THG-E*)
- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Land\_THG-E*)
- Abnahme der Verinselung von Landschaftselementen (*PROXIM\_Land\_THG-E*)
- Zunahme der Reichhaltigkeit von LE unterschiedlicher Klassen (*PRD\_Land\_THG-E*)
- Zunahme der disproportionalen Verteilung von LE (*IJI\_Land\_THG-E*)

#### Mikrogeochoren - Typenhauptgruppe (THG-H) - Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen "Naturräumen"

- bis 1996 Abnahme dominanter Einzelflächen, Zunahme dominanter Einzelflächen bis 2020 (*LPI\_Land\_THG-H*)
- Zunahme der mittleren Flächengröße (*MPS\_Land\_THG-H*)
- Abnahme der Dichte der Landschaftselemente (*PD\_Land\_THG-H*)
- Abnahme der Variabilität der Flächengröße von der mittleren Flächengröße (*PSCV\_Land\_THG-H*)
- positive Entwicklung der Kantenstrukturen der Landschaftselemente bis 1996 Landschaftselemente (Zunahme der Verzahnung der LE untereinander), ungünstige Entwicklung der Kantenstruktur bis 2020 (*ESI\_Land\_THG-H*)
- Zunahme des Höhenkontrastes in der Umgebung der Landschaftselemente (*VEDCON\_Land\_THG-H*)
- Abnahme der Formkomplexität ab 1996 (*SHAPE\_Land\_THG-H*)



- Zunahme der mittleren Entfernung der LE zueinander (*MNN\_Land\_THG-H*)
- Abnahme der Variabilität der Entfernungen von der mittleren Entfernung (*NNCV\_Land\_THG-H*)
- Abnahme der Verinselung von Landschaftselementen (*PROXIM\_Land\_THG-H*)
- Abnahme der Reichhaltigkeit von LE unterschiedlicher Klassen (*PRD\_Land\_THG-H*)
- Zunahme der disproportionalen Verteilung von LE (*IJI\_Land\_THG-H*)

### 9.2.1.2 Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen D,E,H

Die Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig unterliegen einer hohen zeitlichen Dynamik. Zur Untersuchung der raum-zeitlichen Entwicklung sowie der Bewertung bezüglich der Landschaftsstrukturmaße wurde das Muster der berechneten Zeitreihen-Daten identifiziert. Die mathematischen Grundlagen der Entwicklungs- und Trendanalyse sind dem Kap. 6.3 (S. 47) zu entnehmen.

Folgende Aussagen können hinsichtlich der Trendanalysen gemacht werden:

#### *Trend*

*liegt vor (ja)*

<i>Positiver Trend (Zunahme):</i>	<i>ja / nein / Stärke</i>
<i>Negativer Trend (Abnahme):</i>	<i>ja / nein / Stärke</i>

#### *Trend*

*liegt nicht vor (nein)*

<i>Schwankungen (Fluktuation)</i>	<i>ja / nein / Stärke</i>
<i>Keine Veränderungen (Stagnation):</i>	<i>ja / nein / Stärke</i>

Die Zeitreihen- und Trendanalysen der Landschaftsstrukturmaße auf Landschaftsebene wurden für jede Mikrogeochore der Typenhauptgruppen D, E und H für die Zeitschnitte 1990, 1994, 1996 und das Jahr 2020 auf Basis der Satellitenbildklassifikation sowie dem Synthesedatensatz aus Satellitenbildklassifikation (1996) und der Entwicklungskonzeption Landschaft für das Jahr 2020 (vgl. Kap. 6.1.3, S. 40) durchgeführt. Um Aussagen der Landschaftsstrukturmaße bezüglich der Typenhauptgruppen zu erhalten, wurden die Ergebnisse über Trend und Schwankungen, positiver Trend, negativer Trend sowie keine Veränderungen als Mittelwerte sowie Standardabweichungen im nachfolgendem Diagramm abgetragen (vgl. Abb. 51a-d, S. 134).



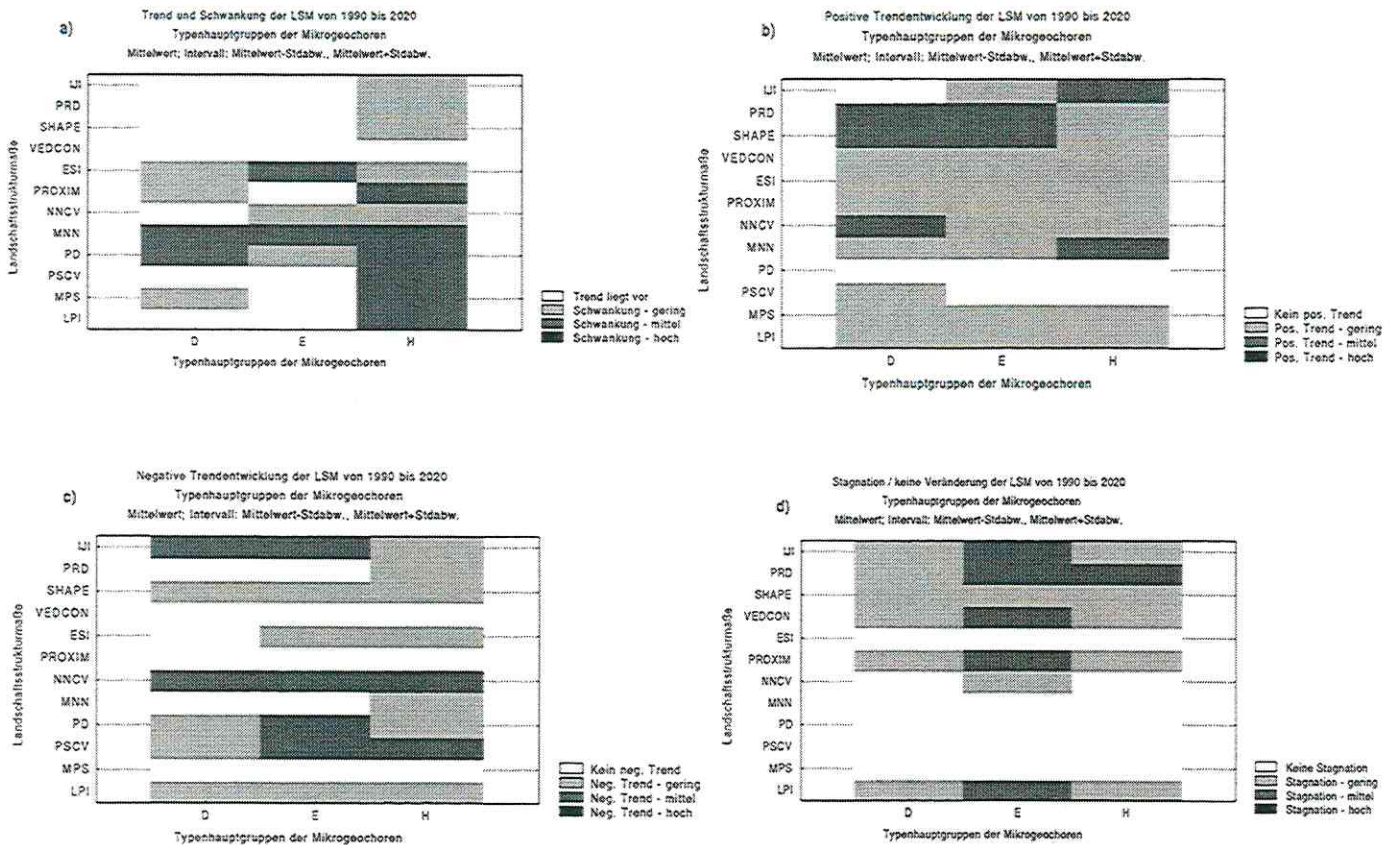


Abb. 51a-d: Trendanalyse der Typenhauptgruppen (D,E,H) der Mikrogeochoren für den Südraum Leipzig von 1990 bis 2020

Die Typenhauptgruppen der Mikrogeochoren zeigen folgendes Muster der Trendentwicklung von 1990 bis 2020:

Für die MG der THG-H - Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“ - zeigt nur das Landschaftsstrukturmaß Höhenkontrastindex (*VEDCON\_Land*) von 1990 bis 2020 eine eindeutige Trendentwicklung. Einen sehr hohen Anteil von Landschaftsstrukturmaßen (8 von 12 LSM) mit Trend hingegen wurden für die MG THG-G - Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland - ermittelt (vgl. Abb. 51a, S. 134).

Die Untersuchungen bezüglich des Vorliegens von Schwankungen sowie deren Stärke für die untersuchten Landschaftsstrukturmaße (vgl. Abb. 51a, S. 134). zeigen, daß die Mikrogeochoren der Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“ (THG-H) im Schnitt geringe bis mittlere Schwankungen der zeitlichen Entwicklung der Landschaftsstrukturmaße von 1990 bis 2020 aufweisen. So unterliegen besonders die Flächenmaße (*LPI\_Land*, *MPS\_Land*, *PSCV\_Land*, *PD\_Land*) sowie Maße zur Charakterisierung der räumlichen Entfernung (*MNN\_Land*, *PROXIM\_Land*) Schwankungen in den Werten von 1990 bis 2020.

Die Analyse zur Bestimmung der Trendrichtung (positiv sowie negativ, vgl. Abb. 51b-c, S. 134) macht deutlich, daß zwischen den Typenhauptgruppen-D,E,H nur geringfügige Unterschiede erfaßt werden konnten.

So zeigen die MG der THG-D und E im Vergleich der MG der THG-H einen höheren Anteil an Landschaftsstrukturmaßen mit einem positiven Trend (vgl. Abb. 51b, S. 134).



Die Quantifizierung der Stagnation (vgl. Abb. 51d, S. 134) gibt einen Hinweis auf die Entwicklung der Landschaftsstrukturmaße. So zeigt die Abb. 51d (S. 134) deutliche Unterschiede zwischen Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen-D,E,H. Es dominieren an Häufigkeit und Stärke Landschaftsstrukturmaße der MG der Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland, die zwischen den Zeitschnitten 1990 und 2020 keine nennenswerten Veränderungen zeigen.

### 9.2.1.3 Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren der THG-D,E,H bezüglich der Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig

Die Untersuchungen zum Trendverhalten der raumstrukturellen Indikatoren stellen die Grundlage zur Bewertung des Trends bezüglich der Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig dar. Hierzu macht sich eine Einschätzung der Trendrichtung hinsichtlich der Entwicklung der Landschaft des Südraumes Leipzig erforderlich. Bei der Einschätzung wird von folgenden Annahmen ausgegangen (vgl. Tab. 18, S. 135):

Tab. 18: Notwendige Trendrichtung der Landschaftsstrukturmaße, welche für eine positive Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig erforderlich ist

Landschaftsstrukturmaße	Trendrichtung
IJI_Land	positiv
PRD_Land	positiv
SHAPE_Land	positiv
ESI_Land	negativ
PROXIM_Land	positiv
NNCV_Land	negativ
MNN_Land	negativ
PD_Land	positiv
PSCV_Land	positiv
MPS_Land	positiv
LPI_Land	negativ

In die Bewertung wurde das Landschaftsstrukturmaße *Vertical edge contrast index (VEDCON\_Land)* nicht mit einbezogen  
Gesamtbewertung = (positiver Trend – negativer Trend)

Die Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße bezüglich der Auswirkung auf die Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig erbrachte folgende Ergebnisse:

- THG-D (Naturraumtypen der Auen größerer Flüsse im glazial bestimmten Tiefland, Hügelland und unteren Bergland): Die Entwicklung der Biotop- und Landschaftsstruktur von 1990 bis 2020 wird als positiv eingeschätzt.
- THG-E (Naturraumtypen auf Lockergesteinen im Hügelland): Die im Raum vorliegenden Biotop- und Landschaftsstrukturen zeigen Trendentwicklungen, die als schwach positiv für die Entwicklung des Raumes beurteilt werden.
- THG-H (Mosaik in technogen stark veränderten oder neu geschaffenen „Naturräumen“): Die Biotop- und Landschaftsstrukturen zeigen Entwicklungstrends, die sich im Mittel schwach negativ auf die Gesamtentwicklung der MG der Tagebaulandschaft auswirken.



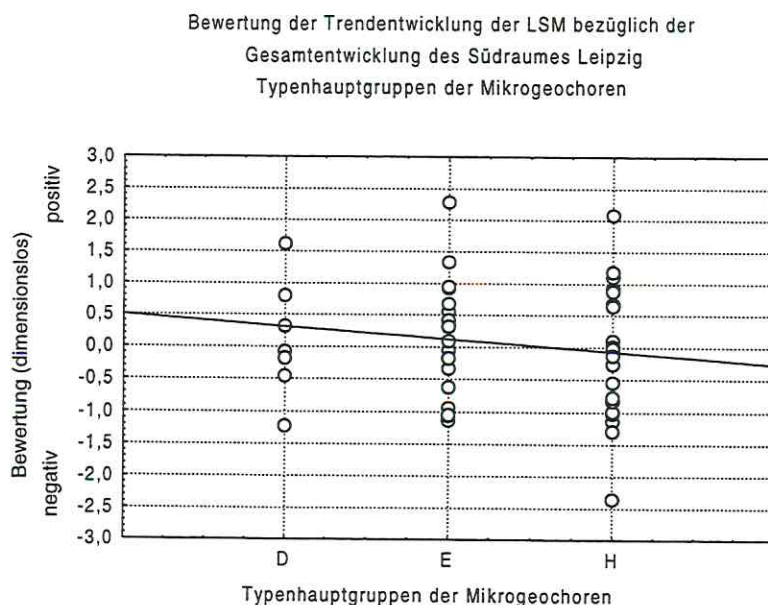


Abb. 52: Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße bezüglich der Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig – Mikrogeochoren der Typenhauptgruppen-D,E,H

## 9.2.2 Raumstrukturelle Untersuchung der Mikrogeochoren

### 9.2.2.1 Charakteristik und Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße für jede Mikrogeochore

Die Untersuchungen der Landschaftsstrukturmaße im Kap. 9.2.1 (S. 125) zeigen, daß durch Kategorisierung und Aggregation von Raumeinheiten im Zuge von Mittelwertbildung Informationen verloren gehen. Dies hat die Generalisierung des Aussagewertes zur Folge. Um konkrete raum-zeitliche Analysen zum Verhalten der Landschaftsstrukturmaße zu erhalten und deren regionale Trendentwicklung zu beurteilen, sind Analysen der Landschaftsstrukturmaße auf der räumlichen Bezugsbasis jeder einzelnen Mikrogeochore erforderlich. Die methodischen Grundlagen der Analyse sind dem Kap. 9.2.1 (S. 125) zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Trendanalyse zu den Landschaftsstrukturmaßen sind für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig in der Abb. 53a-d (S. 138) dargestellt. Auf der Grundlage dieser Bewertungsmatrizen kann nun die Landschaftsdynamik in ihrem räumlichen Bezug festgestellt werden.

Exemplarisch wird die Trendentwicklung für die Landschaftsstrukturmaße *LPI\_Land*, *PSCV\_Land*, *MNN\_Land* sowie *VEDCON\_Land* (vgl. Abb. 54, S. 139 bis Abb. 57, S. 142) dargestellt.



Die Landschaftselemente der Mikrogeochoren zeigen bezüglich der untersuchten Landschaftsstrukturmaße folgende Trendentwicklung:

- Im Vergleich der Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße (vgl. Abb. 53a, S. 138) wird deutlich, daß die Flächenmaße (*LPI\_Land*, *MPS\_Land*, *PSCV\_Land* und *PD\_Land*) eine Trendentwicklung von 1990 bis 2020 für eine Vielzahl der Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig aufweisen.
- So ist der Abb. 54 (S. 139) sowie der Abb. 55 (S. 140) zu entnehmen, daß räumlich betrachtet, besonders die Bereiche der Tagebaulandschaft vergleichend zu umliegenden Flächen große zusammenhängende Einzelflächen innerhalb einer Klasse (*LPI\_Land*) aufweisen, die mit einer hohen Varianz der Flächengröße der LE bezogen auf die mittlere Flächengröße (*PSCV\_Land*) verbunden ist. Der Trend beider Landschaftsstrukturmaße zeigt, daß hinsichtlich der Trendrichtung regionale Unterschiede vorliegen. Die MG der Tagebaue (Tagebau Zwenkau, Alttagebau Witznitz, Tagebau Schleenhain-Haselbach, Alttagebau Bockwitz-Borna-Ost) zeigen in bezug zum Landschaftsstrukturmaß *LPI\_Land* (vgl. Abb. 53a, S. 138) mittlere Schwankungen, wohingegen für die Mikrogeochoren im Umland des Tagebau Espenhain eine Zunahme der *LPI\_Land* konstatiert wird. Die Analysen des *PSCV\_Land* erbringen demgegenüber eine starke negative Trendentwicklung des LSM. Hierbei sind die Mikrogeochoren des nordöstlichen bis südwestlichen Bereiches des Südraumes Leipzig stark betroffen. Eine hohe Abnahme der Varianz der Flächengröße (*PSCV\_Land*) wurde für MG der Tagebaue Espenhain, Peres sowie Schleenhain ermittelt (vgl. Abb. 55 (S. 140)).
- Eine Vielzahl der MG unterliegen im Werteverhalten von 1990 bis 2020 Schwankungen bzw. zeigen eine abnehmende Tendenz der Flächendichte (*PD\_Land*, vgl. Abb. 53a,b, S. 138).
- Die Untersuchungen der Maße der Nächsten-Nachbarschaft veranschaulichen, daß insbesondere diese LSM die Veränderungen der Landschaft des Raumes anzeigen. So wurde für den Südraum ermittelt, daß die Landschaftselemente von 1990 bis 2020 eine Zunahme der mittleren Entfernung (*MNN\_Land*) von 1990 bis 2020 erfahren. Bezogen auf die räumliche Verteilung des *MNN* (quantifiziert auf der Landschaftsebene, vgl. Abb. 56, S. 141) wird deutlich, daß die LE aller MG relativ gleichmäßige mittlere Entfernungen aufweisen. So erfahren die LE für die räumlich zentral gelegenen MG (z.B. Alttagebau Espenhain, Tagebau Zwenkau, Zwenkau-Böhlener Moränen-Platte u.a.) des Südraumes eine Zunahme der mittleren Entfernung bis 2020 bei gleichzeitiger Abnahme der Variabilität der Entfernung (*PSCV\_Land*) der LE von der mittleren Entfernung.
- Die Veränderung der Höenschichtung der Landschaft des Südraumes wird durch das Landschaftsstrukturmaß *VEDCON* für die Mikrogeochoren des Raumes beschrieben. Die für 1990 ermittelte geringe vertikale Höhendifferenz der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen in den Tagebaubereichen Espenhain, Zwenkau, Peres, Schleenhain sowie Witznitz unterliegt bis zum Jahr 2020 einer großen Veränderung. So zeigen die LE der heute existierenden „Offenlandschaft“<sup>51</sup> eine Zunahme der vertikalen Höhendifferenz der umliegenden Landschaftsstrukturen (vgl. Abb. 57, S. 142).
- Eine geringfügige Dynamik im Werteverhalten von 1990 bis 2020 konnte für die Landschaftsstrukturmaße *PRD\_Land* sowie *PROXIM\_Land* nachgewiesen werden, wohingegen

<sup>51</sup> Der Begriff Offenlandschaft verdeutlicht das Vorliegen weiträumiger, nur wenig mit Sträuchern und Gehölzen unterbrochene Biotop und Flächennutzungsstrukturen.



die Maße *MPS\_Land*, *PSCV\_Land*, *PD\_Land*, *MNN\_Land*, *NNCV\_Land*, *ESI\_Land* und *SHAPE\_Land* von 1990 bis 2020 eine hohe Dynamik (nur geringfügige Stagnation der erfaßten Werte von 1990 bis 2020) aufweisen (vgl. Abb. 53d, S. 138).

- Die Bestimmung der Charakteristik und Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße *Largest patch index (LPI\_Land)*, *Patch size coefficient of variation (PSCV\_Land)*, *Mean nearest-neighbor distance (MNN\_Land)*, *Vertical edge contrast index (VEDCON\_Land)* zeigt exemplarisch die Möglichkeiten der Bestimmung regionaler Änderungen von Biotop- und Landschaftsstrukturen auf.

