

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Fachbereich Geowissenschaften

**Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des
Regierungsbezirks Leipzig mit Methoden der
Fernerkundung und Geoinformation**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Landschaftsökologe

vorgelegt von

Johannes Horstkötter

betreut durch:

Prof. Dr. G. Schulte

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie



Dr. A. Lausch

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (UFZ)
Sektion Angewandte Landschaftsökologie



Münster, im April 2003

Am Anfang eines jeden Werkes ist das Wort,
der Anfang jeder Tat ist Überlegung.
Die Wurzel der Pläne ist das Herz.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, all denjenigen zu danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Gerd Schulte für die Betreuung dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Angela Lausch für die sehr umfangreiche, kompetente und geduldige Betreuung. Sie war mir stets Ansprech- und Diskussionspartnerin und gab mir viele praktische und theoretische Hilfestellungen.

Für die Bereitstellung wichtiger Daten und für konstruktive Diskussionen bedanke ich mich bei der Regionalen Planungsstelle des Regionalen Planungsverbandes Westsachsen, vertreten durch Herrn Dr. Berkner (der mir im Rahmen einer Exkursion die Braunkohlentagebaue näher gebracht hat) und Herrn Thomas.

Für die Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung der digitalen Landschaften bedanke ich mich bei Frau Sylvia Küster und Frau Angelika Jentsch.

Neben den Personen, die mich fachlich unterstützt haben, sollen auch all diejenigen nicht vergessen werden, die am Gelingen dieser Arbeit indirekten Anteil haben. Hier seien besonders meine Eltern und Geschwister, aber auch alle engeren und weiteren Freunde genannt, die mich in guten und weniger guten Zeiten unterstützt und begleitet haben und begleiten werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
2. BEGRIFFSDEFINITIONEN UND ERFASSUNGSEBENEN	4
2.1. BEGRIFFSDEFINITIONEN	4
2.1.1. <i>Korridor (engl. corridor)</i>	4
2.1.2. <i>Landnutzung (engl. land use)</i>	4
2.1.3. <i>Landschaft (engl. landscape)</i>	4
2.1.4. <i>Landschaftselement (engl. landscape element, patch)</i>	4
2.1.5. <i>Landschaftsstruktur (engl. landscape structure)</i>	5
2.1.6. <i>Landschaftsstrukturmaße (engl. landscape metrics)</i>	5
2.1.7. <i>Matrix (engl. matrix)</i>	5
2.2. ERFASSUNGSEBENEN	5
2.2.1. <i>Patch-Ebene</i>	5
2.2.2. <i>Klassen-Ebene (engl. class)</i>	6
2.2.3. <i>Landschafts-Ebene (engl. landscape)</i>	6
3. UNTERSUCHUNGSGEBIET	7
3.1. WAHL DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	7
3.2. ADMINISTRATIVE EINORDNUNG	7
3.3. NATURRÄUMLICHE EINORDNUNG	8
3.3.1. <i>Sächsisch-Niederlausitzer Heide</i>	9
3.3.2. <i>Sächsisches Lößgefilde</i>	10
4. DATENGRUNDLAGEN UND RECHNERAUSSTATTUNG	12
4.1. DATENGRUNDLAGEN	12
4.1.1. <i>Corona-Satellitendaten</i>	12
4.2. RECHNERAUSSTATTUNG	14
5. METHODEN	15
5.1. ERSTELLUNG DER DIGITALEN LANDSCHAFT 1994	16
5.2. ERSTELLUNG DER DIGITALEN LANDSCHAFT 1984	20
5.3. ERSTELLUNG DER DIGITALEN LANDSCHAFT 1965	22
5.4. BERECHNUNG DER LANDSCHAFTSSTRUKTUR	24
5.4.1. <i>Parameter der Berechnung</i>	26
5.5. AUSWAHL RELEVANTER LANDSCHAFTSSTRUKTURMAßE	26
5.5.1. <i>Landschaftsstrukturmaße: Flächen- und Dichtemaße</i>	27
5.5.2. <i>Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaße</i>	29
5.5.3. <i>Landschaftsstrukturmaße: Maße der Form und Gestalt</i>	29
5.5.4. <i>Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft</i>	30
5.5.5. <i>Landschaftsstrukturmaße: Maße der Diversität und Verteilung</i>	30
5.5.6. <i>Landschaftsstrukturmaße: Maße der Zerteilung</i>	31
6. ERGEBNISSE	32
6.1. LANDSCHAFTSEBENE	32
6.1.1. <i>Gesamtlandschaft</i>	32
6.1.1.1. <i>Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße</i>	32
6.1.1.2. <i>Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaße</i>	33
6.1.1.3. <i>Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt</i>	34

6.1.1.4.	Landschaftsstrukturmaße: Maße der Diversität und Verteilung	34
6.1.2.	<i>Naturräume</i>	35
6.1.2.1.	Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße	35
6.1.2.2.	Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß	37
6.1.2.3.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt	38
6.1.2.4.	Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft	39
6.1.2.5.	Landschaftsstrukturmaße: Maße der Diversität und Verteilung	39
6.2.	KLASSENEBENE	41
6.2.1.	<i>Gesamtlandschaft</i>	41
6.2.1.1.	Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße	41
6.2.1.2.	Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß	44
6.2.1.3.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt	44
6.2.1.4.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Diversität und Verteilung	45
6.2.2.	<i>Lößhügellandschaft</i>	46
6.2.2.1.	Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße	46
6.2.2.2.	Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß	47
6.2.2.3.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt	48
6.2.2.4.	Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft	49
6.2.2.5.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Diversität und Verteilung	50
6.2.3.	<i>Auenlandschaft</i>	50
6.2.3.1.	Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße	50
6.2.3.2.	Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß	52
6.2.3.3.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt	53
6.2.3.4.	Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft	54
6.2.3.5.	Landschaftsstrukturmaße: Maß der Diversität und Verteilung	54
6.3.	ZUSAMMENFASSUNG	55
7.	DISKUSSION	58
7.1.	EIGNUNG DER LANDSCHAFT ALS OBJEKT DES MONITORINGS	58
7.1.1.	<i>Landschaften und ihre Strukturen</i>	58
7.1.2.	<i>Landschaftsmonitoring durch Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße</i> ..	59
7.2.	METHODEN DES LANDSCHAFTSMONITORINGS	62
7.2.1.	<i>Visuelle Interpretation von Satellitenbildern</i>	62
7.2.2.	<i>Quantifizierung der Landschaftsstruktur aus Fernerkundungsdaten und ihre Einflussfaktoren</i>	63
7.3.	ERGEBNISSE DES LANDSCHAFTSMONITORINGS	64
7.3.1.	<i>Landschaftsebene: Gesamtlandschaft</i>	64
7.3.2.	<i>Landschaftsebene: Naturräume</i>	66
7.4.	ERGEBNISDISKUSSION AUF KLASSENEBENE	70
7.4.1.	<i>Gesamtlandschaft</i>	70
7.4.2.	<i>Lößhügellandschaft</i>	73
7.4.3.	<i>Auenlandschaft</i>	75
7.5.	BEWERTUNG DER LANDSCHAFTSENTWICKLUNG	78
7.5.1.	<i>Bewertung der Entwicklung im Regierungsbezirk Leipzig</i>	79
7.5.2.	<i>Bewertung der Entwicklung in der Lößhügellandschaft</i>	80
7.5.3.	<i>Bewertung der Entwicklung in der Auenlandschaft</i>	80
8.	AUSBLICK	81
9.	ZUSAMMENFASSUNG	83
10.	LITERATURVERZEICHNIS	85