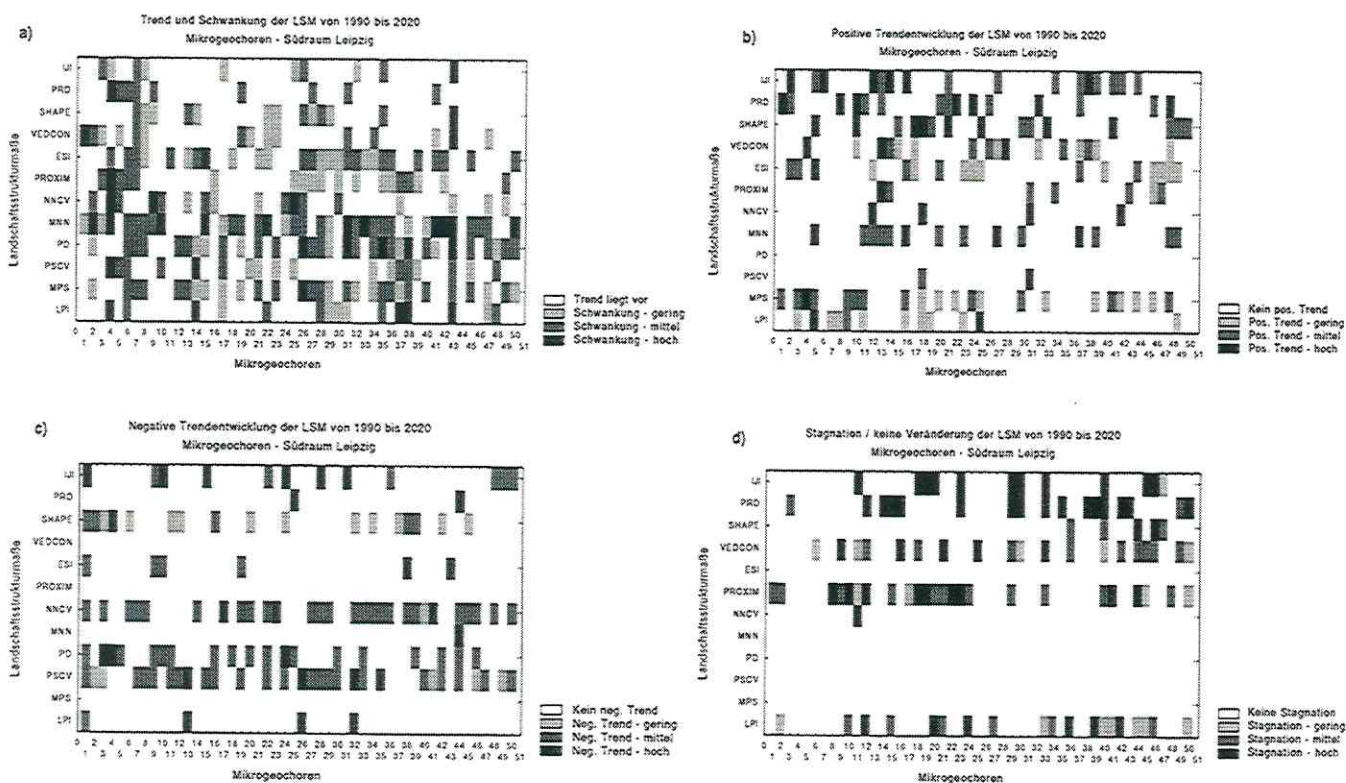


Abb. 53a-d: Zeitreihen- und Trendanalyse der Landschaftsstrukturmaße für die Mikrogeochoren im Südraum Leipzig von 1990 bis 2020

<sup>52</sup> Nächste Seite – Abb. 54: Charakteristik und Trenderfassung von *LARGEST PATCH INDEX (LPI)* für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020

<sup>53</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 55: Charakteristik und Trenderfassung von *PATCH SIZE COEFFICIENT OF VARIATION (PSCV)* für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020

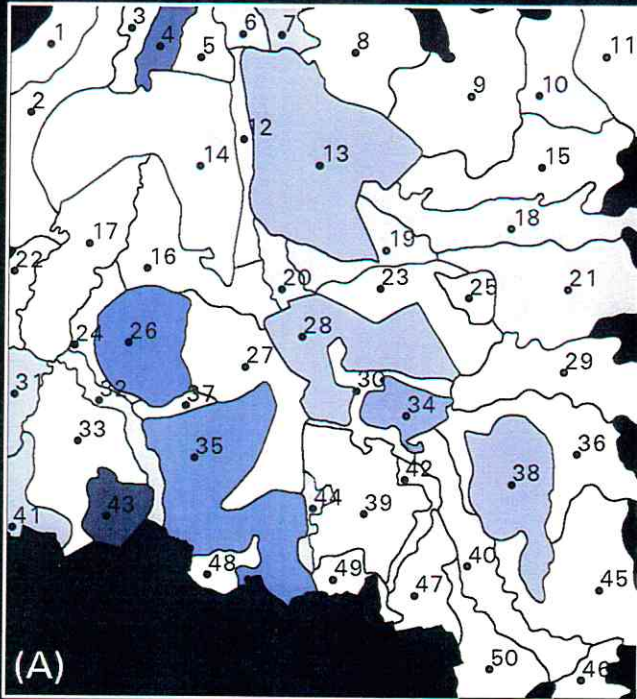
<sup>54</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 56: Charakteristik und Trenderfassung von *MEAN NEAREST-NEIGHBOR DISTANCE (MNN)* für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020

<sup>55</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 57: Charakteristik und Trenderfassung von *VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (VEDCON)* für die Mikrogeochoren des Südraumes Leipzig von 1990 bis 2020

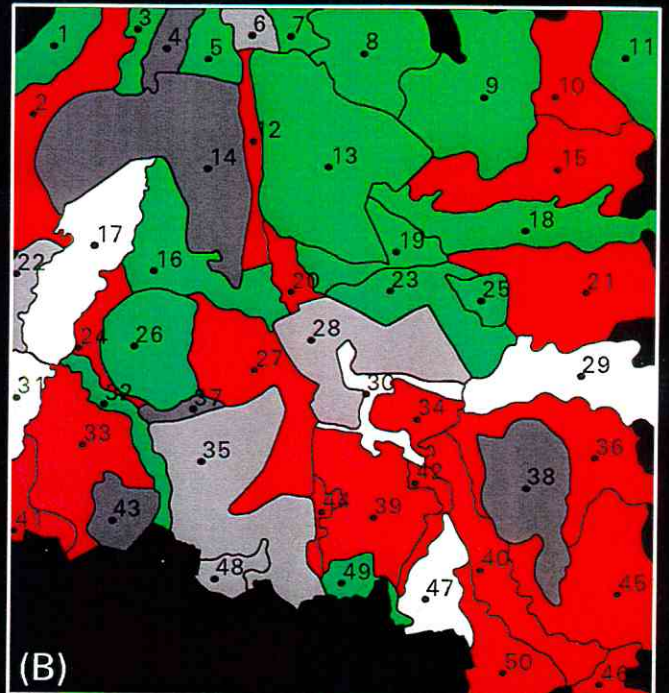


# Charakteristik und Trendanalyse von LARGEST PATCH INDEX (LPI) 1990 bis 2020 - Mikrogeochoren des Südraum Leipzig

Charakteristik des LPI - 1990

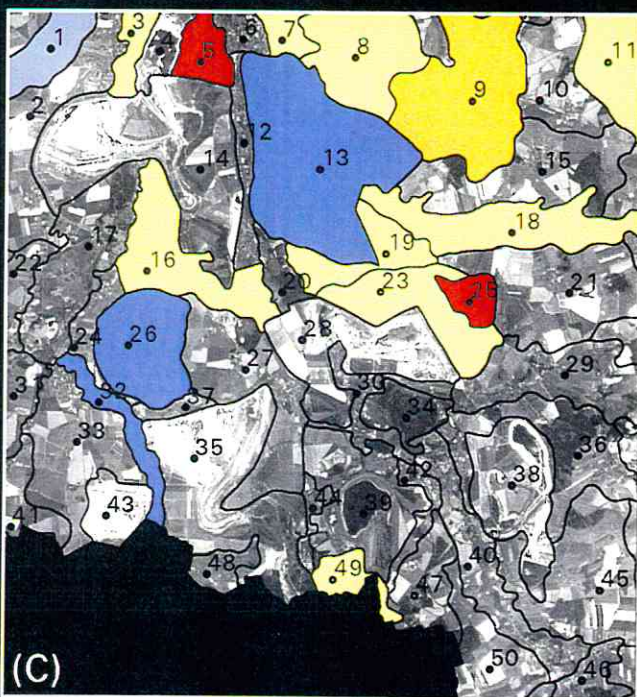


Trend / Schwankung 1990 - 2020



0 5 Kilometer

Positiver/Negativer Trend 1990 - 2020



Charakteristik von LPI - 1990



Trend / Schwankung 1990 - 2020



Positiver / Negativer Trend 1990 - 2020



- |   |                                   |   |   |
|---|-----------------------------------|---|---|
| 1 Rehbacher Moränen-Platte                    | 14 Tagebau Zwenkau                | 27 Lippendorf-Neukieritzscher Moränen-Ebene | 40 Borna-Frohburger Wyhra-Tal                   |
| 2 Knautnaundorfer Schotter-Moränen-Ebene      | 15 Belgershainer Moränen-Platte   | 28 Alttagbau Witznitz                       | 41 Pautzscher Löß-Hügelgebiet                   |
| 3 Knautkleeberger Elster-Aue                  | 16 Zwenkau-Böhlener Moränen-Ebene | 29 Eulaer Flachriedel und Täler             | 42 Bornaer Kohlepfleiler                        |
| 4 Alttagbau Cospuden                          | 17 Zwenkauer Elster-Aue           | 30 Großzössener Kohlepfleiler               | 43 Alttagbau Groitzscher Dreieck                |
| 5 Zöbiger Moränen-Platte                      | 18 Göselbach-Rinne                | 31 Pegauer Elster-Aue                       | 44 Deutzener Kohlepfleiler                      |
| 6 Markkleeberger Pleiße-Aue                   | 19 Röthaer Moränen-Ebene          | 32 Schnauder-Tal                            | 45 Neukirchen-Nenkersdorfer Moränen-Hügelgebiet |
| 7 Leipzig-Lößniger Talhang                    | 20 Röthaer Pleiße-Aue             | 33 Groitzscher Löß-Hügelgebiet              | 46 Kohrener Löß-Hügelgebiet                     |
| 8 Stötteritz-Liebertwolkwitzer Moränen-Platte | 21 Stockheimer Moränen-Platte     | 34 Alttagbau Großzössen                     | 47 Alttagbaue Neukirchen-Thräna-Kraft           |
| 9 Oberholz-Großpönsner Moränen-Platte         | 22 Pegauer Löß-Platte             | 35 Tagebaue Schleenhain-Haselbach           | 48 Schnauder-Tal                                |
| 10 Köhraer Moränen-Ebene                      | 23 Espenhainer Moränen-Ebene      | 36 Fürstenholz-Moränen-Platte               | 49 Pleiße-Gerstenbach-Weitung                   |
| 11 Naunhofer Moränen-Ebene                    | 24 Audigaster Moränen-Ebene       | 37 Pödelwitzer Kohlepfleiler                | 50 Wyhra-Eschfelder Moränen-Platte              |
| 12 Gaschwitz-Böhlener Kohlepfleiler           | 25 Halde Trages                   | 38 Alttagbau Bockwitz-Borna-Ost             |   |
| 13 Alttagbau Espenhain                        | 26 Alttagbau Peres                | 39 Alttagbau Deutzen-Regis-Breitungen-Borna |   |



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

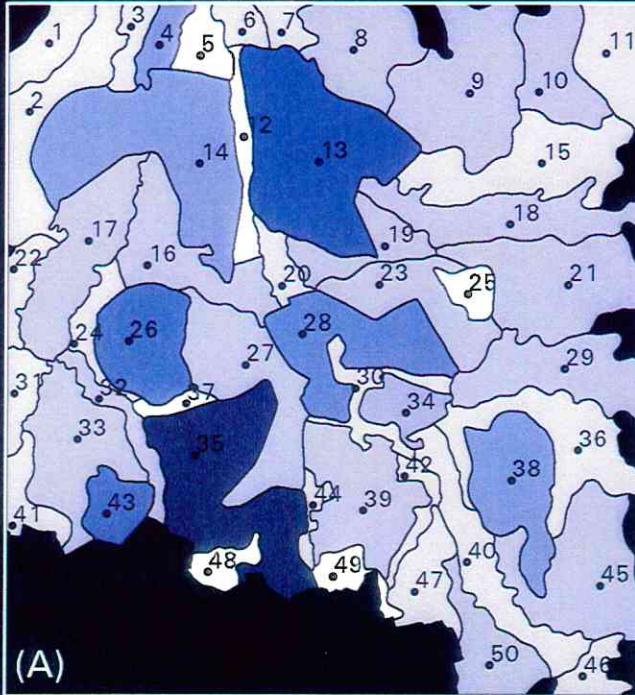
Datengrundlagen:  
Spot-PAN  
Mikrogeochoren

16.05.1994, Kantenerhöhung - 3x3 Edge Enhance,  
Sächsische Akademie der Wissenschaften,  
im Auftrag des Staatsministerium f. Umwelt und  
Landesentwicklung Sachsen

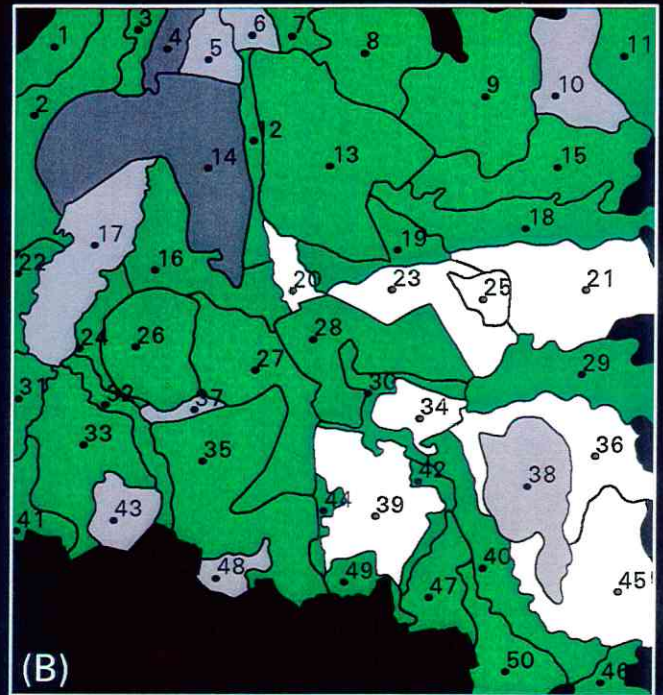


# Charakteristik und Trendanalyse von PATCH SIZE COEFFICIENT OF VARIATION (PSCV) 1990 bis 2020 - Mikrogeochoren des Südraum Leipzig

## Charakteristik des PSCV - 1990

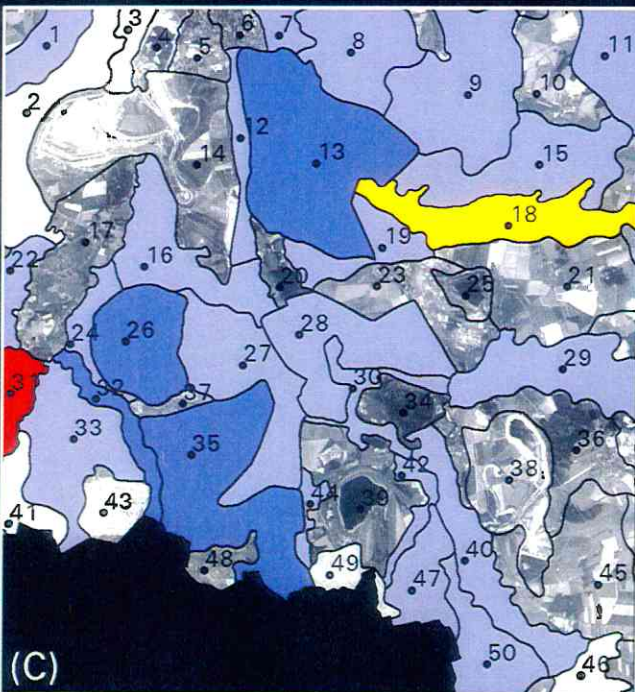


## Trend / Schwankung 1990 - 2020



0 5 Kilometer

## Positiver/Negativer Trend 1990 - 2020



## Charakteristik von PSCV - 1990



## Trend / Schwankung 1990 - 2020



## Positiver / Negativer Trend 1990 - 2020



- |   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|
| 1 Rehbacher Moränen-Platte                    | 14 Tagebau Zwenkau                | 27 Lippendorf-Neukientzschener Moränen-Ebene | 40 Borna-Frohburger Wyhra-Tal                   |
| 2 Knautnaundorfer Schotter-Moränen-Ebene      | 15 Belgershainer Moränen-Platte   | 28 Altagebau Witznitz                        | 41 Pautzcher Löß-Hügelgebiet                    |
| 3 Knautkleeberger Elster-Aue                  | 16 Zwenkau-Böhlener Moränen-Ebene | 29 Eulaer Flachriedel und Täler              | 42 Bornaer Kohlepfeiler                         |
| 4 Altagebau Cospuden                          | 17 Zwenkauer Elster-Aue           | 30 Großzössener Kohlepfeiler                 | 43 Altagebau Großtscher Dreieck                 |
| 5 Zöbiger Moränen-Platte                      | 18 Göselbach-Rinne                | 31 Pegauer Elster-Aue                        | 44 Deutzener Kohlepfeiler                       |
| 6 Markkleeberger Pleiße-Aue                   | 19 Röthaer Moränen-Ebene          | 32 Schnauder-Tal                             | 45 Neukirchen-Nenkersdorfer Moränen-Hügelgebiet |
| 7 Leipzig-Lößniger Talhang                    | 20 Röthaer Pleiße-Aue             | 33 Großtscher Löß-Hügelgebiet                | 46 Kohrener Löß-Hügelgebiet                     |
| 8 Stötteritz-Liebertwolkwitzer Moränen-Platte | 21 Stockheimer Moränen-Platte     | 34 Altagebau Großzössen                      | 47 Altagebaue Neukirchen-Thräna-Kraft           |
| 9 Oberholz-Großpösnaer Moränen-Platte         | 22 Pegauer Löß-Platte             | 35 Tagebaue Schleenhain-Haselbach            | 48 Schnauder-Tal                                |
| 10 Köhraer Moränen-Ebene                      | 23 Espenhainer Moränen-Ebene      | 36 Fürstenholz-Moränen-Platte                | 49 Pleiße-Gerstenbach-Weitung                   |
| 11 Naunhofer Moränen-Ebene                    | 24 Audigaster Moränen-Ebene       | 37 Pödelwitzer Kohlepfeiler                  | 50 Wyhra-Eschfelder Moränen-Platte              |
| 12 Gaschwitz-Böhlener Kohlepfeiler            | 25 Halde Trages                   | 38 Altagebau Bockwitz-Borna-Ost              |   |
| 13 Altagebau Espenhain                        | 26 Altagebau Peres                | 39 Altagebau Deutzen-Regis-Breitungen-Borna  |   |



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

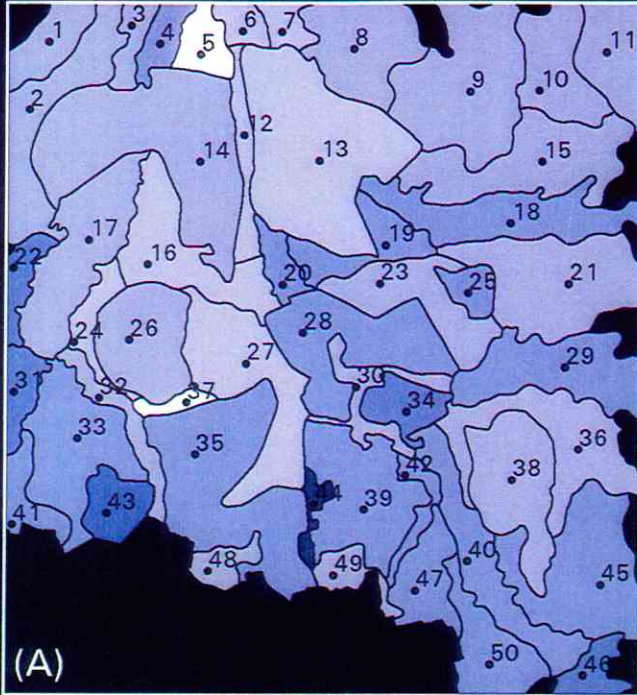
Datengrundlagen:  
Spot-PAN  
Mikrogeochoren

16.05.1994, Kantenfilterung - 3x3 Edge Enhance,  
Sächsische Akademie der Wissenschaften,  
im Auftrag des Staatsministerium f. Umwelt und  
Landesentwicklung Sachsen

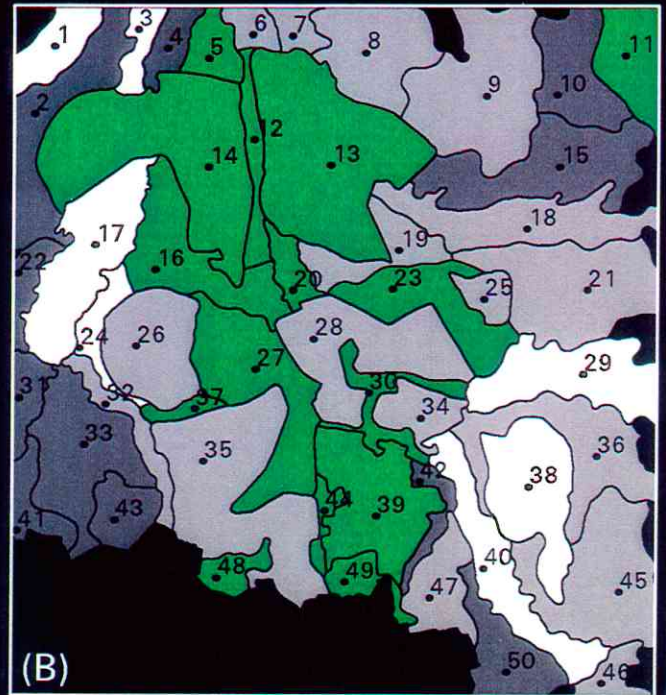


# Charakteristik und Trendanalyse von MEAN NEAREST-NEIGHBOR DISTANCE (MNN) 1990 bis 2020 - Mikrogeochoren des Südraum Leipzig

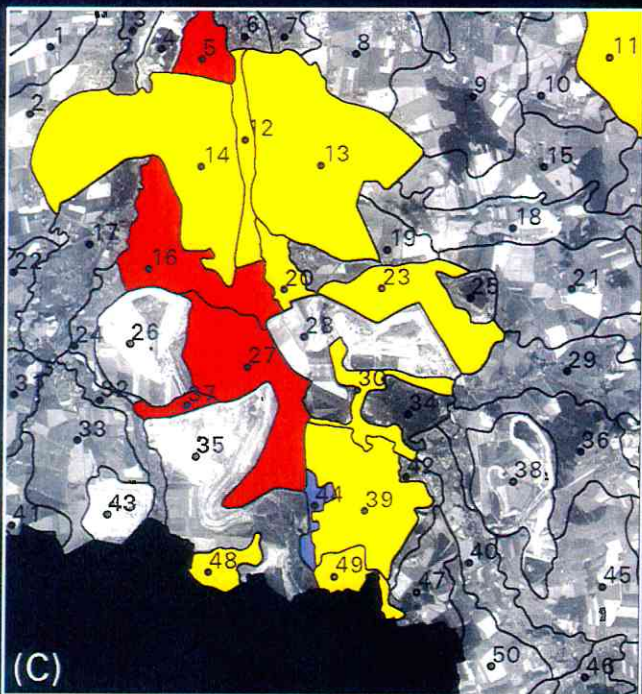
## Charakteristik des MNN - 1990



## Trend / Schwankung 1990 - 2020



## Positiver/Negativer Trend 1990 - 2020



## Charakteristik von MNN - 1990



## Trend / Schwankung 1990 - 2020



## Positiver / Negativer Trend 1990 - 2020



- |   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|
| 1 Rehbacher Moränen-Platte                    | 14 Tagebau Zwenkau                | 27 Lippendorf-Neukienitzscher Moränen-Ebene  | 40 Borna-Frohburger Wyhra-Tal                   |
| 2 Knautnaundorfer Schotter-Moränen-Ebene      | 15 Belgershainer Moränen-Platte   | 28 Alltagebau Witznitz                       | 41 Pautzscher Löß-Hügelgebiet                   |
| 3 Knautkleeberger Elster-Aue                  | 16 Zwenkau-Böhlener Moränen-Ebene | 29 Euler Flachriedel und Täler               | 42 Bornaer Kohlepfiler                          |
| 4 Alltagebau Cosputen                         | 17 Zwenkauer Elster-Aue           | 30 Großzössener Kohlepfiler                  | 43 Alltagebau Groitzscher Dreieck               |
| 5 Zöbiger Moränen-Platte                      | 18 Göselbach-Rinne                | 31 Pegauer Elster-Aue                        | 44 Deutzener Kohlepfiler                        |
| 6 Markkleeberger Pleiße-Aue                   | 19 Röthaer Moränen-Ebene          | 32 Schnauder-Tal                             | 45 Neukirchen-Nenkersdorfer Moränen-Hügelgebiet |
| 7 Leipzig-Lößniger Talhang                    | 20 Röthaer Pleiße-Aue             | 33 Groitzscher Löß-Hügelgebiet               | 46 Kohrener Löß-Hügelgebiet                     |
| 8 Stötteritz-Liebertwolkwitzer Moränen-Platte | 21 Stockheimer Moränen-Platte     | 34 Alltagebau Großzössen                     | 47 Alltagebaue Neukirchen-Thräna-Kraft          |
| 9 Oberholz-Großpösaer Moränen-Platte          | 22 Pegauer Löß-Platte             | 35 Tagebaue Schleenhain-Haselbach            | 48 Schnauder-Tal                                |
| 10 Köhraer Moränen-Ebene                      | 23 Espenhainer Moränen-Ebene      | 36 Fürstenholz-Moränen-Platte                | 49 Pleiße-Gerstenbach-Weitung                   |
| 11 Naunhofer Moränen-Ebene                    | 24 Audigaster Moränen-Ebene       | 37 Pödelwitzer Kohlepfiler                   | 50 Wyhra-Eschfelder Moränen-Platte              |
| 12 Gaschwitz-Böhlener Kohlepfiler             | 25 Halde Trages                   | 38 Alltagebau Bockwitz-Borna-Ost             |   |
| 13 Alltagebau Espenhain                       | 26 Alltagebau Peres               | 39 Alltagebau Deutzen-Regis-Breitungen-Borna |   |