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Hierarchisches System von Begriffen zum Umweltmonitoring	2
Abb. 2: Lage des Untersuchungsgebietes	8
Abb. 3: Naturräumliche Gliederung des Regierungsbezirkes Leipzig	9
Abb. 4: Methodische Schwierigkeiten und Fehlerquellen bei der Erstellung der klassifizierten Landschaftszeitschnitte	19
Abb. 5: Allgemeine Arbeitsschritte zur Erstellung klassifizierter Landnutzungskarten aus Satellitenbildern	21
Abb. 6: Allgemeine Arbeitsschritte zur Erstellung des Satellitenbildes 1965 aus Rohdaten ..	23
Abb. 7: Skalenebene und methodische Ansätze der Landschaftsanalyse	24
Abb. 8: Nachbarschaftsbeziehungen: 4er- und 8er-Umgebung	25
Abb. 9: Landschaftsstrukturmaße und die Ebenen ihrer Berechnung mit dem Programm FRAGSTATS 3.3	27
Abb. 10: Flächenmaße <i>Largest Patch Index (LPI)</i> , <i>Number of Patches (NP)</i> , <i>Patch Density (PD)</i> , <i>Area Mean (AREA_MN)</i> und <i>Area Coefficient of Variation (AREA_CV)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	33
Abb. 11: Kantenmaß <i>Edge Density (ED)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	33
Abb. 12: Maß der Form und Gestalt <i>Landscape Shape Index (LSI)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	34
Abb. 13: Maße der Diversität und Verteilung <i>Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)</i> und <i>Shannon`s Diversity Index (SHDI)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	34
Abb. 14: Größe der einzelnen Naturräume [<i>Total Area: TA</i>] und ihre prozentualen Anteile [<i>Percent of Landscape: %LAND</i>] an der Gesamtlandschaft	35
Abb. 15: Flächenmaße <i>Largest Patch Index (LPI)</i> , <i>Number of Patches (NP)</i> , <i>Patch Density (PD)</i> , <i>Area Mean (AREA_MN)</i> und <i>Area Coefficient of Variation (AREA_CV)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994	37
Abb. 16: Kantenmaß <i>Edge Density (ED)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994	38
Abb. 17: Maß der Form und Gestalt <i>Landscape Shape Index (LSI)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994	38
Abb. 18: Maße der nächsten Nachbarschaft <i>Mean Euclidean Nearest Neighbor (ENN_MN)</i> und <i>Euclidean Nearest Neighbor Coefficient of Variation (ENN_CV)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994	39
Abb. 19: Maße der Diversität und Verteilung <i>Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)</i> und <i>Shannon`s Diversity Index (SHDI)</i> berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994	40
Abb. 20a: Flächenmaße <i>Class Area (CA)</i> , <i>Percent of Landscape (%LAND)</i> , <i>Largest Patch Index (LPI)</i> , <i>Number of Patches (NP)</i> und <i>Patch Density (PD)</i> berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	42
Abb. 20b: Flächenmaße <i>Area Mean (AREA_MN)</i> und <i>Area Coefficient of Variation (AREA_CV)</i> berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994 ..	43
Abb. 21: Kantenmaß <i>Edge Density (ED)</i> berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	44
Abb. 22: Maß der Form und Gestalt: <i>Landscape Shape Index (LSI)</i> berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	45
Abb. 23: Maß der Diversität und Verteilung: <i>Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)</i> berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994	45

Abb. 24: Flächenmaße <i>Class Area (CA)</i> , <i>Percent of Landscape (%LAND)</i> , <i>Largest Patch Index (LPI)</i> , <i>Number of Patches (NP)</i> , <i>Patch Density (PD)</i> , <i>Area Mean (AREA_MN)</i> und <i>Area Coefficient of Variation (AREA_CV)</i> berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994	47
Abb. 25: Kantenmaß <i>Edge Density (ED)</i> berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994	48
Abb. 26: Maß der Form und Gestalt <i>Landscape Shape Index (LSI)</i> berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994	48
Abb. 27: Maß der nächsten Nachbarschaft <i>Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_MN)</i> und <i>Mean Coefficient of Variation of Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_CV)</i> berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994	49
Abb. 28: Maß der Diversität und Verteilung <i>Interspersion & Juxtaposition Index (IJI)</i> berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994	50
Abb. 29: Flächenmaße <i>Class Area (CA)</i> , <i>Percent of Landscape (%LAND)</i> , <i>Largest Patch Index (LPI)</i> , <i>Number of Patches (NP)</i> , <i>Patch Density (PD)</i> , <i>Area Mean (AREA_MN)</i> und <i>Area Coefficient of Variation (AREA_CV)</i> berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994	51
Abb. 30: Kantenmaß <i>Edge Density (ED)</i> berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994	53
Abb. 31: Maß der Form und Gestalt <i>Landscape Shape Index (LSI)</i> berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994	53
Abb. 32: Maß der nächsten Nachbarschaft <i>Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_MN)</i> und <i>Mean Coefficient of Variation of Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_CV)</i> berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994	54
Abb. 33: Maß der Diversität und Verteilung <i>Interspersion & Juxtaposition Index (IJI)</i> berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994	55
Abb. 34: Zusammenfassung der Landschaftsentwicklung des Regierungsbezirkes Leipzig von 1965 bis 1994	56
Abb. 35: Zusammenfassung der Landschaftsentwicklung der Naturräume Lößhügellandschaft und Auenlandschaft von 1965 bis 1994	57

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Grundlagendaten	12
Tab. 2: Aufnahmeparameter des CORONA-Satellitensystems	13
Tab. 3: Reduzierung der Landbedeckungsklassen zwischen Biotoptypenkartierung, visueller digitaler Erfassung und FRAGSTATS-Berechnung	17
Tab. 4: Flächen- und Dichtemaße	28
Tab. 5: Kantenmaße	29
Tab. 6: Maße der Form und Gestalt	29
Tab. 7: Maße der nächsten Nachbarschaft	30
Tab. 8a: Maße der Diversität und Verteilung	30
Tab. 8b: Maße der Diversität und Verteilung – Fortsetzung	31
Tab. 9: Maße der Zerteilung	31
Tab. 10: Landschaftsstrukturmaße der Gesamtlandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Landschaftsebene	Anhang D
Tab. 11: Landschaftsstrukturmaße der Naturräume des Regierungsbezirkes Leipzig auf Landschaftsebene	Anhang D
Tab. 12: Landschaftsstrukturmaße der Gesamtlandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Klassenebene	Anhang D
Tab. 12: Landschaftsstrukturmaße der Lößhügellandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Klassenebene	Anhang D
Tab. 12: Landschaftsstrukturmaße der Auenlandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Klassenebene	Anhang D

KARTENVERZEICHNIS

- Karte 1: Regierungsbezirk Leipzig - CORONA-Aufnahme vom 03.05.1965Anhang A
- Karte 2: Regierungsbezirk Leipzig - Landsat-TM vom 20.04.1984Anhang A
- Karte 3: Regierungsbezirk Leipzig - Landsat-TM vom 21.07.1994Anhang A
- Karte 4: Regierungsbezirk Leipzig - Biotoptypen und Landnutzung 1965Anhang A
- Karte 5: Regierungsbezirk Leipzig - Biotoptypen und Landnutzung 1984Anhang A
- Karte 6: Regierungsbezirk Leipzig - Biotoptypen und Landnutzung 1994Anhang A
- Karte 7: Regierungsbezirk Leipzig - NaturräumeAnhang A

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AREA_CV	Coefficient of Variation of Area Mean
AREA_MN	Area Mean
ATKIS	Amtliches topographisches kartographisches Informationssystem
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CA	Class Area
CCRS	Canadian Centre for Remote Sensing
CIR	Color Infrarot
dpi	dots per inch
ED	Edge Density
Einw.	Einwohner
ENN_CV	Coefficient of Variation of Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance
ENN_MN	Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance
et al.	et alii (deutsch: und andere)
FE	Fernerkundung
ft	feet (englische Maßeinheit) = 30,48 cm
GIS	Geoinformationssystem
IJI	Interspersion and Juxtaposition Index
Landsat-TM	Landsat-Thematic Mapper
LPI	Largest Patch Index
LSI	Landscape Shape Index
LSM	Landschaftsstrukturmaß(e)
NP	Number of Patches
PD	Patch Density
RBZ	Regierungsbezirk Leipzig
SHDI	Shannon's Diversity Index
TA	Total Area
Tab.	Tabelle
TK	Topographische Karte
üNN	über Normal Null
UFZ	Umweltforschungszentrum Leipzig/Halle GmbH
USGS	United States Geological Survey
%LAND	Percent of Landscape

1. Einleitung

Trotz umfangreicher und intensiver nationaler und internationaler Anstrengungen ist der Verlust der biologischen Vielfalt bis heute kaum aufzuhalten. Die wesentlichsten Gründe hierfür sehen viele Autoren im Verlust von Lebensräumen, in einer schleichenden Verschlechterung der Habitatqualität und einer Verinselung der verbliebenen Resthabitate (AMLER et al. 1999, u. a.).

Der Schutz der biologischen Vielfalt ist nicht nur im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) auf nationaler Ebene, sondern im „Internationalen Übereinkommen über die biologische Vielfalt“ (DER BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT o. J.) auch auf internationaler Ebene als Ziel formuliert. Hierin ist ausdrücklich auch die Vielfalt der Ökosysteme und damit deren Struktur und Funktion integriert. Die Landschaftsebene spielt hierbei eine bedeutende Rolle, da die Struktur der Landschaft direkten Einfluss auf die Funktion der Ökosysteme und damit den Artenreichtum hat. WALZ (2001) stellt fest, dass die heutige Landschaftsstruktur und ihre geschichtliche Entwicklung als ein Indikator zur Charakterisierung des anthropogenen Einflusses betrachtet werden kann. Die Reichhaltigkeit der Landschaften und die Diversität an Lebensräumen innerhalb einer Landschaft ist von großer Bedeutung für die ökologische Vielfalt.

Um die landschaftliche Vielfalt und ihre zeitliche Entwicklung zu erfassen, empfiehlt der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU 1994) ein Landschaftsmonitoring zur Ermittlung und Bewertung struktureller Veränderungen der Landschaft. Er sieht den Wandel in der Nutzungsstruktur als ein wesentliches Kriterium für die Bewertung von Landschaften an. Das Landschaftsmonitoring stellt somit eine wichtige Form des Umweltmonitorings dar und ergänzt das von TRAXLER (1998) erstellte hierarchische System von Monitoringbegriffen (vgl. Abb. 1).

Vor allem in den letzten 10 bis 15 Jahren haben sich mit der Entwicklung leistungsstarker Geoinformationssysteme (GIS) und umfangreicher Programme und Methoden zur Bearbeitung von Luft- und Satellitenbildern Möglichkeiten ergeben, mit denen sich relativ schnell, kostengünstig und mit wenig Personalaufwand die Nutzungs- und Landschaftsstruktur erfassen lässt. Parallel zu dieser Entwicklung hat sich zuerst in Nordamerika, seit etwa 5 Jahren vermehrt auch in Europa, eine Teildisziplin innerhalb der Landschaftsökologie entwickelt, die sich vorrangig mit der Analyse der Landschaftsstruktur und ihren Einflüssen auf die Funktion der Ökosysteme beschäftigt. Eine Kombination aus Fernerkundung, GIS und

quantitativer Landschaftsanalyse stellt derzeit eine der besten Möglichkeit für ein großräumiges und gleichzeitig mit vertretbarem Aufwand durchführbares Landschaftsmonitoring dar (WALZ 2001).

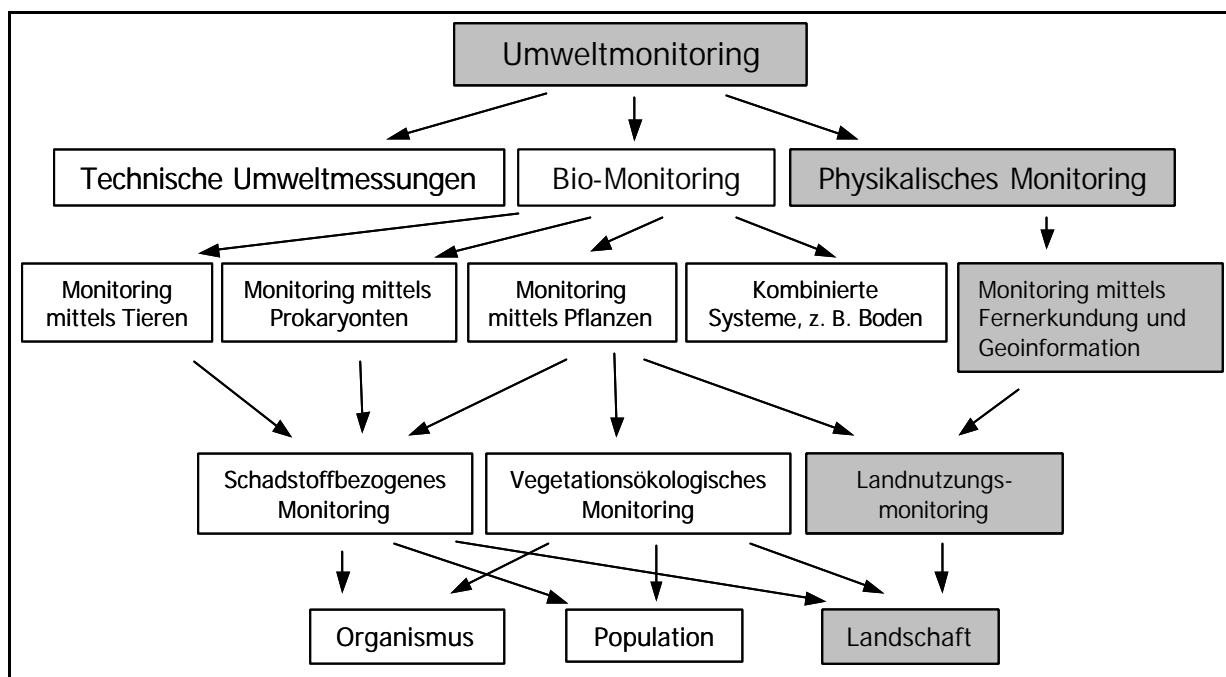


Abb. 1: Hierarchisches System von Begriffen zum Umweltmonitoring – eigene Themen grau hinterlegt, weitere Möglichkeiten weiß hinterlegt (verändert nach TRAXLER (1998)).