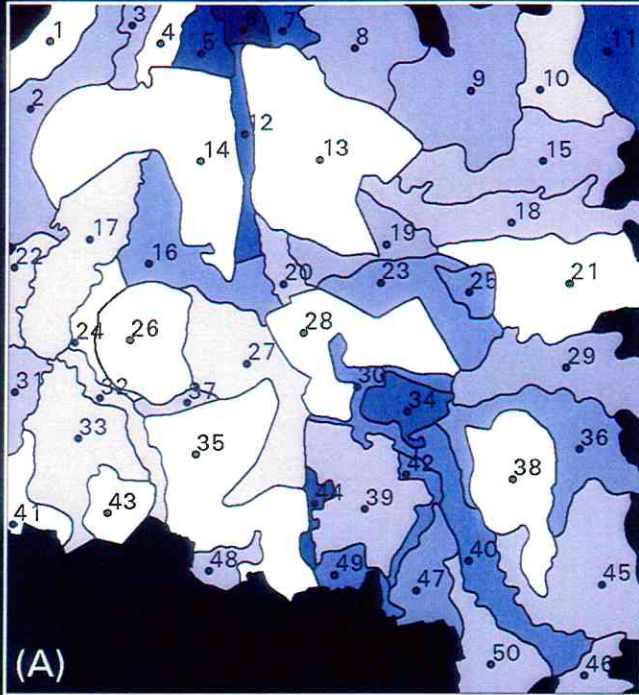
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
Bildverarbeitung und Kartographie:  
Dipl.-Biol. Angela Lausch

Datengrundlagen:  
Spot-PAN 16.05.1994, Kantenerkennung - 3x3 Edge Enhance,  
Mikrogeochoren im Auftrag des Staatsministerium f. Umwelt und  
Landesentwicklung Sachsen



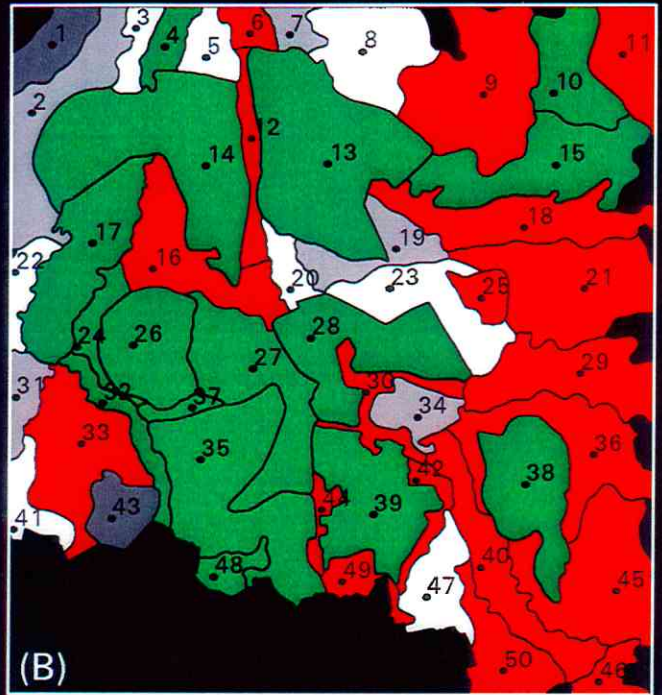
# Charakteristik und Trendanalyse von VERTICAL EDGE CONTRAST INDEX (VEDCON) 1990 bis 2020 - Mikrogeochoren des Südraum Leipzig

## Charakteristik des VEDCON - 1990



(A)

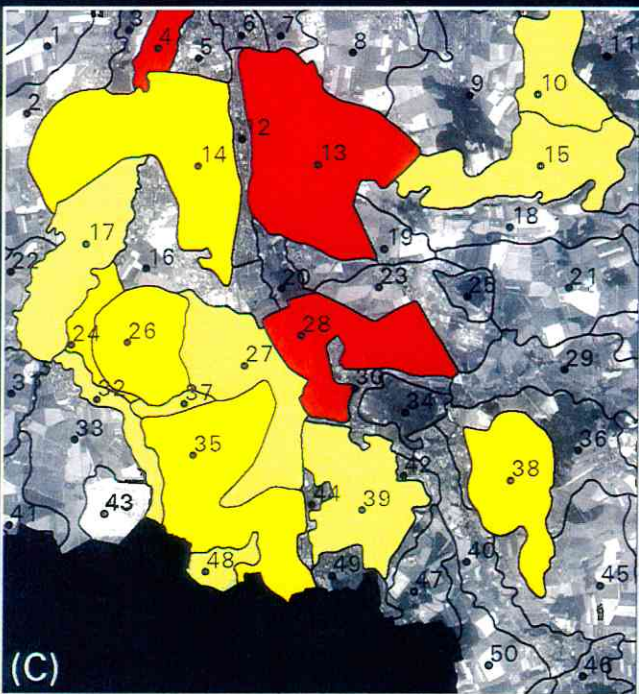
## Trend / Schwankung 1990 - 2020



(B)

0 5 Kilometer

## Positiver/Negativer Trend 1990 - 2020



(C)

## Charakteristik von VEDCON - 1990



## Trend / Schwankung 1990 - 2020



## Positiver / Negativer Trend 1990 - 2020



- |   |                                   |   |   |
|---|-----------------------------------|---|---|
| 1 Rehbacher Moränen-Platte                    | 14 Tagebau Zwenkau                | 27 Lippendorf-Neukientzcher Moränen-Ebene   | 40 Borna-Frohburger Wyhra-Tal                   |
| 2 Knautnaundorfer Schotter-Moränen-Ebene      | 15 Belgershainer Moränen-Platte   | 28 Alttagbau Witznitz                       | 41 Pautzcher Löß-Hügelgebiet                    |
| 3 Knautkleeberger Elster-Aue                  | 16 Zwenkau-Böhlener Moränen-Ebene | 29 Eulaer Flachriedel und Täler             | 42 Bornaer Kohlepfleiler                        |
| 4 Alttagbau Cospoden                          | 17 Zwenkauer Elster-Aue           | 30 Großzössener Kohlepfleiler               | 43 Alttagbau Groitzscher Dreieck                |
| 5 Zöbiger Moränen-Platte                      | 18 Göselbach-Rinne                | 31 Pegauer Elster-Aue                       | 44 Deutzener Kohlepfleiler                      |
| 6 Markkleeberger Pleiße-Aue                   | 19 Röthaer Moränen-Ebene          | 32 Schnauder-Tal                            | 45 Neukirchen-Nenkersdorfer Moränen-Hügelgebiet |
| 7 Leipzig-Lößniger Talhang                    | 20 Röthaer Pleiße-Aue             | 33 Groitzscher Löß-Hügelgebiet              | 46 Kohrener Löß-Hügelgebiet                     |
| 8 Stötteritz-Liebertwolkwitzer Moränen-Platte | 21 Stockheimer Moränen-Platte     | 34 Alttagbau Großzössen                     | 47 Alttagbaue Neukirchen-Thräna-Kraft           |
| 9 Oberholz-Großpösnaer Moränen-Platte         | 22 Pegauer Löß-Platte             | 35 Tagebaue Schleenhain-Haselbach           | 48 Schnauder-Tal                                |
| 10 Köhraer Moränen-Ebene                      | 23 Espenhainer Moränen-Ebene      | 36 Fürstenholz-Moränen-Platte               | 49 Pleiße-Gerstenbach-Weitung                   |
| 11 Naunhofer Moränen-Ebene                    | 24 Audigaster Moränen-Ebene       | 37 Pödelwitzer Kohlepfleiler                | 50 Wyhra-Eschfelder Moränen-Platte              |
| 12 Gaschwitz-Böhlener Kohlepfleiler           | 25 Halde Trages                   | 38 Alttagbau Bockwitz-Borna-Ost             |   |
| 13 Alttagbau Espenhain                        | 26 Alttagbau Peres                | 39 Alttagbau Deutzen-Regis-Breitingen-Borna |   |



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

Datengrundlagen:  
Spot-PAN  
Mikrogeochoren

16.05.1994, Kantenerkennung - 3x3 Edge Enhance,  
Sächsische Akademie der Wissenschaften,  
im Auftrag des Staatsministerium f. Umwelt und  
Landesentwicklung Sachsen



### 9.2.2.2 Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße für jede Mikrogeochore bezüglich der Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig

Die Trendentwicklung der untersuchten Landschaftsstrukturmaße wurde, wie bereits in Kap. 9.2.1.3 (S. 135) beschrieben, hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig bewertet. Die Bewertung wurde unter Einbeziehung von 11 Landschaftsstrukturmaßen für alle Mikrogeochoren vorgenommen. Die Ergebnisse der Bewertung sind der Abb. 58 (S. 144) zu entnehmen und können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- Unter Einbeziehung von 11 strukturbeschreibenden Maßen kann auf Grundlage der Trendanalysen eine Bewertung der Entwicklung der Landschaftsstrukturmaße auf Landschaftsebene für jede einzelne Mikrogeochore vorgenommen werden.
- Die Bewertung zeigt, daß sich die Strukturen der Landschaftselemente sowie der Biotope und Flächennutzungen regional sehr differenziert entwickeln und damit eine flächenkonkrete Untersuchung erforderlich ist.
- Die Entwicklung der Landschaftsstrukturen von Landschaftselementen der MG Tagebau Zwenkau, Alttagebau Espenhain, Peres, Größzössen, Bockwitz-Borna-Ost und Groitzscher Dreieck sowie die MG der Elster Aue (Zwenkauer Elster-Aue, Pegauer Elster-Aue, Schnauder Tal, Groitzscher Löß-Hügelgebiet und Pautzscher Löß-Hügelgebiet (vgl. Abb. 58, S. 144) ist unter Einbeziehung der genannten Landschaftsstrukturmaße als positiv zu bewerten.
- Die Entwicklungstendenzen der Biotop- und Landschaftsstrukturen der MG der Tagebauregion Zwenkau-Böhlender Moränen-Ebene, Alttagebau Witznitz und Tagebaue Schleenhain-Haselbach sowie die MG Oberholz-Großpösnaer Moränen-Platte, Belgershainer Moränen-Platte, Naunhofer-Moränen-Ebene u.a. (vgl. Abb. 58<sup>56</sup>, S. 144) wird als negativ eingeschätzt.

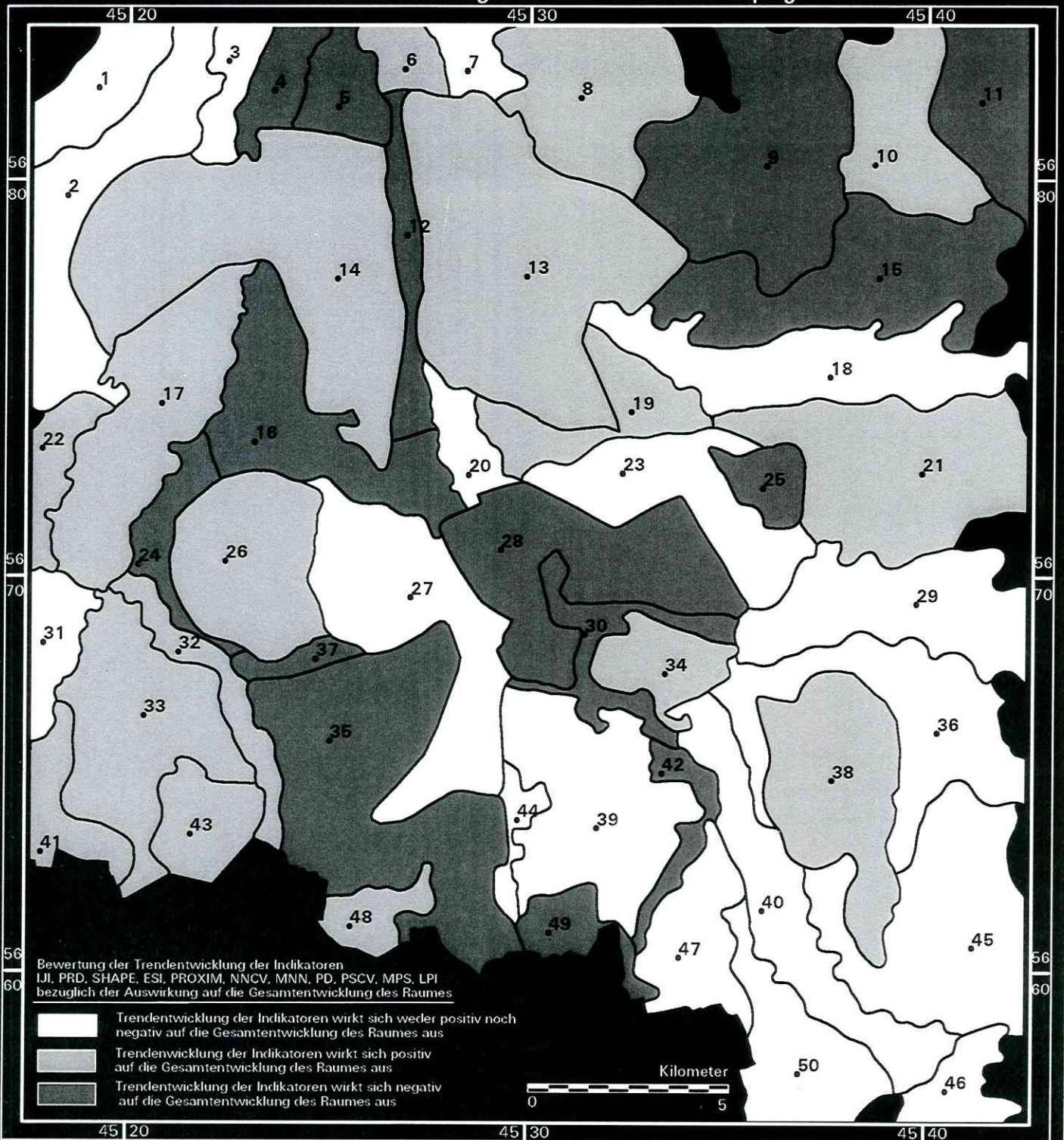
---

<sup>56</sup> Nächste Seite – Abb. 58: Bewertung der Trendentwicklung der Landschaftsstrukturmaße bezüglich der Auswirkungen auf die Landschaftsentwicklung des Südraumes Leipzig - Mikrogeochoren



# Bewertung der Trendentwicklung der Indikatoren bezüglich der Auswirkung auf die Gesamtentwicklung des Raumes

## Raumeinheiten - Mikrogeochoren - Südraum Leipzig



Bewertung der Trendentwicklung der Indikatoren  
IJI, PRD, SHAPE, ESI, PROXIM, NNCV, MNN, PD, PSCV, MPS, LPI  
bezüglich der Auswirkung auf die Gesamtentwicklung des Raumes

- Trendentwicklung der Indikatoren wirkt sich weder positiv noch negativ auf die Gesamtentwicklung des Raumes aus
- Trendentwicklung der Indikatoren wirkt sich positiv auf die Gesamtentwicklung des Raumes aus
- Trendentwicklung der Indikatoren wirkt sich negativ auf die Gesamtentwicklung des Raumes aus

<p>1 Rehbacher Moränen-Platte</p> <p>2 Knautnaundorfer Schotter-Moränen-Ebene</p> <p>3 Knautkleberger Elster-Aue</p> <p>4 Alltagebau Cospuden</p> <p>5 Zöbiger Moränen-Platte</p> <p>6 Markkleeberger Pleiße-Aue</p> <p>7 Leipzig-Lößniger Talhang</p> <p>8 Stötteritz-Liebertwolkwitzer Moränen-Platte</p> <p>9 Oberholz-Großbösaer Moränen-Platte</p> <p>10 Köhraer Moränen-Ebene</p> <p>11 Nautnauder Moränen-Ebene</p> <p>12 Gaschwitz-Böhlener Kohlepfleiler</p> <p>13 Alltagebau Espenhain</p>	<p>14 Tagebau Zwenkau</p> <p>15 Belgershainer Moränen-Platte</p> <p>16 Zwenkau-Böhlener Moränen-Ebene</p> <p>17 Zwenkauer Elster-Aue</p> <p>18 Göselbach-Rinne</p> <p>19 Röthaer Moränen-Ebene</p> <p>20 Röthaer Pleiße-Aue</p> <p>21 Stockheimer Moränen-Platte</p> <p>22 Pegauer Löß-Platte</p> <p>23 Espenhainer Moränen-Ebene</p> <p>24 Audigaster Moränen-Ebene</p> <p>25 Halke Trages</p> <p>26 Alltagebau Peres</p>	<p>27 Lippendorf-Neukientzcher Moränen-Ebene</p> <p>28 Alltagebau Witznitz</p> <p>29 Eulerer Flachriedel und Täler</p> <p>30 Großzössener Kohlepfleiler</p> <p>31 Pegauer Elster-Aue</p> <p>32 Schnauder-Tal</p> <p>33 Groitzscher Löß-Hügelgebiet</p> <p>34 Alltagebau Großzössen</p> <p>35 Tagebaue Schleenhain-Haselbach</p> <p>36 Fürstenholz-Moränen-Platte</p> <p>37 Pödelwitzer Kohlepfleiler</p> <p>38 Alltagebau Bockwitz-Borna-Ost</p> <p>39 Alltagebau Deutzen-Regis-Breitungen-Borna</p>	<p>40 Borna-Frohburger Wyhra-Tal</p> <p>41 Pautzcher Löß-Hügelgebiet</p> <p>42 Bornaer Kohlepfleiler</p> <p>43 Alltagebau Groitzscher Dreieck</p> <p>44 Deutzener Kohlepfleiler</p> <p>45 Neukirchen-Nenkersdorfer Moränen-Hügelgebiet</p> <p>46 Köhraer Löß-Hügelgebiet</p> <p>47 Alltagebaue Neukirchen-Thräna-Kraft</p> <p>48 Schnauder-Tal</p> <p>49 Pleiße-Gerstenbach-Weitung</p> <p>50 Wyhra-Eschefeldler Moränen-Platte</p>
--	--	--	---



### 9.3 Zusammenfassung zum Monitoring von Biotop- und Landschaftsstrukturen im Südraum Leipzig

- *Aufgrund der hohen räumlichen Heterogenität der Tagebaulandschaft erweist sich die Klassifikation von Land-Cover-Klassen Offenland mit geringem Anteil an Vegetation (Pioniervegetation), Offenland mit einem hohen Anteil (Ruderalvegetation) sowie Ruderalvegetation mit Gehölzen als schwierig. Für die Untersuchungen zum Landschaftsmonitoring wurden daher einerseits spektral gut erfaßbare und andererseits die raumcharakterisierenden Klassen Gehölze, Laubwald, Vegetationsloses Offenland (Tagebau), Wasser sowie z.T. Bebauung bzw. Grün- und Ackerland einbezogen.*
- *Die Satellitenbilddaten SPOT-XS bieten die Möglichkeit unter Einsatz multitemporaler Analysen die Veränderungen der Landbedeckung hinreichend genau durchzuführen.*
- *Unter Einsatz von SPOT-XS-Daten ist die zeitliche und räumliche Rekonstruktion der Dynamik der Biotop- und Landschaftsstruktur möglich. Durch den Einsatz der Planungsunterlagen für das Jahr 2020 konnten Aussagen über den gegenwärtigen Zustand hinaus zur Biotop- und Landschaftsstruktur des Raumes gemacht werden.*
- *Die Fernerkundungsdaten des Sensors SPOT-XS stellen mit den Land-Cover-Klassifikationen eine wichtige Datengrundlage zum Monitoring der Landschaft des Südraumes Leipzig dar.*
- *Es können vergleichsweise zu Luftbilddaten relativ schnell und kostengünstig aktuelle Informationen zur Landbedeckung des Untersuchungsraumes für unterschiedliche Zeitschnitte gewonnen werden.*
- *Die Untersuchungen mit Satellitenbilddaten liefern einen sehr guten Gesamtüberblick der Tagebaulandschaft sowie einen hohen Informationsgehalt zur Flächenbilanz des Gesamttraumes.*
- *Die Klassifikation der SPOT-XS-Daten unterschiedlicher Zeiten erlaubt die Erfassung multitemporaler Veränderungen sowie ablaufender Prozesse (natürliche Sukzessionsentwicklung, Flutung der Tagebaue) der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig.*
- *Anhand der Erfassung der Veränderungen der Klassen und Landschaftselemente lassen sich quantitative Aussagen über den Erfolg sowie Etablierung der forstwirtschaftlichen Rekultivierung sowie von Vegetationsbeständen machen. Fernerkundungsdaten stellen ein wichtiges methodisches Hilfsmittel zur Kontrolle der Ziele der Raumordnung und Landesplanung in der Tagebaulandschaft dar.*
- *Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß unter Einhaltung notwendiger Normierungen sowie Rahmenbedingungen, Bilddaten unterschiedlicher Zeiten für das Monitoring der Tagebaulandschaft eingesetzt werden können.*
- *Das Monitoring der Landschaft sollte neben den traditionellen Verfahren wie der Erfassung flächenhafter Anteile an Biotop- und Nutzungsstrukturen sowie Untersuchungen zur Dichte, die Erfassung und Quantifizierung der Raumstrukturen mittels Landschaftsstrukturmaßen enthalten.*
- *Durch den Einsatz verschiedener Verfahren zum Monitoring wird die Einbeziehung eines breiten Spektrums landschaftsbezogener Merkmale garantiert, die eine sachlich konkrete raumzeitliche Einschätzung der Veränderungen der Landschaft ermöglicht.*



- *In einer heterogenen Landschaft, wie sie der Südraum Leipzig darstellt, vollziehen sich landschaftliche Veränderungen regional sehr unterschiedlich. So existieren stark dynamische Bereiche der Tagebaulandschaft in enger Verbindung mit umliegenden wenig dynamisch sich entwickelnden, vorrangig agrarisch geprägten Landschaften. Dies hat zur Folge, daß Aussagen zur Entwicklung des Gesamttraumes nur einen gemittelten sowie stark generalisierten Charakter haben. Regional unterschiedliche Entwicklungstrends heben sich gegenläufig auf und können zu Fehlansagen führen.*
- *Hieraus zeigt sich die Notwendigkeit der Anwendung eines hierarchischen Ansatzes der Analyse raum-zeitlicher Veränderungen auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus. Quantitative sowie qualitative Aussagen zur raum-zeitlichen Änderung von Biotop- und Landschaftsstrukturen des Südraumes Leipzig führen erst bei Untersuchungen mit einem kleinen Raumbezug (z.B. Mikrogeochoren) zu regionalspezifischen Aussagen.*
  - Ebene 1: Landschaft Südraum Leipzig*
  - Ebene 2: Landschaft Typenhauptgruppen der Mikrogeochoren*
  - Ebene 3: Landschaft jeder einzelnen Mikrogeochore*
- *Die hier vorgestellten Verfahren zum Monitoring von Landschaftselementen, Klassen sowie der Gesamtlandschaft stellen in Abhängigkeit vom Maßstab, der notwendigen raum-zeitlichen sowie klassenspezifischen Aussageschärfe eine gute Grundlage zur Untersuchung und Beantwortung folgender Fragestellungen dar:*
  - a) Welche Veränderungen zeigen die Landschaft, die Klasse sowie die Landschaftselemente von 1990 bis 2020 für die Tagebaulandschaft?*
  - b) In welchen Räumen zeigen die Landschaftsstrukturen eine hohe Dynamik, einen Trend in der Entwicklung (positiv / negativ) bzw. eine nur sehr geringe Veränderung hinsichtlich der untersuchten Landschaftsstrukturmaße?*
  - c) Welche Landschaftsstrukturen verändern sich raum-zeitlich meßbar?*
  - d) Welche Landschaftsstrukturmaße können als Indikatoren der Veränderung der Tagebaulandschaft gelten?*
  - e) Wie ist die eingeschlagene und sich vollziehende raumstrukturelle Entwicklung der Landschaftselemente, Klasse sowie Gesamtlandschaft des Südraumes Leipzig zu bewerten?*



## 10 Einsatz von Landschaftsstrukturmaßen für die Bewertung der Landschaftszerschneidung

In der Auseinandersetzung mit dem Thema Zerschneidung und Fragmentierung von Landschaften wurde auf deren Bedeutung hinsichtlich Arten- und Biotopschutz, Erhalt großräumiger unzerschnittener Lebens- und Erholungsräume bereits im Kap. 8.1 (S. 66) hingewiesen.