Die von den nordamerikanischen Ökologen Richard Forman und Michel Godron (FORMAN & GODRON 1986, FORMAN 1995) geprägte und in Europa relativ junge Teildisziplin der Landschaftsökologie steht noch am Beginn der Erforschung von Zusammenhängen zwischen der Landschaftsstruktur auf der einen Seite und der Funktion und der Artenzahl bzw. der Artenzusammensetzung einzelner Ökosysteme auf der anderen Seite. TURNER et al. (2001) legen vier Gründe dar, aus denen es wichtig ist das landschaftliche Muster zu erfassen: a) zur Erfassung des Landschaftswandels über die Zeit, b) zum Vergleich einer Entwicklung innerhalb verschiedener Landschaften, c) zur Analyse von Planungsvarianten vor ihrer landschaftlichen Umsetzung und d) zur Untersuchung der Auswirkungen des Landschaftswandels auf Prozesse der Umwelt (Migrationsprozesse, Nährstoffverlagerungen, Ausbreitung der Umweltzerstörung).

Landschaftsstrukturmaße bieten die Möglichkeit das Landschaftsmuster zu beschreiben. In der Sektion „Angewandte Landschaftsökologie“ des Umweltforschungszentrums Leipzig/Halle wird seit mehreren Jahren schwerpunkthaft nach den Zusammenhängen zwischen Struktur und Funktion geforscht.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, anhand des Beispielraumes Regierungsbezirk Leipzig die Entwicklung der Landschaftsstruktur über drei Zeitschnitte hinweg aufzuzeigen und zu analysieren. Zum Einsatz kamen hierbei sehr unterschiedliche Ausgangsdaten: multispektrale Satellitenbilder mit einer Bodenauflösung von 30 m (Landsat-TM), panchromatische Satellitenbilder mit einer Bodenauflösung von 2,7 m (CORONA), Topographische Karten im Maßstab 1:25.000 und die Biotoptypenkartierung des Freistaates Sachsen im Maßstab 1:10.000. Es soll untersucht werden, ob es innerhalb des Regierungsbezirkes Unterschiede in der Entwicklung gegeben hat. Hierzu wird ein räumlicher und zeitlicher Vergleich verschiedener Landschaftsausschnitte durchgeführt.

Nach einer Einordnung des Untersuchungsgebietes in den naturräumlichen Gesamtkontext und der Definition der für diese Arbeit wichtigsten Fachbegriffe werden die Methoden dieser Arbeit vorgestellt. Hierbei werden die Bearbeitungsschritte von der Bearbeitung der Rohdaten der Satellitenaufnahmen bis zum fertigen Bild einer digitalen Landschaft sowie deren quantitative Analyse und Beschreibung behandelt. Danach folgt die Darstellung und Analyse der Landschaftsentwicklung des Gesamtgebietes und zwei seiner Untereinheiten (Naturräume): Lößhügellandschaft und Auenlandschaft.

2. Begriffsdefinitionen und Erfassungsebenen

An dieser Stelle soll kurz auf einige für diese Arbeit wesentlich Begriffe eingegangen werden, deren Verständnis wichtig und deren Definition in der Literatur nicht immer einheitlich ist.

2.1. Begriffsdefinitionen

2.1.1. Korridor (engl. corridor)

Streifen eines speziellen Typs, der sich von dem angrenzenden Land auf beiden Seiten unterscheidet. Korridore haben verschiedene Funktionen wie Leitbahn, Barriere und Habitat (FORMAN 1995).

2.1.2. Landnutzung (engl. land use)

Landnutzung bezeichnet nach BASTIAN & SCHREIBER (1999) die Inanspruchnahme und somit auch die Gestaltung von Teilen der Erdoberfläche oder der Naturressourcen eines bestimmten Raumes. Der Begriff beschränkt sich nicht nur auf die Prozesse der Landnutzung (z. B. Ackerbau), sondern umfasst auch deren Erscheinungen und Ergebnis (räumliche Anordnung der Landschaftselemente).

2.1.3. Landschaft (engl. landscape)

„Nach Struktur (Landschaftsbild) und Funktion (Landschaftshaushalt) geprägter, als Einheit aufzufassender Ausschnitt der Erdoberfläche, aus einem Gefüge von Ökosystemen oder Ökotypen bestehend. Eine Naturlandschaft wird überwiegend von naturbedingten, eine Kulturlandschaft überwiegend von kulturbedingten Ökosystemen eingenommen.“ (AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE 1984, S. 12). Nach HABER (1995) sind in ganz Mitteleuropa und in weiten Teilen des übrigen Europa ausschließlich Kulturlandschaften zu finden.

2.1.4. Landschaftselement (engl. landscape element, patch)

Nach FORMAN (1995) ist ein Patch eine in sich relativ homogene Fläche, die sich von ihrer Umgebung unterscheidet. FORMAN & GODRON (1986) setzen ein „Patch“ mit einem „landscape element“ als kleinstes, weitgehend homogenes (je nach Betrachtungsmaßstab)

Einzelelement der Landschaft gleich. Innerhalb des Patch-Korridor-Matrix-Modells von FORMAN & GODRON (1986) wird zwischen fleckenartigen (Patch), linienartigen (Korridor) und umgebenden (Matrix) Landschaftselementen unterschieden.

2.1.5. Landschaftsstruktur (engl. landscape structure)

Aus dem Erscheinungsbild des Raummusters und aus der haushaltlichen Funktion der Raumeinheiten zusammengesetzte, also aus formalen und funktionalen Merkmalen bestehende Struktur. Dies gilt sowohl für die Naturlandschaft als auch für die Kulturlandschaft oder eine integrativ betrachtete Landschaft. (LESER et al. 1987)

2.1.6. Landschaftsstrukturmaße (engl. landscape metrics)

Die räumliche Anordnung und die Struktur der Landschaftselemente in einer Landschaft kann durch Landschaftsstrukturmaße quantitativ beschrieben und dokumentiert werden. Hierbei spielen sowohl die Komposition (Zusammensetzung) als auch die Konfiguration (Anordnung) eine wesentliche Rolle. Nach MCGARIGAL & MARKS (1994) unterscheidet man Flächen-, Form- und Kantenmaße, Dichte- und Kernflächenmaße, Maße der nächsten Nachbarschaft und Verteilung sowie Maße der Zerstreuung und Berührung.

2.1.7. Matrix (engl. matrix)

„Hintergrundökosystem oder Landnutzungstyp in einem Mosaik, charakterisiert durch ausgedehnte Flächendeckung, hohem Verbindungsgrad und/oder hauptsächliche Kontrolle über die Dynamik.“ (FORMAN 1995 aus WALZ 2001 S. 182) In agrarisch dominierten Landschaften wird die Matrix in der Regel von landwirtschaftlich genutzten Flächen (Ackerschlägen) bestimmt.

2.2. Erfassungsebenen

2.2.1. Patch-Ebene

Als Patch wird die kleinste in sich homogene Einheit einer Landschaft verstanden (FORMAN & GODRON 1986). Die Betrachtung der Patch-Ebene bei der Berechnung der Landschaftsstrukturparameter wurde in dieser Arbeit nicht vorgenommen, da die Auswertungen das Ausmaß dieser Arbeit sprengen würden.