In der vorliegenden Analyse wird sich an die Begriffsdefinition der „Zerschneidung“ nach Grau (1998, S. 428) angelehnt, die besagt: „Zerschneidungen sind linienhafte Landschaftsstrukturen oder Materieströme, von denen Barriere- Emissions- oder Kollisionseffekte auf die Landschaftsstrukturen oder Materieströme ausgehen“. Gegenstand der Untersuchungen sind somit lineare Landschaftsstrukturen (Verkehrsnetz), die als Zerschneidungsstrukturen der Landschaft fungieren.

Ein verstärktes Bewußtsein zur Bedeutung von Zerschneidung und Fragmentierung der Landschaft zeigt sich in der Zunahme von Analysen zur Zerschneidung der Landschaft in der Raum- und Umweltplanung. Leider wird auch zunehmend ersichtlich, daß neben einer nur geringen Vergleichbarkeit der verwendeten Methodik (vgl. Grau 1998, Siedentop 1999) verstärkt Landschaftsstrukturmaße verwendet werden, die die landschaftsstrukturelle Zustandsgröße – Zerschneidung der Landschaft durch das Verkehrsnetz – nur einseitig abbilden.

Folgende Indikatoren finden zur Beschreibung und Charakterisierung der Zerschneidung der Landschaft durch das Verkehrsnetz häufig Anwendung (vgl. Tab. 19, S. 147):

Tab. 19: Häufig Verwendung findende Indikatoren zur Beschreibung und Charakterisierung der Zerschneidung der Landschaft

Indikator / Synonyme	Charakteristika	Literatur
Absolute/Relative Flächengrößen, Mindestflächengrößen, Störungsarme Innenflächen, Inselgröße	Ermittlung der Flächengrößen (absolut, relativ), die nicht vom Verkehrsnetz zerschnitten sind. Das LSM leitet sich von der sogenannten Inseltheorie (McArthur) ab.	Fischbacher (1995)
<b>Vorteile</b>	- schnell erfaßbar und auf unterschiedliche Bezugseinheiten auswertbar - guter Vergleich möglich, da Normierung auf Flächengröße möglich	
<b>Nachteile</b>	- Unempfindlich gegenüber der Geometrie der Insel	
Verkehrsnetzlänge / ha (Verkehrsnetzdichte)	Erfassung der Länge des Verkehrsnetzes pro gewählter Raumeinheit	Fischbacher (1995)
<b>Vorteile</b>	- LSM ist leicht zu erheben - Normierung ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit - häufig verwendete Einheiten Verkehrsnetzlänge /ha /km <sup>2</sup>	
<b>Nachteile</b>	- die Geometrie der zerschnittenen Flächen spielt keine Rolle (z.B. drei parallel verlaufende Straßen in einem engen und weiten Abstand besitzen den gleichen Wert, haben aber unterschiedliche ökologisches Wirkung	
Maße der Distanz des Verkehrsnetzes, (Abgeschiedenheit, Mittlere freie Weglänge)	Untersuchung der Distanz von einem Punkt zur nächstgelegenen Straße	Fischbacher (1995)
<b>Vorteile</b>	- Distanzmaße bieten die Möglichkeit der Untersuchung der Stärke der menschlichen Beeinflussung bzw. der Lärmbelastung	
<b>Nachteile</b>		



Aus der Verwendung dieser Indikatoren ergeben sich hinsichtlich der Abbildung der Zerschneidung der Landschaft folgende Probleme:

- Die Geometrie der zerschnittenen Flächen wird nicht bzw. nur ungenügend in den Analysen berücksichtigt.
- Die Distanz zwischen den Verkehrswegen spielt häufig keine Rolle
- Der Typ des Verkehrsnetzes (Hauptstraße, Nebenstraße, Gleisanlagen) findet keine Berücksichtigung.
- Der Anteil des Verkehrsweges an der betroffenen (benachbarten) Fläche bleibt unberücksichtigt.

Zielstellung dieser Teiluntersuchung ist es, Landschaftsstrukturmaße zu bestimmen, mit deren Hilfe eine Charakterisierung, Quantifizierung und somit Bewertung der Zerschneidung der Landschaft durch das Verkehrsnetz möglich ist. Der Ansatz gründet sich auf die Auswertung der raumstrukturellen Eigenschaften der *Land-Cover*-Klassifikation (SPOT-XS) des Südraumes Leipzig für den Zeitschnitt 1994. In Verbindung mit den Zusatzinformationen der Biotoptypenkartierung Sachsens 1993 (Verkehrsnetz) stellt dieser Datensatz die Grundlage der Ableitung raumstruktureller Merkmale der Landschaft dar.

Es wurde ein Set von Maßen erarbeitet, die die Defizite der bereits in Tab. 19 (S. 147) genannten Landschaftsstrukturmaße verringern sollen. Anhand dieser Maße wird im einzelnen das Ausmaß der Beeinträchtigung der Landschaft durch das Verkehrsnetz ermittelt und nachfolgend durch Summierung der Einzelkomponenten eine Gesamtbewertung (vgl. Abb. 62, S. 155) des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen (auch *Patches* oder Landschaftselemente) – durchgeführt.

Nachfolgend werden einige Maße, die in die Bewertung eingehen können, vorgestellt.

### **Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (VFKI) bzw. Bebauungs/Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (BVFKI)**

Der Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (*VFKI*, vgl. Abb. 59, S. 152) stellt ein Maß dar, welches erstmalig hier vorgestellt wird. Innerhalb dieses Landschaftsstrukturmaßes wurden zwei wichtige Teilkomponenten – Typ des Verkehrsnetzes sowie der Anteil des Verkehrsnetzes an jeder Fläche berücksichtigt:

- a) *Typ des Verkehrsnetzes (Bundesstraße, Sonstige Straße, Wirtschaftsweg, Gleisanlagen), der die Flächen der Landschaft beeinträchtigt:* Die Typisierung des Verkehrsnetzes erfolgte durch die Vergabe von Wichtungsgrößen, die in Abhängigkeit von der Stärke der zu erwartenden Beeinflussung bestimmt wurden. Folgende Wichtungen wurden vorgenommen:



Tab. 20: Wichtungsgrößen für die Bestimmung der Landschaftsstrukturmaße *Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (VFKI)* sowie *Bebauungs/Verkehrsnetz/Flächen-Kontrast-Index (BVFKI)*

Verkehrsnetztyp	Beeinträchtigung in (%)	Wichtungsgrößen*
Bundesstraße, (Bebauung):	100 %	1,0
Sonstige Straße	80 %	0,8
Wirtschaftsweg, Gleisanlagen	60 %	0,6

(\*Wichtungsgrößen: Wichtungsgrößen liegen zwischen 0 (geringste Wichtung) und 1 (stärkste Wichtung)

Neben der Analyse des Einflusses des Verkehrsnetzes in die Bewertung kann auch die Bebauung als Beeinträchtigungsfaktor mit einbezogen werden (*Bebauungs/Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (BVFKI)*, vgl. Abb. 60, S. 153). Für die vorliegende Untersuchung wurde nur das Verkehrsnetz zur Bewertung herangezogen.

b) *Anteil des Verkehrsnetzes an der betrachteten Fläche:* Hierbei wird der Anteil, den das Verkehrsnetz an einer Fläche einnimmt, in die Quantifizierung einbezogen. Wird eine Fläche vollständig vom Verkehrsnetz eingeschlossen, kommt es zur Zunahme der Beeinträchtigung.

Die Berechnung des *Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (VFKI)* erfolgte auf der Grundlage des bereits im Kap. 6.2.2 (S. 41) beschriebenen *Edge contrast index (EDCON)*.

Eine wichtige Datengrundlage für die Bestimmung des *Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (VEKI)* stellt das Verkehrsnetz der Biotoptypenkartierung Sachsens (1993) dar. Aufgrund des Erfassungsmaßstabes der Biotoptypenkartierung Sachsens von 1 : 10 000 wurde das Verkehrsnetz in Bebauungsgebieten nicht vollständig digital erfaßt. Hieraus ergeben sich für die Quantifizierung des *Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (VEKI)* in Bebauungsgebieten datenbedingte Fehler.

### **Nächste Nachbarschaft von Verkehrsflächen bezogen auf den Rastermittelpunkt / 100 ha**

Die Einbeziehung unterschiedlicher Distanzmaße zur Abschätzung der Stärke der Beeinflussung des Verkehrsnetzes auf Flächen findet sich bereits in den Arbeiten von Fischbacher (1995). Davon ausgehend, wurde für die vorliegende Untersuchung die Distanz der nächstliegenden Verkehrsfläche, bezogen auf den Rastermittelpunkt jeder Rasterzelle, mit einer Größe von 100 ha bestimmt. Der Rastermittelpunkt stellt hierbei nur einen pro Flächenheit normierten Ausgangspunkt der Analyse dar. Es wurden nicht nur das Verkehrsnetz innerhalb der Rasterzelle von 100 ha ermittelt, sondern die Distanz bis zum nächstliegenden Verkehrsnetz bestimmt. Nachfolgend wurde diese Distanzwerte der 100 ha – Rasterzelle zugeordnet (vgl. Abb. 61, S. 154).



## Verkehrsnetzdicke / 100 ha

Die Erfassung der Verkehrsnetzdicke pro Raumeinheit ist ein Indikator, der häufig Anwendung findet und aufgrund der Normierung gute Vergleichsmöglichkeiten bietet. Für den Südraum Leipzig wurde die Verkehrsnetzdicke, bezogen auf eine Fläche von 100 ha, bestimmt.

## Shape index

Der *Shape index* ermöglicht die Quantifizierung der Formkomplexität der Landschaft. Wie bereits in Kap. 9.1.3.3 (S. 110) beschrieben, besteht nach Untersuchungen von Burgess & Sharpe (1981), Forman & Godron (1986), Krummel et al. (1987), Urban et al. (1987), O'Neill et al. (1988), Turner & Ruscher (1988), Bastian & Schreiber (1994) ein möglicher Zusammenhang zwischen der Form und Geometrie von Einzelflächen der Landschaft und der Intensität menschlicher Beeinflussung. So können anhand dieses Landschaftsstrukturmaßes, die durch das Verkehrsnetz entstehenden Formen der Biotop- und Flächennutzungsstrukturen quantifiziert werden und nachfolgend in die Gesamtbewertung mit einfließen.

Die genannten vier Landschaftsstrukturmaße gehen als quantitative Maße in die Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf die umliegenden Flächen für den Südraum Leipzig (1994) ein. Die Bewertung erfolgte durch einfache Summierung der normierten Landschaftsstrukturmaße. Die hierbei festgelegten Faktoren sind der Tab. 21 (S. 150) zu entnehmen:

Tab. 21: Faktoren zur Untersuchung der Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf die umliegenden Flächen (*Patches*)

Eingangsgrößen	Der Einfluß des Verkehrsnetzes auf die umliegenden Flächen ist:		
	gering	mittel	hoch
Nächste Nachbarschaft von Verkehrsflächen bezogen auf den Rastermittelpunkt (Raster 100 ha)	Entfernung hoch (>300 Meter)	Entfernung mittel (>100-300 Meter)	Entfernung gering (>0-100 Meter)
Verkehrsnetzdicke / 100 ha (Raster 100 ha)*	Verkehrsnetzdicke gering (0-3%)	Verkehrsnetzdicke mittel (>3-8%)	Verkehrsnetzdicke hoch (>8-30%)
<i>Shape index</i> * (Patchebene)	<i>Shape index</i> hoch (>6)	<i>Shape index</i> mittel (>3-6)	<i>Shape index</i> gering (>0-3)
Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (Patchebene)	<i>VFKI</i> gering (0-20%)	<i>VFKI</i> mittel (>20-40%)	<i>VFKI</i> hoch (>40-100%)

(\* dimensionslos)

Landschaftsstrukturen stellen wichtige quantitative Größen dar, die in landschaftsökologische Bewertungen wie beispielsweise – Untersuchungen zum Zerschneidungsgrad der Landschaft – mit eingehen sollten. Anhand der vorliegenden Untersuchung werden erstmalig zwei Landschaftsstrukturmaße (*Shape index*, *VFKI*) in die Bewertung der Zerschneidung der Landschaft



des Südraumes Leipzig einbezogen, die einerseits die Formkomplexität der LE berücksichtigt sowie andererseits den Verkehrsnetztyp sowie den Anteil des Verkehrsnetzes an der Fläche quantitativ mit berücksichtigt.

Die Zerschneidung der Landschaft kann anhand nur eines Landschaftsstrukturmaßes nur einseitig beschrieben werden. Es macht sich daher ein Set von Maßen erforderlich, wodurch unterschiedliche Komponenten der Beeinflussung (Entfernung, Form und Geometrie, Verkehrsnetztyp, Anteil an der Fläche) berücksichtigt werden (vgl. Abb. 61, S. 154).

Die Untersuchungen zur Zerschneidung der Landschaft des Südraumes Leipzig zeigen deutlich, daß insbesondere die Tagebaubereiche einer nur geringen Beeinflussung durch das bestehende Verkehrsnetz unterliegen. Diese Flächen bieten aufgrund ihrer Großräumigkeit und noch relativ geringen Beeinflussung bzw. Zerschneidung und Fragmentierung eine hohe ökologische Wertigkeit. Neben diesen Bereichen wurden für den Südraum Leipzig auch Flächen hoher Beeinflussung durch das Verkehrsnetz ermittelt (Altindustriestandorte wie Espenhain und Borna).

Die Einbeziehung des Verkehrsnetzes in die Bewertung stellt einerseits eine gute Ausgangsbasis zur Bewertung der Zerschneidung dar, es finden jedoch andererseits lokale Störgrößen durch das Verkehrsnetz in der Analyse keine Berücksichtigung. So wird in der Bewertung der Zerschneidungsgrad *der Land-Cover-Klasse* Wald beispielsweise überbewertet. Die Bewertung sollte daher durch weiterführende Untersuchungen wie punktuelle Lärmmessungen erweitert werden, um lokale Aussagen zum Einfluß des Verkehrsnetzes auf Land-Cover-Klassen bzw. Biotope integrieren zu können. Diese Untersuchungen wurden jedoch nicht durchgeführt, da sie den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würden.

---

<sup>57</sup> Nächste Seite – Abb. 59: Verkehrsnetz – Flächen – Kontrast-Index (patch-level) – Südraum Leipzig – 1994 – SPOT-XS

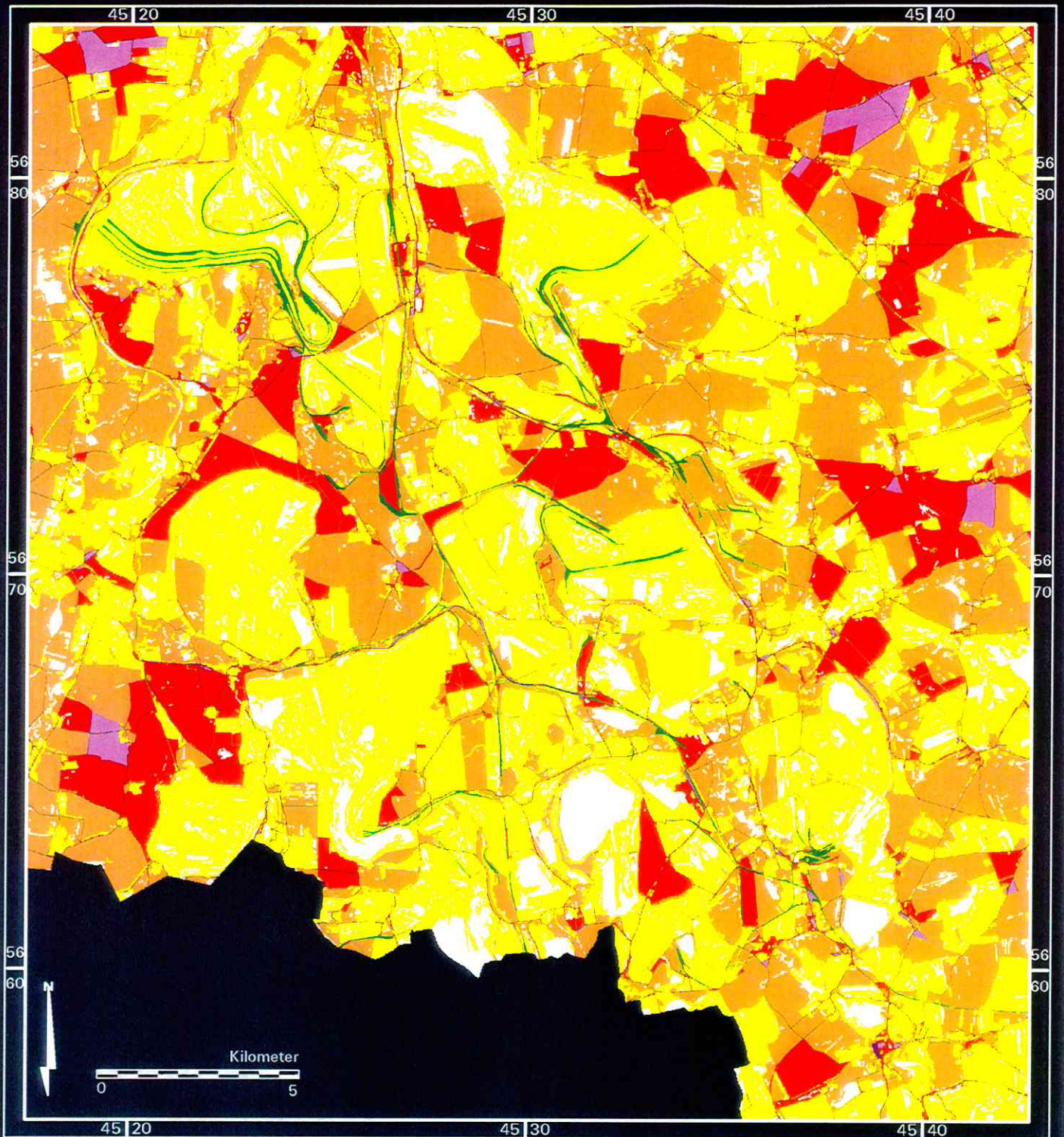
<sup>58</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 60: Bebauungs/Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast-Index (patch-level) – Südraum Leipzig – 1994 – SPOT-XS

<sup>59</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 61: Eingangsgrößen zur Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen – Südraum Leipzig - 1994

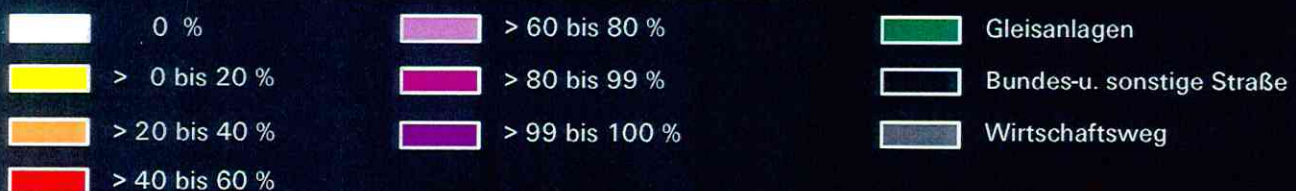
<sup>60</sup> Nachfolgende Seite – Abb. 62: Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen – Südraum Leipzig - 1994




# Verkehrsnetz - Flächen - Kontrast (patch-level) Südraum Leipzig - 1994 - Spot-XS



Verkehrsnetz - Flächen - Kontrast (patch-level)  
 Untersuchung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf Einzelflächen (patches)  
 durch Integration der Komponenten Art und Begrenzungsanteil des Verkehrsnetzes  
 Die Angaben beziehen sich auf den Maximalkontrast der Landschaft

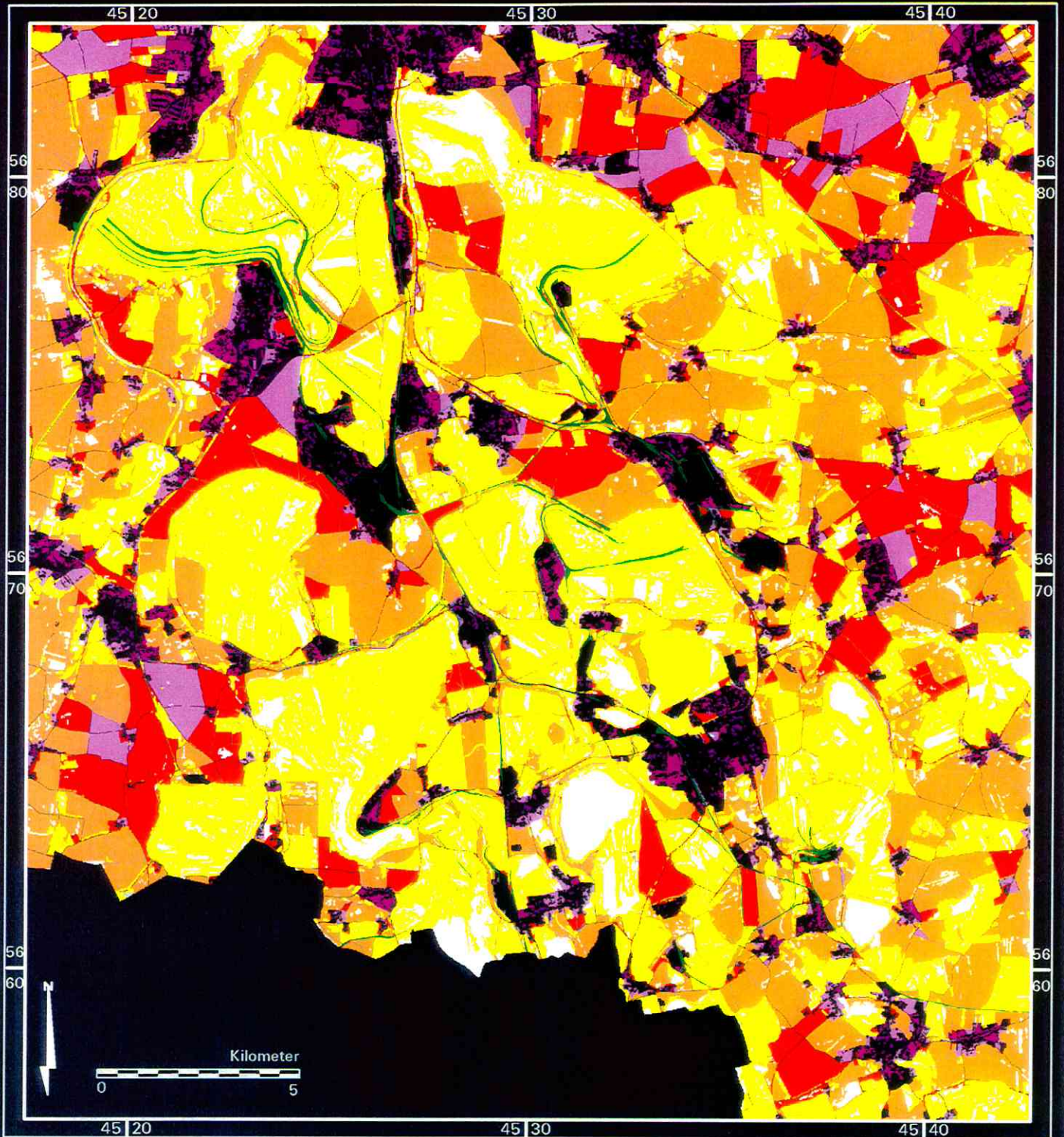


 Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
 Sektion Angewandte Landschaftsökologie  
 Bildverarbeitung und Kartographie:  
 Dipl.-Biol. Angela Lausch