2.2.2. Klassen-Ebene (engl. class)

Gesamtheit aller Einzelflächen (patches, landscape elements) einer thematisch abgegrenzten Klasse (LAUSCH 2000). In dieser Arbeit werden zur Berechnung insgesamt 12 Klassen berücksichtigt.

2.2.3. Landschafts-Ebene (engl. landscape)

„Gesamtheit aller thematisch abgegrenzten Klassen eines Raumes“ (LAUSCH 2000, S. 14). In dieser Arbeit wird sowohl der Regierungsbezirk Leipzig (= Gesamtraum), als auch die 7 Naturräume auf der Landschaftsebene untersucht.

3. Untersuchungsgebiet

3.1. Wahl des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet, das die Grundlage dieser Arbeit darstellt, ist der Regierungsbezirk Leipzig (RBZ). Die Wahl dieses Gebietes hatte verschiedene Gründe: Zum einen lag für den Regierungsbezirk eine umfangreiche Datengrundlage am UFZ vor bzw. wurde im Laufe des Jahres 2002 angeschafft. Sie umfasst die Satellitendaten für die Jahre 1965, 1984 und 1994 sowie die CIR-Biotoptypenkartierung von 1992/93. Zum anderen besitzt das UFZ eine umfangreiche Kartensammlung (u. a. TK 25 von 1992/93, ATKIS-Daten von 1994, topographische Karten der DDR von 1984), so dass eine gute zusätzliche Datengrundlage zu den Satellitenbildern gegeben war.

Um die Landschaftsentwicklung des gesamten Regierungsbezirkes auch auf regionale Besonderheiten hin untersuchen zu können, wurde eine zweite Untersuchungsebene eingeführt. Diese sollte einerseits die natürlichen Gegebenheiten des Raumes und damit die wirtschaftlichen Flächennutzungsfaktoren widerspiegeln, andererseits den Regierungsbezirk in eine sinnvolle Anzahl an Untersuchungsflächen aufteilen. Die vom REGIONALEN PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (1999) vorgenommene Einteilung des Regierungsbezirkes Leipzig in sieben Naturräume (vgl. Karte 7) ist für das Anliegen dieser Arbeit gut geeignet. Diese Einteilung beinhaltet zum einen die fünf hauptsächlich von der naturräumlichen Ausstattung geprägten Naturräume Auenlandschaft, Heidelandschaft, Lößhügellandschaft, Porphyrhügellandschaft und Sandlöß-Ackerlandschaft sowie die im wesentlichen durch ihre massive anthropogene Überprägung gekennzeichneten Naturräume Bergbaulandschaft und urbane Landschaft.

3.2. Administrative Einordnung

Der Regierungsbezirk (RBZ) Leipzig liegt im Nordwesten des Freistaates Sachsen und bildet diesen zusammen mit den Regierungsbezirken Chemnitz und Dresden. Er grenzt im Westen und Norden an das Bundesland Sachsen-Anhalt, im Osten an Brandenburg und den Regierungsbezirk Dresden, im Süden an den Regierungsbezirk Chemnitz und im Südwesten an das Bundesland Thüringen. Im Jahr 2000 lebten im RBZ Leipzig 1.091.735 Menschen auf einer Gesamtfläche von 4385,60 km² (~248,9 Einw./km²) (STATISTISCHES LANDESAMT DES

FREISTAATES SACHSEN 2001). Der Regierungsbezirk setzt sich aus der kreisfreien Stadt Leipzig (493.208 Einw., 297,5 km²) sowie den Kreisen Delitzsch (128.338 Einw., 852,1 km²), Döbeln (77.942 Einw., 423,9 km²), Leipziger Land (153.973 Einw., 751,9 km²), Mulden-talkreis (136.545 Einw., 892,6 km²) und Torgau-Oschatz (101.729 Einw., 1167,5 km²) zusammen (vgl. Abb. 2).

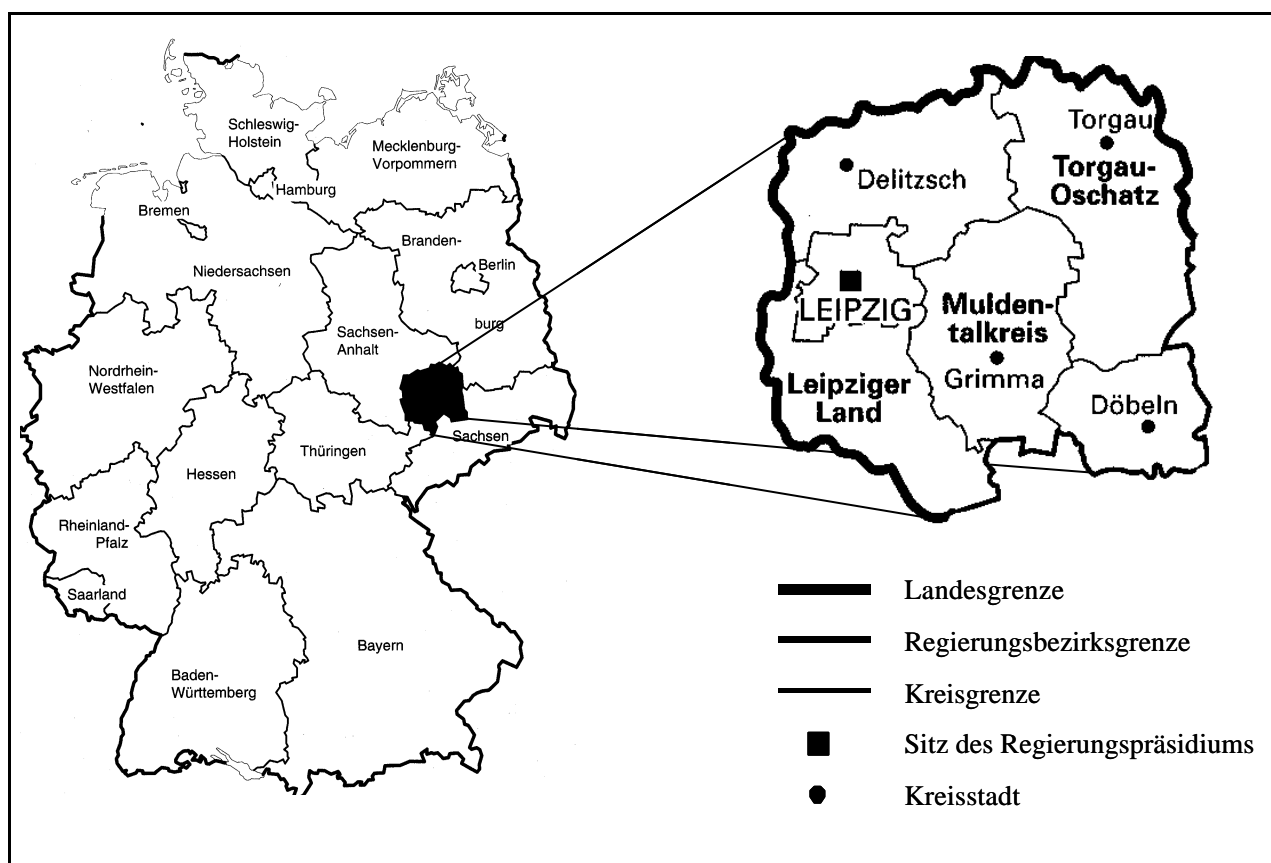


Abb. 2: Lage des Untersuchungsgebietes (verändert nach REGIONALER PLANUNGSVERBAND WEST-SACHSEN (1999) und KOWALKE (2000)).