Datengrundlagen:  
 Spot-XS (25.06.1994),  
 Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypen-  
 kartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
 - Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul




# Bebauungs/Verkehrsnetz - Flächen - Kontrast (patch-level) Südraum Leipzig - 1994 - Spot-XS



Bebauungs/Verkehrsnetz - Flächen - Kontrast (patch-level)  
 Untersuchung des Einflusses des Verkehrsnetzes und der Bebauung auf Einzelflächen (patches)  
 durch Integration der Komponenten Art und Begrenzungsanteil des Verkehrsnetzes sowie  
 Begrenzungsanteil der Bebauung  
 Die Angaben beziehen sich auf den Maximalkontrast der Landschaft



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

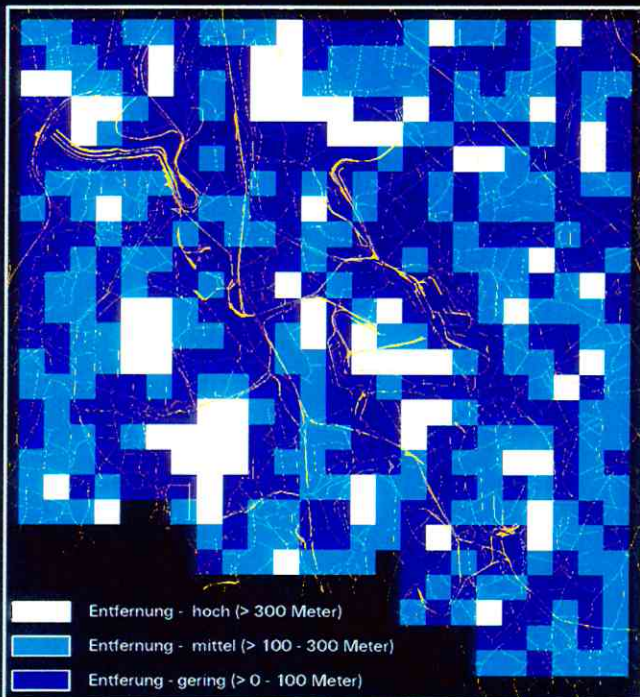
Datengrundlagen:  
 Spot-XS (25.06.1994),  
 Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypen-  
 kartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
 - Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul



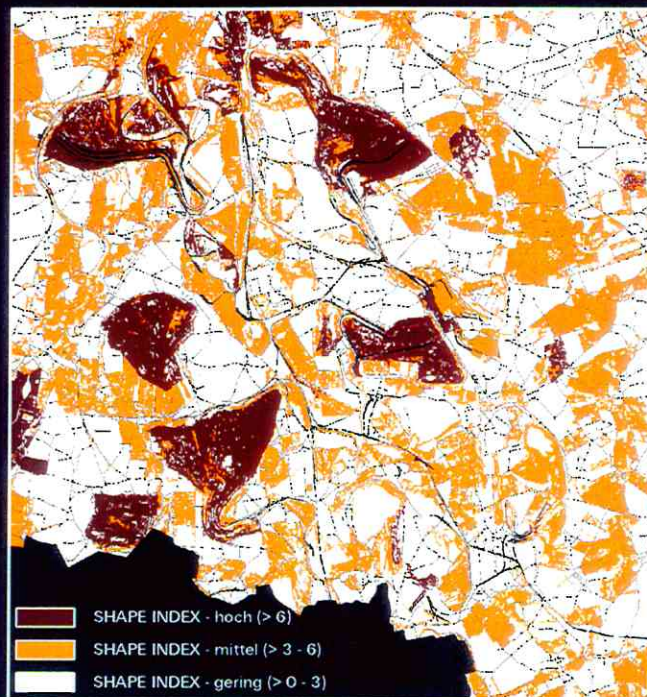
# Eingangsgrößen zur Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen

## - Südraum Leipzig - 1994

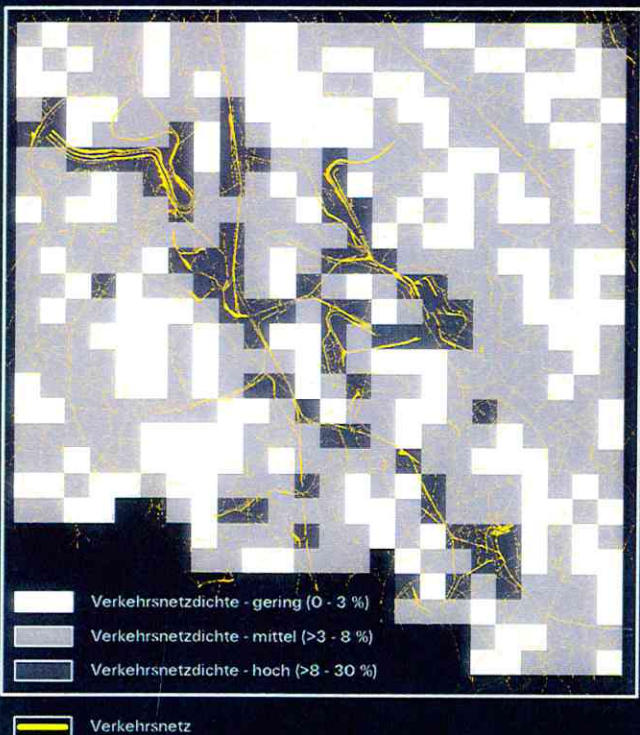
Nächste Nachbarschaft von Verkehrsflächen bezogen auf den Rastermittelpunkt / 100 ha



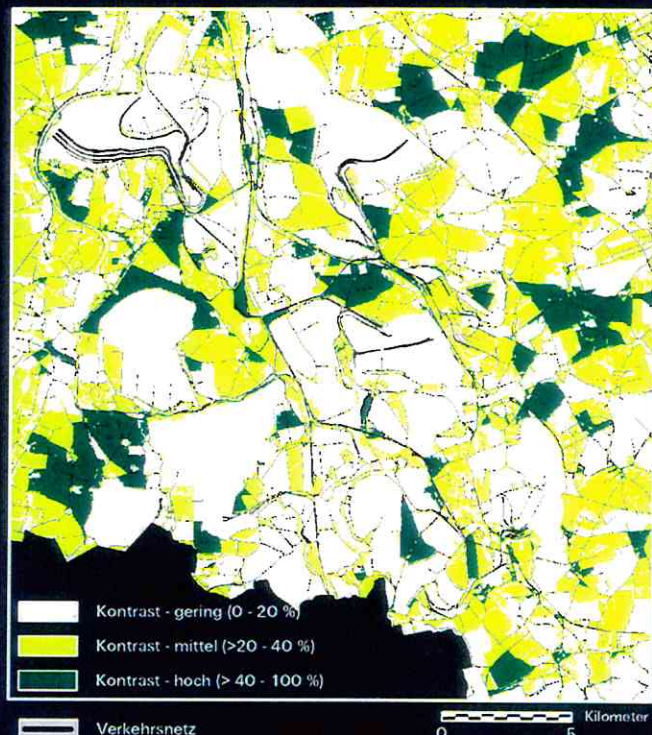
Shape-Index (patch-level)



Verkehrsnetzdicke / 100 ha



Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast (patch-level)



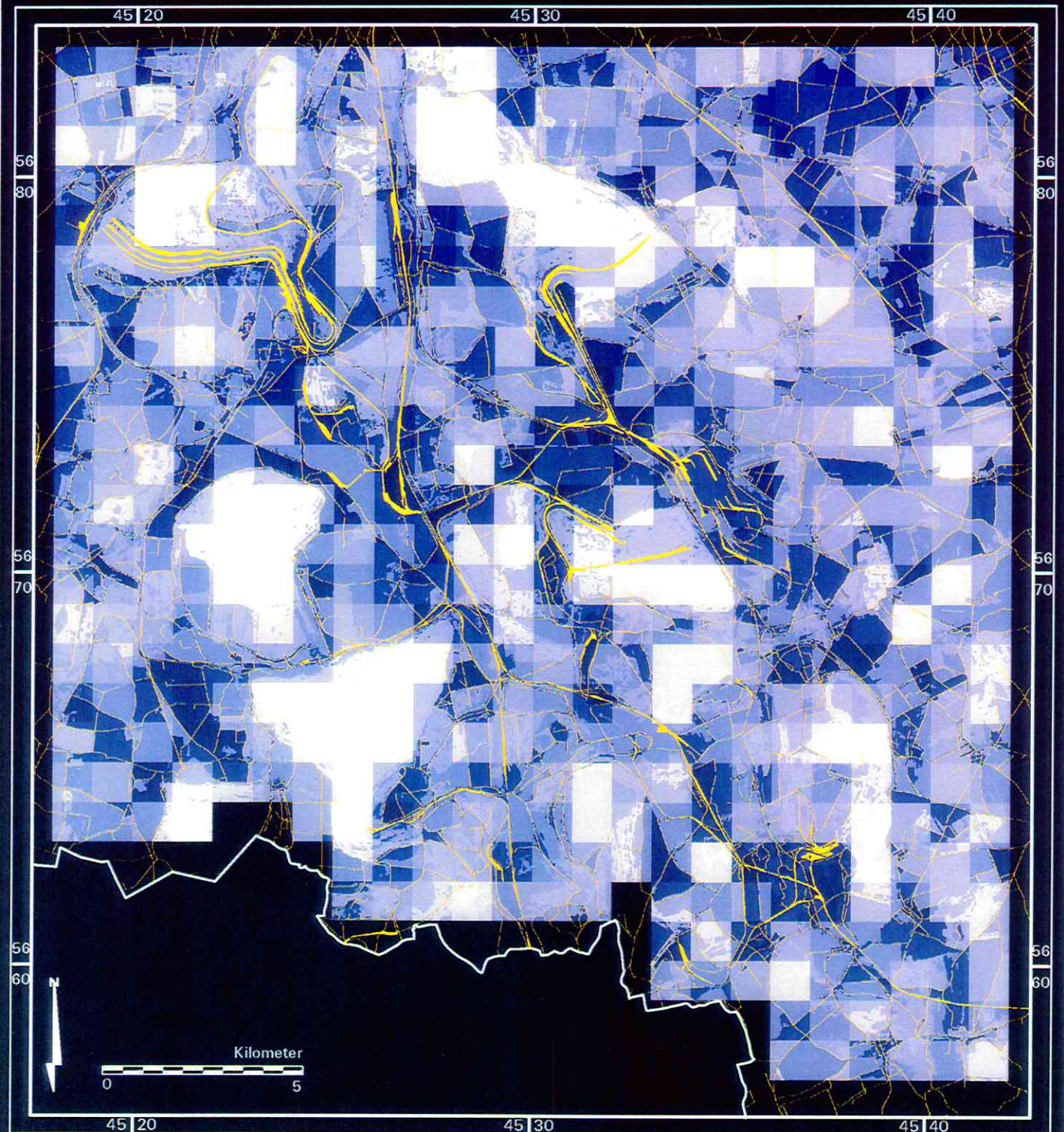
Datengrundlagen:  
 Spot-XS (25.06.1994),  
 Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
 - Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul,  
 Eingangsgrößen der Bewertung:  
 - Nächste Nachbarschaft von Verkehrsflächen bezogen auf Rastermittelpunkte  
 - Shape-Index  
 - Verkehrsnetzdicke / 100 ha  
 - Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast



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



# Bewertung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf umliegende Flächen - Südraum Leipzig - 1994



Untersuchung des Einflusses des Verkehrsnetzes auf die umliegenden Flächen (dimensionslos)



Verkehrsnetz

Datengrundlagen:  
 Spot-XS (25.06.1994),  
 Integration des Verkehrsnetzes aus der Biotoptypenkartierung Sachsen 1993 (angepaßt an 1994)  
 - Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul,  
 Eingangsgrößen der Bewertung:  
 - Nächste Nachbarschaft von Verkehrsflächen bezogen auf Rastermittelpunkte  
 - Shape-Index  
 - Verkehrsnetzdichte / 100 ha  
 - Verkehrsnetz-Flächen-Kontrast



## 11 Probleme im Einsatz der Fernerkundung zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen

Der Einsatz von Methoden zur raumstrukturellen Erfassung einer Landschaft wird durch Faktoren eingeschränkt, welche die Erfassung von Landschaftselementen sowie die Ableitung von LSM qualitativ und quantitativ so beeinflussen können, daß fehlerhafte Bewertungen resultieren. Im Einzelnen handelt es sich um:

### Fernerkundungsspezifische Probleme:

- Die digitale Erfassbarkeit von Landschaftselementen steht in engem Zusammenhang mit der spektralen Empfindlichkeit und geometrischen Auflösung der verwendeten Sensoren (Moody & Woodcock 1995, Qi & Wu 1996, Baruth 1998).
- Die Mischpixelproblematik bringt in Abhängigkeit von der Rasterzellgröße (Haberäcker 1985) Probleme bei der digitalen Erfassung kleinräumiger und linearer Landschaftselemente, wodurch das Muster bzw. die Zerschneidung der Landschaft durch Fernerkundungsdaten nur unzureichend wiedergegeben wird (Lausch & Menz 1999).
- Die Quantität nur weniger Landschaftsstrukturmaße ist unabhängig vom Erfassungsmaßstab sowie von der gewählten Rasterzellgröße (Wickham & Riiters 1995, Rami 1997).
- Unterschiedliche phänologische Stadien führen zu unterschiedlichen Klassen bzw. Klassenaggregationen.
- Die Auswahl der Klassen richtet sich vornehmlich nach den spektral erfassbaren Land-Cover-Klassen der verwendeten Sensoren und nicht vorrangig nach der Fragestellung, wodurch populationsökologische Untersuchungen hinsichtlich der Beziehungen zu LSM erschwert werden.
- Es erfolgt eine Erfassung der Landbedeckung (*Land-Cover*) und nicht der *Landnutzung* (*Land-Use*).
- Fehlklassifikationen bewirken quantitative Änderungen der LSM.
- Es kommen unterschiedliche Prozesse (Eliminate, Filtermethoden) bei der Eliminierung von Kleinstflächen und Einzelpixeln zur Anwendung.
- In den Randbereichen eines Untersuchungsgebietes werden *Patches* teilweise zerschnitten.

### Rasterdatenspezifische Probleme:

- Die Raumeinheit *Patch* ist nur selten die optimale Bezugseinheit landschaftsökologischer Forschung (Diskrepanz zu Raumeinheiten wie Habitat, Biotop).
- Die Abgrenzung der kleinsten Bezugseinheiten *Patches* erfolgt unterschiedlich.
- Aufgrund der Rasterverarbeitung kommt es zu unterschiedlichen systematischen Fehleinschätzungen der Grenzlänge bzw. Überschätzung von Linienlängen (McGarigal & Marks 1994).
- Bei Verwendung unterschiedlicher Rasterzellgrößen zur Untersuchung von Landschaftsindizes ergeben sich quantitative Unterschiede der Landschaftsstrukturmaße (Wickham & Riiters 1995, Qi & Wu 1996, Rami 1997, Lausch 1999a, 1999b).



## 12 Zusammenfassung und Ausblick

Die Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig erwies sich für die Analyse der Biotop- und Landschaftsstruktur sowie Analysen zum Landschaftsmonitoring als sehr gutes Untersuchungsgebiet.

Strukturelle Merkmale der terrestrischen Landbedeckung sind in komplexer Weise mit einer Vielzahl von Funktionen in direkter oder indirekter Weise verknüpft. Somit lassen sich durch die Gewinnung von Informationen zur Landschaftsstruktur Aussagen über den Zustand sowie die Dynamik der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig ableiten. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die **Erkennbarkeit und digitale Erfassung von Oberflächenstrukturen der Bergbaufolgelandschaft** mit Fernerkundungsdaten und -methoden wurde in der vorliegenden Arbeit umfassend untersucht, diskutiert und dargestellt. Für die Erfassung der Biotop- und Landschaftsdiversität der Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig ist die digitale Erfassung der Biotop- und Landschaftsstrukturen erforderlich. So wurde die Erkennung, Erfassung und digitale Abgrenzung von Landschaftselementen sowie Biotop- und Landnutzungsstrukturen unter Anwendung unterschiedlicher Datenprodukte für den Südraum Leipzig getestet. Es zeigte sich, daß aufgrund geometrischer, spektraler, radiometrischer sowie temporaler Eigenschaften der Sensoren die Differenzierungstiefe der Oberflächenstrukturen unterschiedlich ausfällt. Eine starke Differenzierung der Oberflächenbedeckung erweist sich nur für Analysen und Auswertungen innerhalb eines Zeitschnittes als sinnvoll. Es konnte desweiteren der Nachweis erbracht werden, daß die bildgebenden Eigenschaften der untersuchten Fernerkundungsdatenprodukte zur Erfassung insbesondere linearer Landschaftselemente nur unzureichend sind. So ist die Integration von Zusatzdaten eine notwendige Voraussetzung für Untersuchungen zum Landschaftsmonitoring sowie der Quantifizierung von Landschaftsstrukturen mittels Landschaftsstrukturmaßen (LSM).

Bei den **Untersuchungen zu wichtigen Rahmenbedingungen für das Monitoring sowie der Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen durch Landschaftsstrukturmaße** standen die spezifische Betrachtung des Einflusses unterschiedlicher Rasterzellgrößen, die Wahl von Daten unterschiedlichen Datenursprunges (Raster/Vektor), die Frage der realitätsgetreuen Abbildung der Biotop- und Landschaftsstrukturen durch das klassifizierte Satellitenbild sowie die Analyse des Einflusses von Phänologie und Nutzungsänderungen landwirtschaftlicher Kultur- und Fruchtarten innerhalb eines Jahres im Vordergrund. Anhand der Ergebnisse konnte der Nachweis erbracht werden, daß die klassifizierten Satellitenbilddaten zu Untersuchungen des Landschaftsmonitorings sowie der Quantifizierung der Biotop- und Landschaftsstrukturen mittels Landschaftsstrukturmaße nur geeignet sind, wenn notwendige Rahmenbedingungen hierfür beachtet werden.

Das **Landschaftsmonitoring der Tagebaulandschaft** für den Südraum Leipzig mit Fernerkundungsmethoden wurde umfassend untersucht und diskutiert. Es konnte gezeigt werden, daß einerseits die Nutzung nur eines Sensortyps (SPOT-XS) sowie andererseits die Verwendung nur spektral gut erfaßbarer sowie raumcharakterisierender Klassen zu inhaltlich guten Ergebnissen im Landschaftsmonitoring führt. So wurden nur die Klassen Gehölze, Laubwald, Vegetationsloses



Offenland (Tagebau), Wasser sowie z.T. Bebauung und Grün- und Ackerland in alle nachfolgenden Analysen einbezogen. Die Einbeziehung von multitemporalen Datensätzen (SPOT-XS 1990, 1994, 1996) sowie von Zusatzdaten (Entwicklungskonzeption Landschaft für das Jahr 2020) erlaubt die Erfassung von Prozeßverläufen der Landschaftsentwicklung. Hieraus ist die zeitliche und räumliche Rekonstruktion der Dynamik der Tagebaulandschaft mit den enthaltenen Biotop- und Landschaftsstrukturen möglich. Zur Durchführung des Landschaftsmonitorings wurden traditionelle Methoden der Flächenbilanzierung und Dichteanalysen mit neuen methodischen Ansätzen der Quantifizierung von Landschaftsstrukturen mittels Landschaftsstrukturmaßen verknüpft. In den Untersuchungen wurde der Nachweis erbracht, daß die Bergbaufolgelandschaft neben einer hohen zeitlichen Veränderung insbesondere eine hohe regionale Differenzierung aufweist. Als entscheidend erwies sich die Anwendung eines hierarchischen Ansatzes des Landschaftsmonitorings. So konnten einerseits Aussagen zur zeitlichen Gesamtentwicklung des Südraumes Leipzig getroffen werden sowie andererseits raumspezifische und regionale Entwicklungstrends und Tendenzen herausgearbeitet werden. Letzteres ist für die Beantwortung von Fragen zum lokalen Handlungsbedarf sehr wichtig.

**Anwendung und Weiterentwicklung des Einsatzes von Landschaftsstrukturmaßen als Indikatoren zur Quantifizierung der Landschaftsstruktur sowie für das Landschaftsmonitoring.** Landschaftsstrukturmaße können als Indikatoren gelten, durch die das Muster, die Zusammensetzung sowie die Komposition und Konfiguration der Biotop- und Landschaftsstruktur des Südraumes Leipzig in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Scalen beschrieben, charakterisiert und quantifiziert werden konnte. Die Vielseitigkeit der raumstrukturellen Änderungen machte die Einbeziehung von Flächen- Kanten- und Formmaßen, Maßen der Nächsten-Nachbarschaft, der Diversität und Verteilung zur Charakterisierung der Änderungen von Biotop- und Landschaftsstrukturen erforderlich. Neben gängigen Landschaftsstrukturmaßen wurden spezifische Maße für die horizontale Schichtung entwickelt, getestet und angewendet. Die Untersuchungen zeigen, daß nicht ein Landschaftsstrukturmaß allein sondern nur ein Set von Maßen geeignet ist, die Dynamik der Biotop- und Landschaftsstrukturen der Tagebaulandschaft quantitativ zu erfassen und zu beschreiben. Auch hier erwies sich der hierarchische Ansatz der Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen unterschiedlicher Aggregationsebenen zum Erhalt flächenkonkreter Aussagen als richtungsweisend.

Die Anwendung unterschiedlicher methodischer Verfahren sowie räumlicher Erfassungs- und Bezugsebenen stellt eine wichtige Grundlage für das Landschaftsmonitoring der Bergbaufolgelandschaft dar. So können anhand der vorliegenden Arbeit folgende Aussagen getroffen werden zu:

- a) Veränderungen der Landschaft, der Klassen sowie Landschaftselemente von 1990 bis 2020 für die Tagebaulandschaft des Südraumes Leipzig
- b) Regionaler Differenzierung für die Biotop- und Landschaftsstrukturen hinsichtlich der untersuchten Landschaftsstrukturmaße von 1990 bis 2020
- c) Positiven und negativen Trends, Schwankungen (Fluktuation) sowie der Stagnation von Landschaftsstrukturmaßen im Zeitraum von 1990 bis 2020
- d) Meßbaren raum-zeitlichen Veränderungen in den Landschaftsstrukturen
- e) Benennung der Landschaftsstrukturmaße, die als Indikatoren der Veränderung der Tagebaulandschaft gelten können



- f) Bewertung der sich vollziehenden raumstrukturellen Entwicklung der Landschaftselemente, Klasse sowie Gesamtlandschaft hinsichtlich der Gesamtentwicklung des Südraumes Leipzig

Eine Zusammenfassung hierzu findet sich am Ende der Kapitel 9.1 (S. 81), 9.2 (S. 124) sowie 9.3 (S. 145).

**Übertragbarkeit der Untersuchungen auf andere Räume;** Die in der Arbeit erarbeitete Methodik zur Erfassung der Biotop- und Landschaftsdiversität in unterschiedlichen Raum- und Zeitscalen dürfte auf andere Räume übertragbar und vergleichbar sein, wenn jeweils gleiche Rahmenbedingungen eingehalten sowie gleiche Klassen erfaßt und verwendet werden.

Mit der Erfassung, Beschreibung und Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen eröffnet die Arbeit **Ausblicke** für

- a) ein integratives ganzheitliches Landschaftsmonitoring,
- b) die Durchführung von Landschaftsbewertungen,
- c) die Ableitung von Aussagen zum Landschaftspotential sowie zu Landschaftsfunktionen sowie
- d) die Durchführung von Untersuchungen zur Habitat- und Populationsdynamik in strukturierten Landschaften.

In der Arbeit konnte gezeigt werden, daß die Satellitenbilddauswertung ein nicht nur methodisch wichtiges Werkzeug zur raum-zeitlichen Erfassung der Landbedeckung darstellt, sondern darüber hinaus die Grundlage für die Erfassung und Quantifizierung von Biotop- und Landschaftsstrukturen bildet, die wiederum Eingang in weitergehende Analysen und Modelle finden.



### 13 Literatur

- Albertz, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: Eine Einführung in die Fernerkundung. - Darmstadt, Wiss. Buchges., 205 S..
- Altmoos, M. (1999): Systeme von Vorranggebieten für den Tierarten-, Biotop- und Prozeßschutz: Auswahlmethoden unter Einbeziehung von Habitatmodellen für Zielarten am Beispiel der Bergbaufolgelandschaft im Südraum Leipzig.- Diss. Univ. Leipzig 1999, 244 S., (eingereicht).
- Arndt, U., Nobel, W., Schweitzer, B. (1987): Bioindikation – Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. – Ulmer-Verlag, Stuttgart, 388 S.
- Backhaus, R. (1995): Interpretation von Verteilungsmustern terrestrischer Vegetation. – In: Backhaus, R., Grunewald, A. (Hrsg): Umwelt und Fernerkundung: Was leisten integrierte Geo-Daten für die Entwicklung und Umsetzung von Umweltstrategien? Wichmann Verlag, Heidelberg, 1. Aufl., S. 107-109.
- Backhaus, R., Thier, R. (1995): Strukturanalyse in Agrarlandschaften. – In: Backhaus, R., Grunewald, A. (Hrsg): Umwelt und Fernerkundung: Was leisten integrierte Geo-Daten für die Entwicklung und Umsetzung von Umweltstrategien? Wichmann Verlag, Heidelberg, 1. Aufl., S. 110-152.
- Barr, D.J. (1982): Application of remote sensing to subsidence detection at a coal mine. – In: Remote Sensing for Resource Management, Iowa, pp. 347-361.
- Barsch, H., Söllner, R., Steinhardt, U. (1993): The development of forest damage - Control and prognosis on the basis of remote sensing data. - Geo Journal, Vol. 32 (1).
- Barthel, H. (1960): Das Borna-Meuselwitzer Braunkohlenrevier in Vergangenheit und Gegenwart. - Sächsische Heimatblätter, Heft 4/1960 und Heft 6/1960.
- Baruth, B. (1998): Satellitendaten für den Natur- und Artenschutz. - Geographische Rundschau 50 (2), S. 84-88.
- Bastian, O., Bernhardt, A. (1993): Anthropogenic landscape changes in Central Europe and the role of bioindication. – Landscape Ecology 8(2), S. 193-151.
- Bastian, O., Schreiber, K.-F. (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. - Gustav Fischer Verlag Jena, 1. Aufl., 502 S.
- Beer, W. (1955): Beiträge zur Kenntnis der pflanzlichen Wiederbesiedlung von Halden des Braunkohletagebaus im nordwestsächsischen Raum. - Wiss. Z. Karl-Marx-Uni. Leipzig 5, S. 207-211.



- Beer, W.-D. (1964): Die Vogelwelt des Braunkohlenbergbaugeländes im Süden von Leipzig. – Abhandlungen und Berichte aus dem Staatlichen Museum für Tierkunde in Dresden 26, S. 305-317.
- Beer, W.-D. (1984): Die Hochhalde Espenhain nach 25 Jahren – ein Vergleich von Vegetationsentwicklung und Brutvogelbestand. – Actitis 23, S. 43-49.
- Bellmann, A. (1996): Die Bedeutung der naturschutzrelevanten Zonen im Tagebau Borna-Ost/Bockwitz für den Arten- und Biotopschutz. - Konzeption zur Entwicklung eines Naturschutzgebietes unter besonderer Beachtung natürlicher Sukzessionsflächen. – unveröffentlichte Diplomarbeit, Martin-Luther-Univ. Halle 1996, 97 S.
- Berkner, A. (1996): Braunkohlenbergbau im Südraum Leipzig. - In: : Kulturstiftung Leipzig und Stadt Leipzig, Städtisches Vermessungsamt (Hrsg.): Meßpunkt Leipzig, Leipziger Blätter Sonderheft, S. 88-91.
- Berkner, A. (1998): Naturraum und ausgewählte Geofaktoren im Mitteldeutschen Förderraum – Ausgangszustand, bergbauliche Veränderungen, Zielvorstellungen. – In: Pflug, W. (Hrsg.) Braunkohlentagebau und Rekultivierung: Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Berlin, Springer, S. 767 – 779.
- Bick, H. (1982): Bioindikation und Umweltschutz. – Decheniana, Beih. 26, S. 2-5.
- Birger, J., Gläser, C., Herrmann, B., Tischew, S. (1998): Multisensoral and multitemporal remote sensing of ecological damage caused by open-cast lignite mining in Central Germany. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXXII, Part 7, Budapest, pp. 71-77.
- Blaschke, T. (1997): Landschaftsanalyse und –bewertung mit GIS. Methodische Untersuchungen zu Ökosystemforschung und Naturschutz am Beispiel der bayerischen Salzachauen. – Forschungen zur deutschen Landeskunde, Verlag der Deutschen Akademie für Landeskunde, Bd. 243, Trier, 320 S.
- Blume, H.-P., Sukopp, H. (1976): Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. - Schr.-R. f. Vegetationskunde, S. 246-247.
- Bobeck, H., Schmithüsen, J. (1949): Die Landschaft im logischen System der Geographie. – Erdkunde 3, S. 112-120.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J. (1984): Classification and regression trees. - Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.
- Brüning, E.; Unger, H., Dunger, W. (1965): Untersuchungen zur Frage der biologischen Aktivierung alttertiärer Rohbodenkippen des Braunkohlentagebaues in Abhängigkeit von



Bodenmelioration und Rekultivierung. - Sonderdruck aus Zeitschrift für Landeskultur, Band 6, Heft 1, Akademie-Verlag Berlin.

Burgess, R.L., Sharpe, D.M. (1981): Forest island dynamics in man-dominated landscapes. - Springer Verlag, New York.

Burger, R. (1992): Einbeziehung von Geoinformation und Geowissen in die Klassifikation von Satellitenbildern mit Hilfe eines evidenztheoretischen Ansatzes. – In: Rickert, W.-F., Günther, Ol. (Hrsg.): Wissensbasierte Methoden zur Fernerkundung der Umwelt. Wichmann Verlag, Karlsruhe, 216 S.

Burnside, N.G., Smith, R., Waite, S., Watson, N.M. (1998): Analysis of land change on the South Downs, United Kingdom. – In: Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): Key concepts in landscape ecology. IALE (UK), Preston, pp. 123-129.

Cale, P.G., Hobbs, R.J. (1994): Landscape heterogeneity indices: problems of scale and applicability, with particular reference to animal habitat description. - Pacific Conservation Biology 1, pp. 183-193.

Carrel, J.E. (1978): Remote measurements of vegetative cover in surface mines. – Proceedings of the Twelfth Int. Symposium on Remote Sensing of the Environment, Michigan, pp. 1653-1664.

Cocer, A.E. (1977): The application of remote sensing technology to assess the effects of monitor change in coal mining in Eastern Tennessee. – Proceedings of the First Annual William Symposium, Falls Church., pp. 173-176.

Collins, G.W. (1991): Monitoring environmental quality: derelict and degraded land survey. – Proceedings of the Conference on Remote Sensing of the Environment, London, pp. 95-105.

Darmer, G. (1971): Ökologisches Leitbild zur Rekultivierung schwieriger Standorte und Substrate des Tagebaus. - Landschaft und Stadt, 3, S. 174-180.

Donath, H. (1990): Zur Entomofauna von Tagebaurandzonen in der nordwestlichen Niederlausitz. – Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 64, S. 69-72.

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

Dorsch, H. Dorsch, I. (1989): Analyse der Entwicklung von Vegetation und Avifauna in Tagebaugebieten bei Leipzig. – Dissertation, Institut für Landschaftsforschung und Naturschutz, Halle, 124 S.

Dramstad, W.E., Fjellstad, W.J., Fry, G.L.A. (1998): Landscape indices – useful tools or misleading numbers? – In: Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): Key concepts in landscape ecology. IALE (UK), Preston, pp. 123-129.



- Dunker, B. (1991): Eignung visueller Satellitenbild-Auswertungen für die Erfassung der Entwicklung und Rekultivierung von Braunkohlentagebauen, untersucht an Landsat-TM-Szenen des Raumes Halle/Leipzig. – unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Univ. München, 58 S.
- Durka, W., Altmooß, M. (1997a): Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen. - UFZ-Bericht 22/1997, Leipzig, 209 S.
- Durka, W., Altmooß, M. (1997b): Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft als Teil einer nachhaltigen Landschaftsentwicklung. – In: Ring, I. (Hrsg.) Nachhaltige Entwicklung in Industrie- und Bergbauregion – Eine Chance für den Südraum Leipzig? Stuttgart, Leipzig, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, S. 52 – 72.
- Durka, W., Altmooß, M., Lausch, A., Henle, K. (1996): Landschaftsentwicklung und Biotopgestaltung in der Bergbaufolgelandschaft. Bedeutung von Bergbaufolgelandschaften für den Naturschutz unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen. - Abschlußbericht 1996 an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 174 S.
- Durka, W., Altmooß, M., Henle, K. (1997): Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen. - UFZ-Bericht 22/1997, Leipzig, 209.
- Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" (1995): Mehr Zukunft für die Erde. Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz. - Schlußbericht, Bonn.
- EPA (1994): Environmental Protection Agency: Landscape Monitoring and Assessment Research Plan. U.S.EPA 620/R-94/009, Oak Ridge, 53 p.
- Fiedler, H.J., Große, H., Lehmann, G., Mittag, M. (1996): Umweltschutz. – G. Fischer Verlag, Jena-Stuttgart.
- Finke, L. (1978): Landschaftsökologie – was sie ist, was sie will, was sie kann. - Umschau 78, S. 563-571.
- Finke, L. (1994): Landschaftsökologie. - Westermann Verlag, Braunschweig, 232 S.
- Fischbacher, U. (1995): Wie kann man die Zerschneidung einer Landschaft messen? - Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaftsökologie 226, S. 5-6.
- Forman, R. T. T., Godron, M., (1986): Landscape Ecology.- 1. Aufl., Wiley and Sons, New York, 619 p.



- Franklin, J.F., Forman, R.T.T. (1987): Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles.- *Landscape Ecology* 1, pp. 5-18.
- Frohn, R. (1998): *Remote Sensing for Landscape Ecology*.
- Gardner, R.H.; Milne, B.T.; Turner, M.G.; O'Neil, R.V. (1987): Neuronal models for the analysis of broad-scale landscape pattern. - *Landscape Ecology* 1, pp. 19-28.
- Gardner, R.H., O'Neil, R.V. (1991): Pattern, process, and predictability: The use of neutral models for landscape analysis. – In: Turner, M.G., Gardner, R.H. (eds.): *Quantitative methods in landscape ecology*. Springer Verlag, *Ecological Studies*, Vol. 82, pp.289-309.
- Gardner, R.H., O'Neill, R.V., Turner, M.G. (1993): Ecological implications of landscape fragmentation.- In: S.T.A. Pickett & M.J. McDonnell (eds.): *Humans as components of ecosystems: Subtle human effects and the ecology of populated areas*. New York, pp. 208-226.
- Gasper, P. (1997): *Landschaftsmaße zur Bestimmung der räumlichen Strukturen in klassifizierten Satellitenbildern – Auswertung von CORINE-Bodenbedeckungsdaten für die neuen Bundesländer – unveröffentlichte schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt, Sekundarstufe II, Bonn, 77 S.*
- Gong, P. Howarth, P: (1990): The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56 (1), pp. 67-73.
- Grau, S. (1998): *Überblick über Arbeiten zur Landschaftszerschneidung sowie zu unzerschnittenen Räumen in der Bundes-, Landes- und Regionalplanung Deutschlands. – Natur und Landschaft* 10, S. 427-434.
- Gründler, P. (1930): *Beiträge zur Ökologie und Soziologie der oberschlesischen Haldenflora. - Mitt. d. Beuthener Geschichts- und Museumsvereins* 13/14, S. 233-249.
- Gulinck, H., Walpot, O., Janssens, P. (1993): Landscape structural analysis of central Belgium using Spot-data. –In: Young, R.H., Green, D., Cousins, S. (eds.): *Landscape Ecology and GIS*, London, Taylor and Francis, pp.129-139.
- Gustafson, E. J., Parker, G.R. (1992): Relationship between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. - *Landscape Ecology* 7(2), pp. 101-110.
- Günther, O., Riekert, W.-F. (1992): *Wissensbasierte Methoden zur Fernerkundung der Umwelt*. Wichmann, Karlsruhe.
- Gutte, P. (1995): *Beitrag zur Gehölzsukzession in der Braunkohlen-Folgelandschaft südlich von Leipzig. – Schriftenreihe für Vegetationskunde* 27, S. 119-126.



- Haase, G. (1996): Geotopologie und Geochorologie – Die Leipzig-Dresdner Schule der Landschaftsökologie. – In: Haase, G., Eichler, E., (Hrsg.): Wege und Fortschritte der Wissenschaft. - Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Akademie Verlag, S. 201-229.
- Haase, G. (1988): Leipziger Land. - In: Bernhardt, A.; Haase, G.; Mannsfeld, K.; Richter, H. Schmidt, R.(Hrsg.): Naturräume der sächsischen Bezirke. Sächsische Heimatblätter, Sonderdruck aus den Heften 4 u. 5, Dresden.
- Haase, G., Mannsfeld, K (1987): Konzeption und Beispielarbeiten für eine 'Naturraumtypen-Karte der DDR im mittleren Maßstab 1:500 000/1:200 000' ('Projekt NTK'). – In: Heinzmann, G., (Hrsg.): Naturraumerkundung und Landnutzung. Beiträge zur Geographie, Akademie Verlag, Bd. 34, S. 143-191.
- Haber, W. (1979): Theoretische Anmerkungen zur „ökologischen Planung“. - Sonderdruck aus Gesellschaft für Ökologie, Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Münster, Bd. VII 1979, S. 19-30.
- Haber, W. (1996): Die Landschaftsökologen und die Landschaft. – Berichte der Reinhardt Thüxengesellschaft 8, S. 297-309.
- Haberäcker, P. (1987): Digitale Bildverarbeitung: Grundlagen und Anwendungen. – 1. Aufl., Carl Hanser Verlag München, Wien, 377 S.
- Halverson, H.G. (1988): High-altitude photography to evaluate coal mine reclamation. – Proceedings of the Second Forest Service Remote Sensing Applications Conference, Falls Church., pp. 360-365.
- Hamazaki, T. (1996): Effects of *Patch* shape on the number of organisms. - Landscape Ecology 11(5), pp. 299 - 306.
- Hanf, M. (1937): Die natürliche pflanzliche Erstbesiedlung von Abraumhalden. - Zeitschr. Naturw. Ver. Sachsen und Thüringen 91 (2), S.35-56.
- Hanf, M. (1939): Angewandte Botanik. 21, S. 149-176.
- Hansen, J.A., Castri, F.d. (Hrsg., 1992): Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows. – Springer Verlag, New York, 452 S.
- Hansson, L., Fahrig, L., Merriam, G. (Hrsg., 1995): Mosaic landscapes and ecological processes. – Chapman & Hall, London, 355 p.
- Hawrot, R., Niemi, G.J. (1996): Effects of edge type and *Patch* shape on avian communities in a mixed conifer-Hardwood forest. - The Auk, Vol. 113 (3), pp. 586-598.



- Haines-Young, R.H., Bunce, B. (1994): Remote sensing, land classification and environmental survey. –In: Delbaere, B., Gulinck, H. (eds.): Remote sensing in landscape ecological mapping, IRSA JRC European Commission, pp.3-29.
- Haines-Young, R. Chopping, M. (1996): Quantifying landscape structure: A review of landscape indices and their application of forested landscapes. – In: Progress in Physical Geography, 20(4), pp. 418-446.
- Heinz, V. (1999): Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig. – Diss., TU-Berlin, UFZ-Bericht 7/1999, 235 S.
- Herz, K. (1974): Strukturprinzipien in der Landschaftssphäre. Ein Beitrag zur Methodologie der physischen Geographie. – Geogr. Ber. 71, S. 100-108.
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Thulke, H.-H., Steinhardt, U., Lehmann, S. (1999): Landscape metrics for the assessment of landscape destruction and rehabilitation. – Environmental Management (in press).
- Herzog, F., Lausch, A. (1999): Prospects and limitations of the application of landscape metrics for landscape monitoring. -In: Maudsley M., Marshall J. (eds.) Heterogeneity in Landscape Ecology: Pattern and Scale. Aberdeen, IALE(UK), pp. 41 – 50.
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Thulke, H.-H. (1999): Das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen – Fallstudie Espenhain. Workshop „Landschaftsstruktur“ vom 28.10.1998, Dresden, Schriftenreihe des Institutes für ökologische Raumentwicklung, Bd. 29, S. 93-107.
- Hildebrandt, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung. - Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1. Aufl., 676 S.
- Hoffmann-Kroll, R., Seibel, S., Wirthmann, A. (1998): Strukturveränderungen in Landschaften und Ökosystemen als Indikator der Umweltqualität. – In: Fränze, O., Müller, F., Schröder, W. (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung, Landsberg am Lech, Kap. VI-2.6.
- Hönsch, F. (1992): Der Leipziger Südraum – eine Region im Wandel. - Geographische Rundschau, 44, S. 592-599.
- Höser, N. (1993): Naturschutz im Tagebau Zechau: eine Neuheit. - Mauritiana 12, S. 569-573.
- Hoover, S.R.; Parker, A.J. (1991): Spatial components of biotic diversity in landscapes of Georgia, USA. - Landscape Ecology, 5 (3), pp. 125-136.



- Hovestadt T., Röser, J., Mühlenberg, M. (1991): Flächenbedarf von Tierpopulationen. – Berichte aus der ökologischen Forschung 1, Forschungszentrum Jülich, 277 S.
- Howard, J.A., Schade, J. (1982): Towards a standardized hierarchical classification of vegetation for remote sensing. – FAO Bull. 2 Remote Sensing Series, Rom.
- Hulshoff, R. M. (1995): Landscape indices describing a dutch landscape. - Landscape Ecology 10(2), pp. 101-111.
- Hunsaker, D.T., O'Neill, R.V., Jackson, B., Timmins, S.P., Levine, D.A., Norton, D.J. (1994): Sampling to characterize landscape pattern. – Landscape Ecology 9, pp. 207-226.
- Izrael, J. A. (1990): Ökologie und Umweltüberwachung. - VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 336 S.
- Jalas, J., (1955): Hemerobe und hemechore Pflanzenarten. Ein terminologischer Reformversuch. - Acta Fauna Flora Fenn, 72 (11), pp. 1-15.
- Jentsch, H. (1994): Das Naturschutzgebiet Sukzessionslandschaft Nebendorf. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 1/1994, S. 29-32.
- Jonson, I.D., Fahrig, L. (1997): Response of generalist and specialist insect herbivores to landscape spatial structure. - Landscape Ecology 12, pp. 185-197.
- Jung, R. (1995): Der Braunkohlebergbau südlich von Leipzig. Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten zur Erfassung und Klassifizierung von Tagebauen und Rekultivierungsflächen. – unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut der Lulius-Maximilians-Univ. Würzburg, 92 S.
- Kasperidus H.D., Lausch, A. (1998): Geographische Informationssysteme. - 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-Halle-Bitterfeld, UFZ-Bericht 2/1998, S. 53-63.
- Kendall, M., & Ord, J. K. (1990): Time series (3rd ed.). – London, Griffin.
- Kenny, J.F. (1982): Remote sensing investigation in the coal fields of southern Kansas. – Remote Sensing of Resource Management, Iowa, pp.338-346.
- Kienast, F. (1993): Analysis of historic landscape patterns with a geographical information system - A methodological outline. - Landscape Ecology, 8(2), pp. 101 - 118.
- Klaus, D. (1998): Spezielle naturschutzfachliche Aspekte. – In: Pflug, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung, Springer, Berlin, Heidelberg, S. 900-915.



- Klaus, D., Krug, H. (1993): Lebensräume aus zweiter Hand – Landschaften nach der Kohle. – Broschüre der MIBRAG, Bitterfeld, 23 S.
- Koch, B., Werder, U. (1998): Detecting and describing landscape structures in the palatine nature park using remote sensing. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXXII, Part 7, Budapest, pp. 370-375.
- Kraus, K. (1988): Fernerkundung, Bd. 1, Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. – Dümmler Verlag, Bonn,
- Krönert, R. (1986): Investigation of landscape by remote sensing. – Internat. train. course Landscape ecology, Leipzig, S. 62-70.
- Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; O'Neill, R.V.; Coleman, P.R. (1987): Landscape patterns in a disturbed environment. - Oikos 48, pp. 321-324.
- Krug, H., Klaus, D., Bott, U., Bellmann, A. (1997): Neue Räume für Pflanzen und Tiere. – In: Sächsische Akademie für Natur und Umwelt (Hrsg.): Naturschutz in Bergbauregionen, Dresden, S. 99-124.
- Kuhn, W. (1997): Flächendeckende Analyse ausgewählter ökologischer Parameter. Bewertung von Habitateignung und -isolation mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems. – Dissertation, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart, 212 S.
- Lam, N.S.N. (1990): Description and measurement of Landsat-TM images using fractals. - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56 (2), pp.187-195.
- Lam, N.S.N., Quattrochi, D.A. (1992): On the issues of scale, resolution and fractal analysis in the mapping sciences. - Professional Geographer 44, pp. 88-98.
- Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Arten- und Naturschutz (Hrsg.1994): Biotoptypenkartierung Sachsen, Stand 1993, 1 : 10 000, Radebeul.
- Landauer, G., Voß, H.-H. (1989): Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. – Abschlußdokumentation, Oberpfaffenhofen.
- Lassen, D. (1990): Unzerschnittene verkehrsarme Räume über 100 km<sup>2</sup> - eine Resource für die Erholung. – Natur und Landschaft 65 (6), S. 326-330.
- Lauga, J.; Joachim, J. (1992): Modelling the effects of forest fragmentation on certain species of forest-breeding birds. - Landscape Ecology 6(3), pp. 183-194.
- Lausch, A. (1999a): Möglichkeiten und Grenzen der Einbeziehung von Fernerkundungsdaten zur Analyse von Indikatoren der Landschaftsstruktur - Beispielregion Südraum Leipzig. - In:



- Steinhardt, U., Volk, M. (Hrsg.): Regionalisierung in der Landschaftsökologie, B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig, S. 162-180.
- Lausch, A. (1999b): Raumzeitliche Analysen von Landschaftsstrukturen der Tagebaufolgelandschaft – Südraum Leipzig – mit Fernerkundungsmethoden. – In: uve GmbH (Hrsg.): Proceedings des Kolloquiums ‘Umwelt und Fernerkundung’ anlässlich der ILA 1998 in Berlin.
- Lausch, A. (1999c): Raumstrukturmaße in der Tagebaufolgelandschaft ‚Südraum Leipzig‘ – Durchführung von Monitoring und Bewertungsansätzen. Workshop „Landschaftsstruktur“ vom 28.10.1998, Dresden, Schriftenreihe des Institutes für ökologische Raumentwicklung, Bd. 29, S. 77–93.
- Lausch, A. (1999d): Strukturelle Biotopausstattung als Auslöser für Stoffeinträge im Einzugsgebiet der Pleiße. Analyse der Entwicklung der Bergbaufolgelandschaft mit Methoden der Geoinformation. – UFZ-Bericht 1999 (im Druck).
- Lausch, A. (1999e): Methodik zur Erkundung der Biotop- und Landschaftsdiversität in der Braunkohletagebaufolgelandschaft mit Fernerkundungsmethoden. – Abschlußbericht DARA GmbH, FKZ 50 EE 95 12, 250 S.
- Lausch (1999f): Flächenmonitoring in der Bergbaufolgelandschaft „Südraum Leipzig“ als Grundlage raum-zeitlicher Änderungsanalysen von Biotop- und Flächennutzungsstrukturen. – In: Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie, 27. Sept. - 1. Okt. 1999 in Rostock, (im Druck).
- Lausch A., Bellmann A. (1997): Zur Realisierung nachhaltiger Naturschutzstrategien mit Hilfe der Geoinformation: Tagebau Borna-Ost/Bockwitz - Vom Tagebau zum Naturschutzgebiet? - In: Ring, I. (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung im Südraum Leipzig, B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig, S. 73-92.
- Lausch, A., Bellmann, A. (1998): Tagebau Borna-Ost/Bockwitz - Ansätze zur Durchführung eines Monitoring in der Bergbaufolgelandschaft. - 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-Halle-Bitterfeld, UFZ-Bericht 2/1998, S. 153-169.
- Lausch, A., Herzog, F. (1999): Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. - Proceedings of the 2. International Conference INDEX 99 „Indices and Indicators of sustainable development“, 11<sup>th</sup> – 16<sup>th</sup> July 1999 in St. Petersburg, Russia, Ecological Modelling.
- Lausch, A., Menz, G. (1999): Bedeutung der Integration linearer Elemente in Fernerkundungsdaten zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen. – PFG 3, S. 185-194.