3.3. Naturräumliche Einordnung

Die natürliche Ausstattung des Regierungsbezirkes Leipzig umfasst nach BERNHARDT et al. (1986) die großen europäischen Makroformen des Tieflandsgürtels (Sächsisches Niederlausitzer Heideland) und des Lößgürtels (Sächsisches Lößgefilde) (Abb. 3). Das das Bundesland Sachsen in weiten Teilen prägende Sächsische Bergland und die Mittelgebirge liegen südlich des RBZ Leipzig.

Von Norden und Nordwesten steigt das Gelände nach Süden und Südosten von etwa 65 m üNN auf etwa 250 m üNN an. Dem Gelände folgend steigt auch der Niederschlag von < 550 mm im Raum Delitzsch auf 650-700 mm im Mulde-Lößhügelland an.

Neben den naturräumlichen Einordnungen des Untersuchungsgebietes von BERNHARDT et al. (1986) und MANNSFELD & RICHTER (1995) nimmt SCHLÜTER (1991) eine ökologische Gliederung aufgrund von Vegetationsmerkmalen vor, die hier nicht weiter beachtet wird.

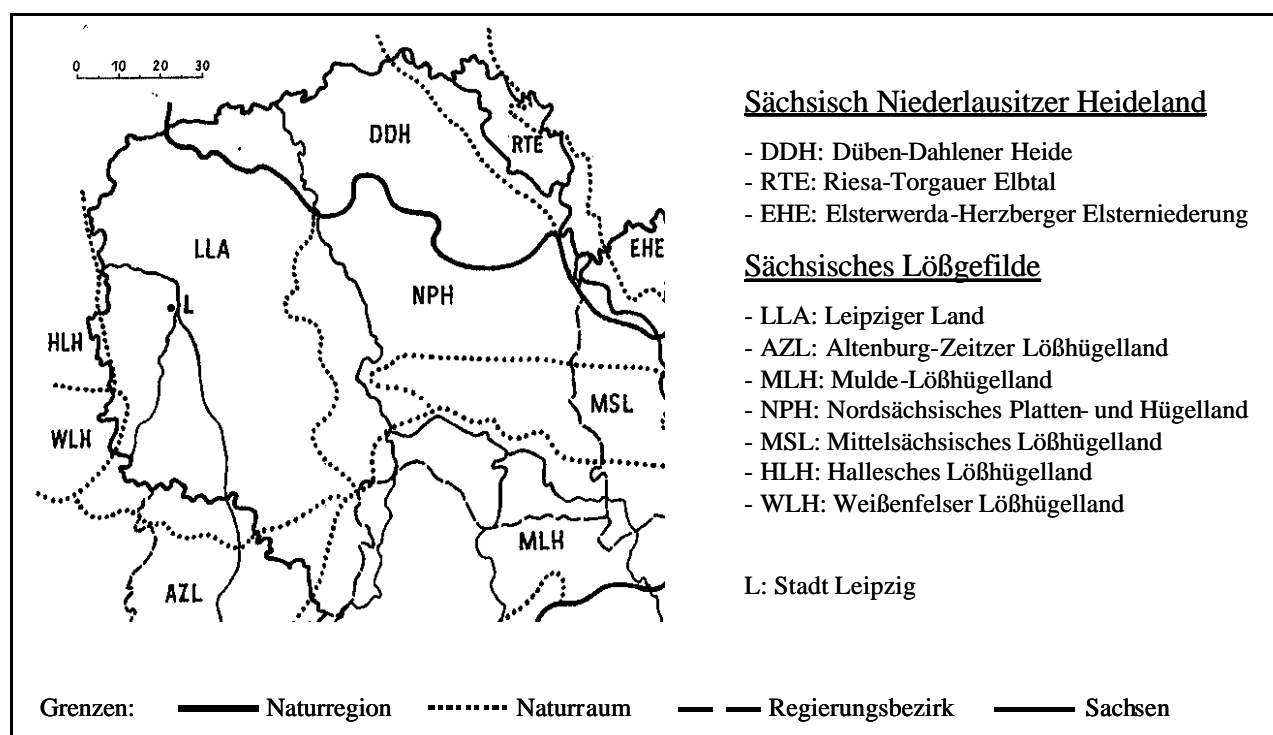


Abb. 3: Naturräumliche Gliederung des Regierungsbezirkes Leipzig (verändert nach BERNHARDT et al. (1986) und STEFFENS et al. (1998)).

3.3.1. Sächsisch-Niederlausitzer Heideland

Das Sächsisch Niederlausitzer Heideland wird im RBZ Leipzig gebildet aus Teilen der Düben-Dahlener Heide und des Riesa-Torgauer Elbtals und ist Teil des Altmoränengebietes. Dieses wird nach BERNHARDT et al. (1986) vor allem durch intensiv verwitterte, nährstoffarme Böden und einen besonderen Reichtum an Grundwasser geprägt. Das dritte naturräumlich besondere Merkmal der Sächsisch-Niederlausitzer Heidelandschaft, die tertiären Braunkohlenlagerstätten, liegt nur zu einem sehr kleinen Teil im äußersten Norden innerhalb des RBZ Leipzig. Der Nordosten des Untersuchungsgebietes besitzt die größten zusammenhängenden Waldgebiete (36 % Waldanteil) und die einzigen größeren Übergangs- und Nieder-

moore des Regierungsbezirkes (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (1999), vergleiche auch Karten 4-6). Insgesamt besitzt die Sächsisch-Niederlausitzer Heidelandschaft laut MANNSFELD & RICHTER (1995) ein stark kontinental ausgeprägtes Klima. Dies zeigt sich in der Temperaturdifferenz zwischen Januar- und Julimitteltemperatur, die \varnothing 19 K beträgt.

Das Riesa-Torgauer Elbtal erstreckt sich nach MANNSFELD & RICHTER (1995) von etwa 90 m üNN bis auf 65 m üNN am nördlichen Rand des Regierungsbezirkes. Es wird in seiner naturräumlichen Ausstattung vollständig von der Elbe dominiert und weist aufgrund seiner nährstoffreichen Auenböden eine intensive landwirtschaftliche Nutzung auf, die heute nahezu keine Wälder mehr zulässt. Ende der 1980er Jahre befand sich Grünland nur noch innerhalb der Hochwasserschutzdämme, außerhalb dieser Dämme wird nahezu der gesamte Raum vom Ackerbau dominiert (BERNHARDT et al. 1986).

Die Düben-Dahlener Heide wird durch zwei Stauchendmoränengebiete der Saale-Kaltzeit geprägt, die eine Höhe von 190 bzw. 215 m üNN erreichen (MANNSFELD & RICHTER 1995). Eine Überdeckung der Moränen durch äolische Sedimente gibt es nicht. Bei teilweise < 550 mm Jahresniederschlag und hauptsächlich kiesigen und sandigen Substraten konzentriert sich die Landwirtschaft vor allem auf die lehmigeren Bereiche. Die landwirtschaftlich nur schlecht nutzbaren Gebiete werden laut BERNHARDT et al. (1986) heute vor allem forstlich genutzt und von Kiefernmonokulturen dominiert.