- Lausch, A., Krönert, R., Herzog, F. (1999): Landscape diversity in the brown coal mining region South of Leipzig by means of remote sensing and GIS application. - Proceedings of the Conference „DGPF“ 28. April 1999 in Halle.
- Lawrence, R.L., Ripple, W.J. (1996): Determining patch perimeters in raster image processing and geographic information systems. – In: *International Journal of Remote Sensing*, 17(6), pp. 1255-1259.
- Luque, S.S., Lathrop, R.G., Bognar, J.A. (1994): Temporal and spatial changes in an area of the New Jersey Pine Barrens landscape. - *Landscape Ecology*, 9(4), pp. 287-300.
- Legg, C.A. (1990): Application of remote sensing to environmental aspects of surface-mining operations in the United Kingdom. – Proceedings of the 20<sup>th</sup> Int. Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, pp. 931-941.
- Leser, H. (1997): *Landschaftsökologie*. - Uni Taschenbücher 521, Stuttgart.
- Levin, S.A. (1992): The problem of pattern and scale in ecology. – *Landscape Ecology*, 73(6), pp. 1943-1967.
- Li, H., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Spies, T.A. (1992): Developing alternative forest cutting patterns: a simulation approach. - *Landscape Ecology*, 8(1), pp. 63-75.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. (1994): *Remote sensing and image interpretation*. – Wiley & Sons Inc., United States of America.
- Lioubimtseva, E. (1998): Interpretation and mapping landscape pattern in forest and forest-steppe zones of Russia using remote sensing. – In: Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): *Key Concepts in Landscape Ecology*, IALE (UK), Preston, pp. 251-261.
- LMBV – Lausitzer-Mitteldeutsche Braunkohlenverwaltungs-Gesellschaft (1996): *Sanierungsplanung für die Tagebaubereiche Bockwitz, Espenhain und Zwenkau*. – unveröffentlicht, LMBV Borna.
- Loh, W.-Y., Shih, Y.-S. (1997): Split selection methods for classification trees. - *Statistica Sinica*, 7, pp. 815-840.
- Lohmann, G. (1991): An evidential reasoning approach to the classification of satellite images. – DLR, Forschungsbericht 91-29, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Köln.
- Lohmann, G. (1994): Co-occurrence based analysis and synthesis of textures. – Proc. Int. Conference on Pattern Recognition (ICPR), Oct. '94, Jerusalem, Israel.
- Löffler, E. (1994): *Geographie und Fernerkundung*. – Teubner Studienbücher, Stuttgart. 251 S.



- Luque, S.S., Lathrop, R.G., Bognar, J.A. (1994): Temporal and spatial changes in an area of the New Jersey Pine Barrens landscape. - *Landscape Ecology* 9(4), pp. 287-300.
- Lynch, J.F.; Whickam; D.F. (1984): Effects of forest fragmentation on breeding bird communities in Maryland, USA. - *Biological Conservation* 18, pp. 287-324.
- Lyon, L.J. (1979): Habitat effectiveness for elk as influenced by roads and cover. - *Journal of Forestry* 77, p. 658-660.
- Maekawa M., Nakagoshi N. (1997): Riparian landscape changes over a period of 46 years, on the Azusa River in Central Japan. - *Landscape and Urban Planning* 37, pp. 37-43.
- Mahn et al. (1993): Modelluntersuchungen zur Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften auf der Basis spontaner und gelenkter Sukzessionen unter Berücksichtigung von Aspekten des Naturschutzes am Beispiel des Braunkohletagebaus Goitsche. - Konzept zum Forschungsprojekt, Halle.
- Mader, H.-J. (1980): Die Verinselung der Landschaft aus tierökologischer Sicht. – *Natur und Landschaft* 55 (3), S. 91-96.
- Mamula, N. (1978): Remote Sensing methods for monitoring surface coal mining in the Northern Great Plains. – *U.S. Geological Survey Journal of Research* 6, Reston, pp. 149-160.
- Marek, K.-H. (1992): Application of remote sensing data for the investigation of environmental degradation sites in East Germany. – *Proceedings of the Central Symposium of the "International Space Year" 1992 Conference*, Muenich, pp. 465-469.
- McGarigal, K.; Marks, B. (1994): Fragstats - Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. - Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, 67 p.
- Medley, K. E., Okey, B.W., Barrett, G.W., Lucas, M.F., Renwick, W.H. (1995): Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, U.S.A. - *Landscape Ecology* 10(3), pp. 161-176.
- Menz, G. (1997): Landschaftsmaße und Fernerkundung - neue Instrumente für die Umweltforschung. - *Geographische Rundschau* 49, S. 1-7.
- Meynen, E.; Schmithüsen, J. (1961): *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*. - Deutsches Institut für Länderkunde, Remagen.
- Meyer, G. (1950): Der Einfluß der geologischen Strukturen im Meuselwitz-Bornaer Braunkohlenrevier auf Planung und Abbau. - *Freiberger Forschungshefte, Sonderheft des Berg- und Hüttenmännischen Tages* 1.



- MIBRAG, HA ;Markscheidewesen (1993): Landinanspruchnahme, Betriebsfläche, Wiedernutzbarmachung, Wiederurbarmachung, Veränderungen vom 1.1. bis 31.12.1992 und Bestandesangaben zum 31.12.1992 (unveröffentlicht).
- Miller, J.N., Brook, R.P., Croonquist, M.J. (1997): Effects of landscape patterns on biotic communities. - *Landscape Ecology* 12, pp.137-153.
- Mörtberg, U. (1998): Bird species in urban forest remnants: landscape pattern and habitat quality. – Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): *Key concepts in landscape ecology*, IALE (UK), Preston, pp. 239-244.
- Montgomery, D. C., Johnson, L. A., Gardiner, J. S. (1990). *Forecasting and time series analysis* (2nd ed.). - New York, McGraw-Hill.
- Moody, A., Woodcock, C.E. (1995): The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. - *Landscape Ecology* 10(6), pp. 363-379.
- Neef, E. (1960): Die naturräumliche Gliederung Sachsens. - Sonderdruck aus den „Sächsischen Heimatblättern“.
- Neef, E. (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. - PGM 107(4), S. 249-259.
- Neef, E. (1964): Zur großmaßstäbigen landschaftsökologischen Forschung. – PGM 108, S. 1-78.
- Neef, E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. - Leipzig.
- Nielsen, N.C., Haeusler, T. (1998): Forest diversity derived from remote sensing: Possibilities and limitations.– Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): *Key concepts in landscape ecology*. IALE (UK), Preston, pp. 75-76.
- Oberg, M. (1992): Extraction of information from satellite imagery to a GIS for environmental monitoring of the mining areas in northeastern Estonia. – *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems*, München, pp. 1365-1372.
- O'Neill, R.V (1995): Recent development in ecological theory: Hierarchy and scale. Annual conference on surveying and mapping. - American Society of Photogrammetric Engineering and Remote-Sensing, Charlotte, North Carolina, 27 February-2 March 1995.
- O'Neill, R.V.; Jones, K.B.; Riitters, K.H., Wickam, J.D.; Goodman, I.A. (1994): *Landscape monitoring and assessment research plan*. - US EPA 620/R-94/009, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC.



- O'Neill, R.V. (1988): Hierarchy theory and global change. –In: Rosswall, T., Woodmansee, R.G., Risser P.G.(eds.): Scales and global change. Spatial and temporal variability in biospheric and geosperic processes, John Wiley & Sons, New York, pp. 29-45.
- O'Neill, R.V.; Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; Jackson, B.; De Angelis, D.L.; Milne, B.T.; Turner, M.G.; Zygmunt, B.; Christensen, S.W.; DALE, V.H.; Graham, R.L. (1988): Indices of landscape pattern. – Landscape Ecology 1(3), pp. 153-162.
- O'Neill, R.V.; Turner, S.J.; Cullinan, V.I.; Coffin, D.P.; Cook, T.; Conley, W.; Brunt, J.; Thomas, J.M.; Conley, M.R.; Gosz, J. (1991): Multiple landscapes scales: An intersite comparison. – Landscape Ecology 5(3), pp. 137-144.
- Olmos, P.S., De Lucio, J.V. (1998): Detecting and measuring landscape linear elements at different scales. – Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): Key concepts in landscape ecology. IALE (UK), Preston, pp. 297-302.
- Paffen, K.H. (1950): Zur Methodik der ökologischen Landschaftsgliederung. – Forsch. u. Sitzungsber. d. Akad. f. Raumforsch. u. Landespl. Hannover, Bd. 1, Bremen-Horn, S. 15-19.
- Paffen, K.H. (1953): Die natürliche Landschaft und ihre räumliche Gliederung. Eine methodische Untersuchung am Beispiel der Mittel- und Niederrheinlande. – Forschungen zur deutschen Landeskunde, Remgen, Bd. 68.
- Palang, H., Mander, Ü., Luud, A. (1998): Landscape diversity changes in Estonia. Landscape and urban planning 44, pp. 163-169.
- Pino, J., Roda, F., Ribas, J., Pons, X. (1998): Spatial relationship between landscape attributes and biodiversity. The case of nesting and wintering birds in the perimetropolit area of Barcelona. – Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): Key concepts in landscape ecology. IALE (UK), Preston, pp. 233-238.
- Pietsch, W. (1973): Vegetationsentwicklung und Genese in den Tagebauen des Lausitzer Braunkohlen-Reviers. – Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch. 13, S. 187-217.
- Pietsch, W. (1979): Zur ökologisch-hydrochemischen Situation der Tagebauseen des Lausitzer Braunkohlen-Reviers. – Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch. 19, S. 97-115.
- Pilarski, M., Oppitz, S. (1998): An environmental monitoring system for the lusatian brown coal mining industry in East Germany– In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII, Part 7, Budapest, pp. 151-155.
- Plachter, H. (1991): Naturschutz. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1. Aufl., 462 S.



- Poudevigne, I., Alard, D. (1997): Landscape and agricultural patterns in rural areas: a case study in the Brionne Basin, Normandy, France. - *Journal of Environmental Management* 50, pp. 335-349.
- Pyka, K., Steinnocher, K., Steinnocher, K. (1994): Auswahl eines optimalen Datensatzes für die multispektrale Klassifizierung unter Einbeziehung von Texturmerkmalsbildern. - *Zeitschr. f. Photogrammetrie u. Fernerkundung*, Wichmann Verlag, 4/1994, S. 117-121.
- Qi, Y., Wu, J. (1996): Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices. - *Landscape Ecology* 11(1), pp. 39-49.
- Rami, M. (1997): Landschaftsstrukturmaße und Satellitenbildfernerkundung. Entwicklung des Programms METRICS und seine Anwendung auf LANDSAT- und NOAA-Szenen aus dem Bereich Schwarzwald/Oberrhein. - Unveröffentlichte Diplomarbeit, Bonn, 107 S.
- Reese, K.P., Ratti, J.T. (1988): Edge effect: A concept under scrutiny. - *North America Wildlife and Natural Resources - Conference Transactions*, Bd. 53, pp. 127-136.
- Regiegruppe „Kulturlandschaft Südraum Leipzig“ (1994): Problemlandschaft Südraum Leipzig - Kulturlandschaft Südraum Leipzig. Arbeitsbuch.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg., 1996a): Regionalplanung in Westsachsen. – Entwurf vom 09.08.1996, Grimma.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg., 1996b): Regionalplanung in Westsachsen. – Entwurf vom 09.08.1996, Grimma, -Karte Entwicklungskonzept Landschaft, Stand Januar 1995, Maßstab 1 : 75 000.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg., 1996c) -Karte Südraum Leipzig-Realnutzung, Stand der Flächennutzung 1996, Maßstab 1 : 50 000.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (1998): Braunkohlenplanung in Westsachsen. Leipzig, 80 S.
- Richards, J.A. (1993): Remote sensing digital image analysis. An introduction. – Berlin.
- Richter, G. (1965): Bodenerosion. Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. – FDL 152, 592 S.
- Richter, H. (1995): Leipziger Land. - In: Mansfeld, K., Richter, H.(Hrsg.): Naturräume in Sachsen, Trier.
- Ring, I. (1997): Nachhaltige Regionalentwicklung – Eine Chance für den Südraum Leipzig? – In: Ring, I. (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung in Industrie und Bergbauregionen – Eine Chance für den Südraum Leipzig, Teubner, Stuttgart, Leipzig, S. 11-40.



- Ripple, W.J., Bradshaw, G.A., Spies, T.A. (1991): Measuring forest landscape patterns in Cascade Range of Oregon, USA. - *Biological Conservation* 57, pp. 73-88.
- Ritters, K.H., O'Neill, R.V., Jones, K.B. (1997): Assessing habitat suitability at multiple scales: A landscape-level approach. - *Biological Conservation*.
- Ritters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsacker, C.T., Wickam, J.D., Yankee, D.H., Timmins, S.P. Jones, K.B., Jackson, B.L. (1995): A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. - *Landscape Ecology*, 10(1), pp. 23-39.
- Ruuska, R., Helenius, J., (1996): GIS analysis of change in an agricultural landscape in Central Finland. - *Agricultural and Food Science in Finland* 5, pp. 567-576.
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt- und Landesentwicklung (Hrsg., 1997): Naturräume und Naturraumpotentiale des Freistaates Sachsen. - *Materialien zur Landesentwicklung* 2/1997, 62 S.
- Samietz, J. (1998): Populationsgefährdungsanalyse an einer Heuschreckenart – Methoden, empirische Grundlagen und Modellbildung bei *Stenobothrus lineatus* (Panzer). - Cuvillier Verlag, Göttingen, 146 S.
- Schaefer, M., Tischler, W. (1983): Wörterbuch der Biologie: Ökologie. – G. Fischer Verlag Jena.
- Schmidt, H. (1995): Untersuchungen zu Anwendungsmöglichkeiten von ausgewählten Fernerkundungsmethoden zum Umweltmonitoring von Bergbaufolgelandschaften; dargestellt am Südraum Leipzig, - unveröffentlichte Diplomarbeit, MLU-Halle, 99 S.
- Schmidt, A. , Rembierz, W. (1987): Überlegungen zu ökologischen Eckwerten und ökologisch orientierten räumlichen Leitzielen der Landes- und Regionalplanung. – Veröff. d. Akad. f. Raumforschung und Landesplanung, Forschungs- u. Sitzungsberichte, Hannover 165, S. 239-290.
- Schönwiese, D.-D. (1993): Globale Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft. – *Geographische Rundschau* 45/2, S. 74-80.
- Schröder, W. (1998a): Ökologisches und gesellschaftliches Monitoring in Biosphärenreservaten – In: Erdmann K.-H., Bork, H.-R., Grundewald, K. (Hrsg.): *Geographie und Naturschutz. Beiträge zu einer naturverträglichen Entwicklung*, MAB-Mitteilungen 45, S. 63-89.
- Schröder, W. (1998b): Ökologie und Umweltrecht als Herausforderung natur- und sozialwissenschaftlicher Forschung und Lehre. – In: Daschkeit, A, Schröder, W. (Hrsg.): *Perspektiven natur- und sozialwissenschaftlicher Umweltforschung*, Berlin-Heidelberg, Umwelt-Natur- und Umweltsozialwissenschaften 1, S. 329-357.



- Schröder, W., Haber, W., Fränzle, O., Daschkeit, A. (1998): Umweltbeobachtung und Umweltbewertung auf ökologischer und sozialwissenschaftlicher Grundlage: Ein Plädoyer aus der Sicht von Ökologen. - In: Erdmann K.-H., Bork, H.-R., Grundewald, K. (Hrsg.): Geographie und Naturschutz. Beiträge zu einer naturverträglichen Entwicklung, MAB-Mitteilungen 42, 91-101.
- Schmithüsen, J. (1948): Fliesengefüge der Landschaft und Ökotoptyp. Vorschläge zur begrifflichen Ordnung und Nomenklatur in der Landschaftsforschung. – BDL, Bd. 5, S. 74-83.
- Schönfelder, G. (1984): Grundlagen für die Vorhersage (Prognose) von Landschaftsveränderungen als geographischer Beitrag für die Landschaftsplanung. – Diss. B, Halle, 94 S.
- Settele, J., Margules, C., Poschlod, P., Henle, K. (1996): Species survival in fragmented landscapes. - Kluwer, Dordrecht, 381 S.
- Short, J., Turner, B. (1994): A test of the vegetation mosaic hypothesis: A hypothesis to explain the decline and extinction of Australian mammals. - Conserv. Biol. 8, pp. 439-449.
- Siedentop, S. (1999): Kumulative Landschaftsbelastungen durch Verstädterung. – Natur und Landschaft 4, S. 147 – 155.
- Simpson, J.W., Boerner, R.E.J., De Mers, M.N., Berns, L.A. (1994): Forty-eight years of landscape change on two contiguous Ohio landscapes. - Landscape Ecology 9(4), pp. 261-270.
- Smiatek, G. (1994): Methode der dreifachen Stichprobe zur Erfassung der Flächennutzung aus Landsat-TM-Daten. - ZPF, Wichmann Verlag, 3/1994, S. 83-89.
- Solbrig, O.T. (1994): Biodiversität - Wissenschaftliche Fragen und Vorschläge für die internationale Forschung. – Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm „Der Mensch und die Biosphäre“ (MAB), Bonn.
- Spitzer, F. (1996): Klassifikation bebauter Flächen und Bestimmung der Bebauungsdichte im Raum Regensburg anhand multitemporaler und multisensoraler Satellitenbilddaten. – unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Regensburg,
- SRU - Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1992): Umweltprobleme der Landwirtschaft: - Metzler-Poeschel, Stuttgart, 176 S.
- SRU - Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1996): Umweltgutachten 1996, Metzler-Poeschel, Stuttgart, 468 S.
- StatSoft. Inc. (1998): STATISTICA für Window (Computer-Programm-Handbuch), Tulsa.
- Steinhardt, U. (1992): Zur Erkennung von Waldschäden aus digitalen Fernerkundungsdaten. - Potsdamer Geographische Forschungen, Band 2.



- Steinhardt U., Herzog F., Lausch A., Müller E., Lehmann S. (1998) Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. - Proceedings of the International Conference „Environmental Indices“, 7 - 11 July 1998 in St. Petersburg, Russia, Ecological Modelling.
- Steinhardt U., Herzog F., Lausch A., Müller E., Lehmann S. (1999): Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. - In: Pykh, Y.A., Hyatt, D.E., Lenz, R.J. (eds): Environmental Indices – System Analysis Approach. Oxford, EOLSS Publ., pp. 237-254.
- Steinhardt, U., Lausch, A., Herzog, F., Müller, E., Lehmann, S. (1998): Landschaftsveränderungen im Gebiet des Tagebaus Espenhain. - 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-Halle-Bitterfeld, UFZ-Bericht 2/1998, S. 139-153.
- Stiebig, H.J., Baltaxe, R. (1991): NOAA AVHRR Satellitenaufnahmen für großräumige Waldflächenerfassung. Fernerkundung in der Forstwirtschaft. - Wichmann Verlag, Karlsruhe, S. 258-265.
- Sukopp, H. (1981): Veränderungen von Flora und Vegetation in Agrarlandschaften. – Berichte über Landwirtschaft 197, S. 225-264.
- Symader, W. (1980): Zur Problematik landschaftsökologischer Raumgliederungen. – Landschaft und Stadt 12/1, Stuttgart, S. 81-89.
- Syrbe, R.-U. (1998): Indikatoren der Landschaftsstruktur zur Erfassung und Bewertung des Landschaftswandels auf der Grundlage geoökologischer Raumeinheiten. – In: Steinhardt, U., Volk, M. (Hrsg.): Regionalisierung in der Landschaftsökologie, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, S. 149-162.
- Syrbe, R.-U., Bastian, O., Röder, M. (1998): Analyse und Bewertung der Landschaft und ihrer Veränderungen anhand ausgewählter Funktionen des Naturhaushaltes im Biosphärenreservat „Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft“ – In: Erdmann K.-H., Bork, H.-R., Grundewald, K. (Hrsg.): Geographie und Naturschutz. Beiträge zu einer naturverträglichen Entwicklung. - MAB-Mitteilungen 45, S. 267-305.
- Thibault, P.A., Zipperer, W.C. (1994): Temporal changes of wetlands within an urbanizing agricultural landscape. - Landscape and Urban Planning 28, pp. 245-251.
- Tischendorf, L. (1995): Modellierung von Populationsdynamiken in strukturierten Landschaften. – Dissertation, Philipps-Universität Marburg, 107 S.
- Tischew, S. (1996): Analyse von Mechanismen der Gehölzsukzession auf Braunkohlentagekippen. – Verhandlungen Gesellschaft für Ökologie 26, S. 407-416.



- Tischew, S. (1998): Sukzession als mögliche Folgenutzung in sanierten Braunkolentagebauten. – Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 1/1998, S. 42-54.
- Toulious, L.G., Yassoglou, N.J., Moutsoulas, M. (1990): Land-use mapping in West Messina, Greece, using satellite imagery. – Intern. J. Remote Sensing 11, pp. 1645-1661.
- Turner, M.G. (1989): Landscape ecology: The effect of pattern on process. - Annual Review of Ecology and Systematics 20, pp. 171-197.
- Turner, M.G. (1990): Spatial and temporal analysis of landscape patterns. - Landscape Ecology, 4(1), pp. 21-30.
- Turner, M.G.; Gardner, R.H. (1991a): Quantitative Methods in Landscape Ecology. - Springer-Verlag, New York.
- Turner, M.G.; Gardner, R.H. (1991b): Quantitative Methods in Landscape Ecology: An introduction. - Ecological Studies, Vol. 82, New York, pp. 3-17.
- Turner, M.G.; Ruscher, C.L. (1988): Changes in the spatial patterns of land use in Georgia. - Landscape Ecology 1, pp. 241-251.
- Turner, S.J., O'Neill, R.V., Conley, W., Conley, M.R., Hymphries, H.C. (1991): Pattern and scale: Statistics in landscape ecology. - In: Turner, G.; Gardner, R.H. (eds.): Quantitative methods in landscape ecology, Springer-Verlag, New York, pp. 17-41.
- Urban, D.L., O'Neill, V.O., Shugart, H.H. (1987): Landscape ecology: A hierarchical perspective can help scientist understand spatial pattern - BioScience 37, pp. 119-127.
- Vaughan, R. (1993): Remote sensing – From research to operational applications in the New Europe. – Proceedings of the 13<sup>th</sup> EARSeL Symposium Dundee, Schottland, pp. 225-233.
- Verboom, B., Huitema, H. (1997): The importance of linear landscape elements for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*. - Landscape Ecology 12(2), pp. 117-125.
- von Werder, U. (1999): Aufbau eines fernerkundungsbasierten Landschaftsinformationssystems am Beispiel der Verbandsbemeinde Dahn im Pfälzerwald. – Diss . Universität Freiburg, 1999, 222 Seiten.
- Walker, J. S. (1991). Fast fourier transforms. - Boca Raton, FL: CRC Press.
- Wallin, D.O., Swanson, F.J., Marks, B. (1994): Landscape pattern response to changes in pattern generation rules: Land-use legacies in forestry. - Ecol. Applic. 4(3), pp. 569-580.



- Wei, W.W. (1989). Time series analysis: Univariate and multivariate methods. - New York: Addison-Wesley.
- Weichelt, H., Pilarski, M., Schmidt, K., Gruber, G., Griesbach, R. (1996): Erfassung ökologisch relevanter Zustandsparameter in anthropogen stark beanspruchten Gebieten auf der Grundlage von PRIRODA-Multisensor-Daten. - Forschungsbericht zum Thema 50 EE 94 03. – Potsdam, unveröffentlicht.
- Westhus, W. (1981): Die Vegetationsentwicklung des Naturschutzgebietes „Nordfeld Jaucha“ - eines älteren Tagebaurestloches. - *Hercynia N.F.* 18, S. 424-433.
- Wickham, J.D., Norton, D.J. (1994): Mapping and analyzing landscape patterns. - *Landscape Ecology* 9(1), pp. 7 - 23.
- Wickham; J.D., O'Neill, R.V., Ritters, K.H., Wade, T.G., Jones, K.B. (1997): Sensitivity of selected landscape pattern metrics to land-cover misclassification and differences in land-cover composition. – *PE & RS* 63 (4), pp. 397-402.
- Wickham, J.D., Riitters, K.H. (1995): Sensitivity of landscape metrics to pixel size. - *International Journal of Remote Sensing* 16(18), pp. 3585-3594.
- Wickham; J.D., Wade, T.G., Jones, K.B., Riitters, K.H., O'Neill, R.V. (1995): Diversity of ecological communities in the United States. - *Vegetatio* 119(2), pp. 91-100.
- Wickham; J.D.; Wu, J.; Bradford, D.F. (1997): A conceptual framework for selecting and analyzing stressor data to study species richness at large spatial scales. - *Environmental Management* 21(2), pp. 247-257.
- Wiedemann, D. (1991): Aufgaben und Probleme bei der Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften aus der Sicht des Naturschutzes. - *Abh. d. sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, math.-nat. Klasse* 57/3, S. 63-72.
- Wieneke, F. (1987): Der Einfluß der räumlichen Dimension der Daten auf die Einsatzmöglichkeit photographischer Fernerkundung für landschaftsökologische Untersuchungen. - *Geomethodica* 12, S. 77-90.
- Wiens, J. (1989): The ecology of bird communities. Vol. 2 - Processes and variations. - Cambridge.
- Wrbka, T. (1998): Landscape structure as indicators for sustainable land use? – A case study in Alpine and Lowland Landscapes of Austria. – In: Dover, J.W., Brunce, R.G.H. (eds.): Key concepts in landscape ecology, IALE (UK), Preston, pp. 179-180.



- Wünsche, M. (1975): Die bodenphysikalischen, -chemischen und -mineralogischen Eigenschaften der Abraumsstrate und ihre Eignung für die Wiedernutzbarmachung im Braunkolenrevier südlich von Leipzig, - Habilitationsschrift, Universität Leipzig.
- Wünsche, M., Fiedler, H.J., Werner, K., Ranft, H. (1984): Wiedernutzbarmachung von Rückgabeflächen des Bergbaus. - In: Fiedler, H.J. (Hrsg.): Bodenschutz, Fischer Verlag Jena, S. 86-107.
- Wünsche, M. (1991): Bodengeologische Arbeiten für die Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft in Braunkohlenabbaugebieten. - Abh. d. sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, math.-nat. Klasse 57/3, S. 73-80.
- Zhang, M., Geng, S., Ustin, S.L. (1998): Quantifying the agricultural landscape and assessing spatio-temporal pattern of precipitation and groundwater use.
- Zheng, D., Wallin, D.O. Hao, Z. (1997): Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea. - Landscape Ecology 12, pp. 241 - 254.
- Zhenkui, M. (1995): Using a rule-based merging algorithm to eliminat ‚salt/pepper‘ and small regions of classified image. - Ninth Annual Symposium on Geographic Information Systems, Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 834-837.
- Zierdt, M. (1997): Umweltmonitoring mit natürlichen Indikatoren: Pflanzen – Boden – Wasser – Luft. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 212 S.



## 14 Anhang

### 14.1 Übersicht der mit FRAGSTATS berechneten Landschaftsstrukturmaße

Berechnungsebene	Akronym	Beschreibung
<u>Flächenmaße</u>		
Klasse/Landschaft	TA	Total landscape area (ha)
Klasse	%LAND	Percent of landscape (%)
Klasse/Landschaft	LPI	Largest Patch index (%)
Klasse/Landschaft	NP	Number of Patches (#)
Klasse/Landschaft	PD	Patch density (#/100ha)
Klasse/Landschaft	MPS	Mean Patch size (ha)
Klasse/Landschaft	PSCV	Patch size coefficient of variation (%)
<u>Kantenmaße</u>		
Landschaftselemente	VEDCON	Vertical edge contrast index (%)
Klasse/Landschaft	MVECI	Mean vertical edge contrast index (%)
Landschaftselemente	PERIM	Perimeter (m)
Klasse/Landschaft	ED	Edge density (m/ha)
Klasse/Landschaft	ESI	Edge structure index (m)
<u>Formmaße</u>		
Landschaftselemente	SHAPE	Shape index
Klasse/Landschaft	LSI	Landscape shape index
<u>Maße der Nächsten-Nachbarschaft</u>		
Klasse/Landschaft	MNN	Mean nearest-neighbor distance (m)
Klasse/Landschaft	NNCV	Nearest-neighbor coefficient of variation (%)
Landschaftselemente	PROXIM	Proximity index
Klasse/Landschaft	MPI	Mean proximity index
<u>Maße der Diversitäts und Verteilung</u>		
Landschaft	PRD	Patch richness density (#/100ha)
Klasse/Landschaft	IJI	Interspersion and Juxtaposition index (%)
Landschaft	SHDI	Shannon's diversity index
Landschaft	SHEI	Shannon's evenness index



## 14.2 Vereinbarungen und mathematische Ausdrücke (Formeln)

Verwendete Symbole in den Formeln

$A =$	Gesamtfläche der Landschaft ( $m^2$ )
$a_{ij} =$	Fläche eines <i>Patches</i> $ij$ ( $m^2$ )
$a_{ijs} =$	Fläche eines <i>Patches</i> $ijs$ ( $m^2$ ) mit einer spezifischen Nachbarschaft ( $m$ ) des <i>Patches</i> $ij$
$d_{ik} =$	Wichtungsfaktor eines <i>Patches</i> $ik$ (dimensionslos)
$E =$	Gesamtlänge der Kanten in der Landschaft ( $m$ )
$E' =$	Gesamtlänge der Kanten in der Landschaft ( $m$ ), einschließlich der gesamten Kanten der Landschaft sowie Kanten des Hintergrundes ohne Rücksicht darauf, ob diese eigentliche Kanten darstellen
$g_{ik} =$	Anzahl der Angrenzungen zwischen Pixeln der <i>Patchtypen</i> (Klassen) $i$ und $k$
$h_{ij} =$	Entfernung ( $m$ ) vom <i>Patch</i> $ij$ zum nächsten benachbarten <i>Patch</i> vom gleichen <i>Patchtyp</i> (Klasse), basierend auf Kante-zu-Kante Entfernung
$m =$	Anzahl der <i>Patchtypen</i> (Klassen), die in der Landschaft vorhanden sind
$N =$	Gesamtanzahl der <i>Patches</i> in der Landschaft, ohne Hintergrund <i>Patches</i>
$N' =$	Gesamtanzahl der <i>Patches</i> in der Landschaft, die ein Nachbar <i>Patch</i> vom gleichen Typ haben
$n = n_i =$	Anzahl der <i>Patches</i> in der Landschaft vom <i>Patchtyp</i> (Klasse) $i$
$P_i =$	Anteil von einem <i>Patchtyp</i> $i$ (Klasse) an der Landschaft
$p_{ijk} =$	Umfang eines <i>Patches</i> $ijk$ ( $m$ )
$i = 1, \dots,$	$m$ <i>Patchtypen</i> (Klassen)
$j = 1, \dots,$	$n$ <i>Patchtyp</i>
$k = 1, \dots,$	$m$ <i>Patchtypen</i> (Klassen)
$s = 1, \dots, n$	<i>Patches</i> mit einer spezifischen Nachbarschaft

### Mathematische Ausdrücke (Formeln)

Patch	Ebene der Quantifizierung	
	Klasse	Landschaft
	Flächenmaße	
	<p>Formel 1:</p> <p><i>Total landscape area (TA)</i></p> $TA = A \left( \frac{1}{10,000} \right)$	<p>Formel 2:</p> <p><i>Total landscape area (TA_Land)</i></p> $TA = A \left( \frac{1}{10,000} \right)$
	<p>Formel 3:</p> <p><i>Percent of landscape (%Land)</i></p> $\%Land = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	



**Formel 4:**  
*Largest patch index (LPI)*

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$$

**Formel 5:**  
*Largest patch index (LPI\_Land)*

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$$

**Formel 6:**  
*Number of patches (NP)*

$$NP = n_i$$

**Formel 7:**  
*Number of patches (NP\_Land)*

$$NP = N$$

**Formel 8:**  
*Patch density (PD)*

$$PD = \frac{n_i}{A} * 10000 * 100$$

**Formel 9:**  
*Patch density (PD\_Land)*

$$PD = \frac{N}{A} * 10000 * 100$$

**Formel 10:**  
*Mean patch size (MPS)*

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

**Formel 11:**  
*Mean patch size (MPS\_Land)*

$$MPS = \frac{A}{N} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

**Formel 12:**  
*Patch size standard deviation (PSSD)*

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

**Formel 13:**  
*Patch size standard deviation (PSSD\_Land)*

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

**Formel 14:**  
*Patch size coefficient of variation (PSCV)*

$$PSCV = \frac{PSSD}{MPS} (100)$$

**Formel 15:**  
*Patch size coefficient of variation (PSCV\_Land)*

$$PSCV = \frac{PSSD\_Land}{MPS\_Land} (100)$$

**Kantenmaße**

**Formel 16:**

*Edge contrast index (EDCON)*

$$EDCON = \frac{\sum_{k=1}^m (p_{ijk} \circ d_{ik})}{P_{ij}} (100)$$

**Formel 17:**  
*Mean edge contrast index (MECI)*

$$MECI = \frac{\sum_{j=1}^n \left[ \frac{\sum_{k=1}^m (p_{ijk} \circ d_{ik})}{P_{ij}} \right]}{n_i} (100)$$

**Formel 18:**

*Mean edge contrast index (MECI\_Land)*

$$MECI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\sum_{k=1}^m (p_{ijk} \circ d_{ik})}{P_{ij}} \right]}{N} (100)$$

**Formel 19:**

*Perimeter*

$$PERIM = p_{ij}$$



Formel 20:

Edge density (ED)

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

Formel 21:

Edge density (ED\_Land)

$$ED = \frac{E}{A} (10,000)$$

Formel 22:

Edge structure index (ESI)

$$ESI = \frac{MPS \circ PD}{ED}$$

Formel 23:

Edge structure index (ESI\_Land)

$$ESI = \frac{MPS\_Land \circ PD\_Land}{ED\_Land}$$

**Formmaße (Formdeskriptoren)**

Formel 24:

Shape index (SHAPE)

$$SHAPE = \frac{.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$$

Formel 25:

Landscape shape index (LSI)

$$LSI = \frac{.25 \sum_{k=1}^m e'_{ik}}{\sqrt{A}}$$

Formel 26:

Landscape shape index (LSI\_Land)

$$LSI = \frac{0,25 E'}{\sqrt{A}}$$

**Maße der Nächsten-Nachbarschaft**

Formel 27:

Mean nearest-neighbor distance (MNN)

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'}$$

Formel 28:

Mean nearest-neighbor distance (MNN\_Land)

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{n'}$$

Formel 29:

Nearest-neighbor standard deviation (NNSD)

$$NNSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n'} \left[ h_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'} \right]^2}{n'}}$$

Formel 30:

Nearest-neighbor standard deviation (NNSD\_Land)

$$NNSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ h_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N'} \right]^2}{N'}}$$

Formel 31:

Nearest-neighbor coefficient of variation (NNCV)

$$NNCV = \frac{NNSD}{MNN} (100)$$

Formel 32:

Nearest-neighbor coefficient of variation (NNCV\_Land)

$$NNCV = \frac{NNSD\_Land}{MNN\_Land} (100)$$

Formel 33:

Proximity index (PROXIM)

$$PROXIM = \frac{\sum_{s=1}^m \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}}}{2}$$

Formel 34:

Mean proximity index (MPI)

$$MPI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}}}{n_i}$$

Formel 35:

Mean proximity index (MPI\_Land)

$$MPI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}}}{n_i}$$



**Maße der Diversität und Verteilung**

**Formel 36:**

*Patch richness density (PRD)*

$$PRD = \frac{m}{A} (10,000)(100)$$

**Formel 37:**

*Land-Cover-Class Richness Density (LCCRD)*

$$LCCRD = \frac{m}{A} (10,000)(25)$$

**Formel 38:**

*Interspersion and Juxtaposition index (IJI)*

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

**Formel 39:**

*Interspersion and Juxtaposition index (IJI\_Land)*

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

**Formel 40:**

*Shannon's Diversity Index (SHDI)*

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m \left( P_i \cdot \ln P_i \right)$$

**Formel 41:**

*Shannon's Evenness Index (SHEI\_Land)*

$$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m}$$



# Wissenschaftlicher Werdegang

## Angela Lausch

geboren 24.03.1966 in Leipzig,  
verheiratet, zwei Kinder

### Ausbildung

09/80 - 07/84      Abitur, EOS "Wilhelm Pieck" Marienberg,  
09/84 - 03/90      Direktstudium, KMU Leipzig, Sektion Biowissenschaften, Bereich Biologie,  
Abschluß Diplom-Biologin

### Berufliche Stellung und wissenschaftliche Weiterqualifikation

03/90 - 03/91      Produktentoxikologie Graupa GmbH,  
Diplom-Biologin, Arbeitsgebiet: Reproduktionstoxikologie

09/91 - 06/93      Elektronik-Luftfahrtgeräte (ELEKLUF) GmbH Bonn -  
Diplom-Biologin, tätig als Ausbilderin im Bereich Umschulung u.  
Erwachsenenqualifizierung der Fachrichtung Umweltschutztechnik,

06/93 -              Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (UFZ),  
Diplom-Biologin, tätig als Wissenschaftlerin in der Sektion  
Angewandte Landschaftsökologie,

### Projekte

28.06.1993 – 31.12.1994

Projektbearbeitung:

„Auswertung einer möglichen Global-Change Komponente des Extremsommers 1992 auf die Landwirtschaft in Ostdeutschland“ (Projekt in Zusammenarbeit mit dem Potsdam- Institut für Klimafolgenforschung e.V.– Potsdam)

01.01.1995 – 30.09.1995

- Aufbau des GIS im Rahmen des Verbundprojektes „Renaturierung, Schutz und nachhaltige Entwicklung der Auewälder der Stadt Leipzig“
- Schreiben des Projektantrages: „Methodik zur Erkundung der Biotop- und Landschaftsdiversität in der Braunkohletagebaufolgelandschaft mit Fernerkundungsmethoden“

01.08.1995 – 15.12.1995

Mitarbeit am Projekt:

„Landschaftsentwicklung und Biotopgestaltung in der Bergbaufolgelandschaft. Bedeutung von Bergbaufolgelandschaften für den Naturschutz unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen“ (gefördert durch: Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul)

16.12.1995 – 31.12.1998

Alleinige und eigenständige Projektbearbeitung:

„Methodik zur Erkundung der Biotop- und Landschaftsdiversität in der Braunkohletagebaufolgelandschaft mit Fernerkundungsmethoden“  
(Projekt, finanziert von DARA GmbH (jetzt DLR) FKZ: 50 EE 95 12)

01.01.1999 – 31.12.1999

Projektbearbeitung:

- „Auswirkungen der Landschaftsbewertung und –optimierung auf die Landschaftsstruktur im Untersuchungsraum der Querfurter Platte“
- „Untersuchungen zur Auswirkung raum-zeitlicher Veränderungen von Biotop- und Habitatstrukturen auf das Vorkommen von raumstrukturabhängigen Arten“

28.06.1993 bis dato

- Betreuung von Diplomanden, Praktikanten und stud. HIWI



## Veröffentlichungen (chronologische Reihenfolge)

- Kasperidus, H. D., Lausch, A., Seger, M. (1994): Auswertung einer möglichen Global-Change-Komponente des "Extremen Nordsommers 1992" auf die Landwirtschaft in Ostdeutschland: Risikoabschätzung und Erkennung von Trockenheitseffekten mit GIS- und Fernerkundungsmethoden. In: H.-J. Schellnhuber, W. Enke, M. Flechsig: Extremer Nordsommer '92 - Meteorologische Ausprägung, Wirkungen auf naturnahe und vom Menschen beeinflusste Ökosysteme, gesellschaftliche Perzeption und situationsbezogene politisch-administrative bzw. individuelle Maßnahmen. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. PIK Reports No.2, Vol. 2, S. 645 -704.
- Kasperidus, H. D., Lausch, A. (1994): Kombination von GIS und Fernerkundungsmethoden zur Auswertung des extremen Nordsommers 1992. Tagungsband des 6. Symposiums für Angewandte Geographische Informationssysteme. Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Salzburg, S. 301-310.
- Durka, W., Altmoss, M., Lausch, A., Henle, K. (1996): Landschaftsentwicklung und Biotopgestaltung in der Bergbaufolgelandschaft. Bedeutung von Bergbaufolgelandschaften für den Naturschutz unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzessionen. - Abschlußbericht 1996 an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH. 174 S.
- Lausch A., Bellmann A. (1997): Zur Realisierung nachhaltiger Naturschutzstrategien mit Hilfe der Geoinformation: Tagebau Borna-Ost/Bockwitz - Vom Tagebau zum Naturschutzgebiet? In: Ring, I. (Hrsg.) Nachhaltige Entwicklung im Südraum Leipzig. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig 1997, S. 73-92.
- Steinhardt U., Herzog F., Lausch A., Müller E., Lehmann S. (1999): Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. Proceedings of the International Conference „Environmental Indices“, 7 - 11 July 1997 in St. Petersburg, Russia, Ecological Modelling.
- Lausch, A., Bellmann, A. (1998): Tagebau Borna-Ost/Bockwitz - Ansätze zur Durchführung eines Monitoring in der Bergbaufolgelandschaft. - 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-Halle-Bitterfeld. UFZ-Bericht 2/1998, S. 153-169.
- Steinhardt, U., Lausch, A., Herzog, F., Müller, E., Lehmann, S. (1998): Landschaftsveränderungen im Gebiet des Tagebaus Espenhain. - 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-Halle-Bitterfeld. UFZ-Bericht 2/1998, S. 139-153.
- Kasperidus H.D., Lausch, A. (1998): Geographische Informationssysteme. - 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-Halle-Bitterfeld. UFZ-Bericht 2/1998, S. 53-63.



- Lausch, A. (1998): Raumzeitliche Analysen von Landschaftsstrukturen der Tagebaufolgelandschaft – Südraum Leipzig – mit Fernerkundungsmethoden. – In: uve GmbH (Hrsg.): Proceedings des Kolloquiums ‘Umwelt und Fernerkundung’ anlässlich der ILA 1998 in Berlin.
- Steinhardt U., Herzog F., Lausch A., Müller E., Lehmann S. (1999): Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. - In: Pykh, Y.A., Hyatt, D.E., Lenz, R.J. (eds): Environmental Indices – System Analysis Approach. Oxford, EOLSS Publ., pp. 237-254.
- Lausch, A. (1999): Möglichkeiten und Grenzen der Einbeziehung von Fernerkundungsdaten zur Analyse von Indikatoren der Landschaftsstruktur - Beispielregion Südraum Leipzig. - In: Steinhardt, U., Volk, M. (Hrsg., 1999) Regionalisierung in der Landschaftsökologie. B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig, S. 162-180.
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Thulke, H.-H., Steinhardt, U., Lehmann, S. (1999): Landscape metrics for the assessment of landscape destruction and rehabilitation. – Environmental Management (in press).
- Lausch, A. Menz, G. (1999): Bedeutung der Integration linearer Elemente in Fernerkundungsdaten zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen. – PFG 3, S. 185-194.
- Lausch, A. (1999): Raumstrukturmaße in der Tagebaufolgelandschaft ‚Südraum Leipzig‘ – Durchführung von Monitoring und Bewertungsansätzen. Workshop „Landschaftsstruktur“ vom 28.10.1998, Dresden, Schriftenreihe des Institutes für ökologische Raumentwicklung, Bd. 29, S. 77–93.
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Thulke, H.-H. (1999): Das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen – Fallstudie Espenhain. Workshop „Landschaftsstruktur“ vom 28.10.1998, Dresden, Schriftenreihe des Institutes für ökologische Raumentwicklung, Bd. 29, S. 93-107.
- Lausch, A. (1999): Strukturelle Biotopausstattung als Auslöser für Stoffeinträge im Einzugsgebiet der Pleiße. -Analyse der Entwicklung der Bergbaufolgelandschaft mit Methoden der Geoinformation. – UFZ Bericht 1999 (im Druck).
- Lausch, A., Krönert, R., Herzog, F. (1999): Landscape diversity in the brown coal mining region South of Leipzig by means of remote sensing and GIS application. - Proceedings of the Conference „DGPF“ 28. April 1999 in Halle.
- Lausch, A. (1999): Methodik zur Erkundung der Biotop- und Landschaftsdiversität in der Braunkohletagebaufolgelandschaft mit Fernerkundungsmethoden. – Abschlußbericht DARA GmbH, FKZ 50 EE 95 12, 250 S.
- Herzog, F., Lausch, A. (1999): Prospects and limitations of the application of landscape metrics for landscape monitoring. -In: Maudsley M., Marshall J. (eds.) Heterogeneity in Landscape Ecology: Pattern and Scale. Aberdeen, IALE(UK), pp. 41 – 50.



- Lausch, A., Herzog, F. (1999): Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. - Proceedings of the 2. International Conference INDEX 99 „Indices and Indicators of sustainable development“, 11<sup>th</sup> – 16<sup>th</sup> July 1999 in St. Petersburg, Russia, Ecological Modelling.
- Lausch (1999): Flächenmonitoring in der Bergbaufolgelandschaft „Südraum Leipzig“ als Grundlage raum-zeitlicher Veränderungsanalysen von Biotop- und Flächennutzungsstrukturen. – In: Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie, 27. Sept. - 1. Okt. 1999 in Rostock, (im Druck).
- Herzog, F., Lausch, A. (2000): Supplementing land-use statistics with landscape metrics: Some methodological considerations. – Environmental Monitoring & Assessment, (submitted).



## Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Dissertation selbständig unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt und an keiner anderen Universität oder Hochschule vorgelegt habe.

Leipzig, im Dezember 1999

  
Angela Lausch