Das hier beschriebene Sächsisch-Niederlausitzer Heideland entspricht weitgehend der Einteilung der Heidelandschaft und Teilen der Auenlandschaft des REGIONALEN PLANUNGSVERBANDES WESTSACHSEN (1999) (vgl. Karte 7).

3.3.2. Sächsisches Lößgefülle

Das Sächsische Lößgefülle erstreckt sich südlich des Sächsisch-Niederlausitzer Heidelandes und wird im Süden durch die außerhalb des Untersuchungsgebietes liegende Mittelgebirgsschwelle begrenzt. Es wird geprägt durch eine sehr unterschiedlich mächtige äolische Sedimentdecke und durch einen von Nordwest nach Südost abnehmenden Einfluss des Regenschattenbereiches des Harzes und der thüringischen Gebirge (MANNSFELD & RICHTER 1995). Das Sächsische Lößgefülle setzt sich im Regierungsbezirk Leipzig zusammen aus Leipziger Land, Nordsächsischem Platten- und Hügelland, Mittelsächsischem Hügelland, Mulde-Lößhügelland und Altenburg-Zeitzer Lößhügelland. Das Hallesche Lößhügelland und das Weißenfelder Lößhügelland liegt nur minimal innerhalb des Untersuchungsraumes (STEFFENS et al. 1998, vgl. Abb. 3).

Das Leipziger Land im Westen des Regierungsbezirkes wird durch eine etwa 1 m (häufig 0,6 m, selten bis 2 m) mächtige Sandlößdecke geprägt, der nach MANNSFELD & RICHTER (1995) elster- und saalezeitliche Schotterterrassen und Grundmoränen unterlagert sind und dem Leipziger Land ein flaches Relief verleihen. Im südlichen Teil werden seit etwa 250 Jahren mit wechselnder Intensität tertiäre Braunkohlen abgebaut (BERKNER 1998), was die ansonsten von der Landwirtschaft geprägte Landschaftsnutzung stark beeinflusst. Durch den Braunkohletagebau und die Aufschüttung von Abraumhalden kam es in jüngster Zeit zu Übertiefungen von bis zu 100 m und zu Überhöhungen von bis zu 68 m gegenüber dem umliegenden Geländeniveau (BERKNER 1998). Die Stadt Leipzig nimmt ebenfalls einen großen Teil dieses Naturraumes ein. Ansonsten wird das Leipziger Land, wie auch das Nordsächsische Platten- und Hügelland, von der Landwirtschaft dominiert (BERNHARDT et al. 1986). Die Gliederung des REGIONALEN PLANUNGSVERBANDES WESTSACHSEN umfasst für das Leipziger Land die Sandlöß-Ackerebenen Landschaft, die Bergbaufolgelandschaft und weite Bereiche der urbanen Landschaft (vgl. Abb. 3 und Karte 7).

Das Nordsächsische Platten- und Hügelland besteht im Untergrund aus wellig und hügelig abgelagerten elster- und spätsaalezeitlichen glazialen Sedimenten, die an zahlreichen Stellen von Gesteinen des Nordsächsischen Vulkanitbeckens, hauptsächlich von Porphyrvarietäten, bis in relative Höhen von 80 m durchbrochen werden. Nach BERNHARDT et al. (1986) wird der gesamte Bereich des Platten- und Hügellandes von einer von Norden nach Süden zunehmend schluffreicheren, geringmächtigen Sandlößdecke überlagert.

Die vom REGIONALEN PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (1999) beschriebene Lößhügellandschaft wird nach MANNSFELD & RICHTER (1995) und BERNHARDT et al. (1986) im Untersuchungsraum vom Mittelsächsischen Lößhügelland, vom Mulde-Lößhügelland und vom Altenburg-Zeitzer Lößhügelland gebildet. Alle drei Naturregionen werden im Untergrund vom tertiären Granulitgebirge gebildet, das im Norden von einer 10-20 m mächtigen Lößdecke überlagert wird. Sie nimmt nach Süden hin in ihrer Mächtigkeit ab. Aufgrund der besonders guten Bodeneigenschaften werden diese Lößhügelländer seit dem Mittelalter intensiv landwirtschaftlich genutzt. Im Norden wird das Mittelsächsische Lößhügelland durch die 30-50 m hohe Nordsächsische Hügellandstufe gegen die Porphyrhügelgebiete und Moränenplatten abgesetzt (MANNSFELD & RICHTER 1995). Diese Hügellandstufe trennt die geringmächtige, sandig-kiesige Lößdecke im Norden von den mächtigen, weichselzeitlichen Lößablagerungen im Süden.

4. Datengrundlagen und Rechnerausstattung

4.1. Datengrundlagen

Zur Erstellung der drei Zeitschnitte der Landnutzung wurden folgende Daten (Tab. 1) des Regierungsbezirkes Leipzig verwendet:

Tab. 1: Grundlagendaten.

ZEITPUNKT	ART / INHALT	MAßSTAB / AUFLÖSUNG	FORMAT
03.05.1965	CORONA – Satellitenbilder	Auflösung: 2,7 m	analog
20.04.1984	Landsat-TM – Satellitenbilder	Auflösung: 30 m	digital
21.07.1994	Landsat-TM – Satellitenbilder	Auflösung: 30 m	digital
1993/1994	Biotoptypenkartierung des Freistaates Sachsen	Maßstab: 1:10.000	digital
1995	Amtliches topographisches kartographisches Informationssystem - ATKIS	Maßstab: 1:10.000	digital
1992-1994	Topographische Karten	Maßstab: 1:25.000	analog
1983-1984	Topographische Karten	Maßstab: 1:25.000	analog
2002	Grenzen des Regierungsbezirkes und seiner Naturräume		digital

Die Daten wurden vom Umweltforschungszentrum Leipzig/Halle zur Verfügung gestellt. Die Grenzen der Naturräume, innerhalb derer die Berechnungen der Landschaftsstatistik erfolgt, stellt das Referat für Raumbewertung der Regionalen Planungsstelle Leipzig des Regionalen Planungsverbandes Westsachsen zur Verfügung.

4.1.1. Corona-Satellitendaten

Neben den weitgehend bekannten Satellitenbildern des Landsat-TM-Aufnahmesystems mit einer Bodenaufklärung von 30 m und insgesamt 7 Sensorkanälen unterschiedlicher Wellen-

längen (PRINZ 1999) spielen für die vorliegende Untersuchung panchromatische Satellitenaufnahmen von 1965 des US-amerikanischen Aufnahmesystems CORONA eine wichtige Rolle. Da diese Aufnahmen erst seit 1995 einem breiten zivilen Nutzerkreis zur Verfügung stehen und insgesamt im Vergleich zu anderen Fernerkundungsbildern bisher relativ wenig verwendet wurden, soll an dieser Stelle eine kurze Zusammenfassung zu den CORONA-Satellitendaten gegeben werden (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Aufnahmeparameter des CORONA-Satellitensystems (verändert nach ALTMAIER & KANY (2002) und USGS (2002)).

SYSTEM	CORONA KH-4A
Aufnahmedatum	August 1964-September 1969
Kameratyp	Panchromatisch
Filmbreite	70 mm
Größe des aufgenommenen Gebietes	17,25 km * 234 km
Brennweite	60,69 cm
Bildauflösung	120 L/mm
Bodenauflösung	9 ft, ~ 2,7 m
Flughöhe	150 km

Das CORONA-System war das erste satellitengestützte Fernerkundungssystem der Vereinigten Staaten und wurde zur Überwachung von Staaten des Ostblocks sowie weiten Teilen Asiens und Afrikas während des Kalten Krieges entwickelt (RUFFNER 2002). Insgesamt waren in der Zeit von Juni 1959 bis Juli 1963 acht verschiedene Stereo-Kamerasysteme im Einsatz, von denen das System KH-4A am 03.05.1965 Aufnahmen vom südlichen Teil der damaligen DDR machte.

Diese Satellitenbilder vom Untersuchungsgebiet wurden in Streifen von Nordost nach Südwest bei einer Bodenauflösung von ~2,7 m und einer gegenseitigen Überlagerung von 10 % aufgenommen (USGS 2002). Fünf dieser Streifen sind notwendig, um den heutigen Regierungsbezirk Leipzig vollständig abzudecken.

Vergleichbar in Auflösung und Kameratyp mit dem amerikanischen CORONA-System sind lediglich der russische Spionagesatellit COSMOS KVR / A 1000 mit einer Bodenauflösung von 2 m sowie der US-amerikanische IKONOS-Satellit mit einer Bodenauflösung von 1 m bei panchromatischen Bildern (PRINZ 1999). Beide Sensorsysteme existieren allerdings erst seit 1999/2000 und sind für diese Arbeit ohne Bedeutung.

Neben dem ursprünglichen Nutzen der Spionageaufklärung sieht MCDONALD (1995a & 1995b) den heutigen naturwissenschaftlichen Nutzen der Daten in Landnutzungsstudien und

im Landschaftsmanagement. Auch Untersuchungen zu Rohstoffvorkommen und Biodiversitätsmonitoring zu verschiedenen Zeitschnitten sind ebenso möglich wie Analysen von Küstenerosion, Forst- und Feuchtgebietsdegradation sowie Nutzungsänderungen in der Landwirtschaft.

4.2. Rechnerausstattung

Zur Georeferenzierung der CORONA-Satellitenbilder von 1965 und zur Digitalisierung der drei Landnutzungszeitschnitte wurde das Softwarepaket ERDAS/IMAGINE (Versionen 8.4 und 8.5) unter UNIX (Sun-Solaris (Version 2.5)) verwendet.

Die Erstellung der Karten sowie einiger Abbildungen erfolgte mit dem Geoinformationssystem ArcView der Firma ESRI in der Version 3.2, ebenso die Umwandlung von Img-Bilddateien in GRID-Dateien.

Die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße erfolgte mit dem Programm FRAGSTATS (Version 3.3) von MCGARIGAL & HOLMES (2000) unter Microsoft WINDOWS NT (Version 4.0). Unter WINDOWS 98 wurde mit den gängigen Microsoft Office Modulen Word 2000, Excel 2000, Power Point 2000 und Access 2000 gearbeitet.

Die Darstellung der Analyseergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 11.0) des Unternehmens Adobe.

5. Methoden

Inhalt dieser Arbeit ist die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Veränderungen der Landschaftsstruktur des Regierungsbezirkes Leipzig. Dies wurde anhand der drei Zeitschnitte 1965, 1984 und 1994 durchgeführt. Der Wandel von Landschaften hat sich zwar vor allem im letzten Jahrhundert stark beschleunigt, Unterschiede in der Landbedeckung lassen sich, je nach Landschaftstyp, aber erst ab einem Zeitraum von mindestens 10 Jahren feststellen (HAHN-HERSE & BÄUERLE 1979a und 1979b, NEUBERT 1999, SYRBE 2000, SCHÖPFER 2001). Eine Ausnahme stellen in besonders starkem Maße anthropogen genutzte Landschaften wie z. B. die Tagebauregionen im Norden und Süden von Leipzig dar. Deren Landschaftsentwicklung wurde bereits mehrfach detailliert untersucht (EHRIG 1998, LAUSCH 2000a).

Der Regierungsbezirk Leipzig stellt mit seiner Größe von fast 4400 km² ein zu großes Gebiet dar, um es im Rahmen einer Diplomarbeit über drei Zeitschnitte hinweg digitalisieren zu können. Aus diesem Grunde wurde die Erstellung der digitalen Landschaftszeitschnitte auf drei Bearbeiter aufgeteilt. Frau Sylvia Küster fertigte den digitalen Landschaftszeitschnitt des Jahres 1965 zusammen mit Frau Angelika Jentsch im Rahmen ihrer Diplomarbeit zum Thema „Untersuchungen raum-zeitlicher Veränderungen der Landschaftsstruktur und deren Einfluss auf die Verbreitung ausgewählter Vogelarten im Regierungsbezirk Leipzig“ an (KÜSTER 2003) (vgl. Danksagung). Frau Küster und ich benötigten für unsere Arbeiten die identischen Zeitschnitte.

Die Datengrundlagen der drei Zeitschnitte waren in ihrer Auflösung, Detailschärfe und ihrem Informationsgehalt sehr heterogen. So lagen für 1965 panchromatische CORONA-Satellitenbilder zunächst nur analog vor, während für die Jahre 1984 und 1994 multispektrale Landsat-TM-Satellitenbilder (Bodenauflösung 30 m) schon digital und georeferenziert vorlagen. Zur Ergänzung der Jahre 1984 und 1994 wurden topographische Karten in Maßstab 1:25.000 (analog) herangezogen (siehe auch Kapitel 4). Aufgrund dieser formalen und inhaltlichen Heterogenität der Ausgangsdaten konnte nur eine rein visuelle Interpretation und Digitalisierung vorgenommen werden. Multispektrale Landsat-TM-Aufnahmen lassen sich mit einer durchschnittlichen Genauigkeit von 80-90 % (abhängig vom Verfahren der automatischen Klassifikation) klassifizieren (LILLESAND & KIEFER 1994, HILDEBRAND 1996, ALBERTZ 2001). Für panchromatische Luft- und Satellitenbilder ist dies nicht möglich.

5.1. Erstellung der digitalen Landschaft 1994

Die Erstellung der digitalen Landschaftszeitschnitte erfolgte mit dem Geoinformationssystem (GIS) ERDAS Imagine in den Versionen 8.4 und 8.5

Vor Beginn der Arbeit mussten die Rahmenbedingungen zur Erstellung der digitalen Landschaften festgelegt werden. Dies sind die Art der digitalen Erfassung, die Auflösung der Datengrundlagen (im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Erfassungsmaßstab von 1:10.000 gewählt), das Datenformat (Rasterformat) und die Auflösung der digitalen Landschaft (Zellgröße 10*10 m).

Nach der Festlegung der Grundlagen musste aus einer Momentaufnahme ein sogenanntes Masterbild erstellt werden. Ausgehend von diesem Masterbild werden für die jeweils nächsten Zeitschnitte nur die landschaftlichen Veränderungen der Zwischenzeit abgeleitet. Die Erstellung der zweiten und dritten Landschaft erfordert daher nicht mehr eine vollständige Neuerfassung des gesamten Regierungsbezirkes. Im vorliegenden Fall wurde für das Jahr 1994 das Masterbild erstellt, da die Datengrundlagen besonders gut waren. Als Grundlage für das Jahr 1994, und somit indirekt auch für die Jahre 1984 und 1965, wurde die Biotoptypenkartierung des Freistaates Sachsen von 1993/1994 (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN 1994) gewählt. Diese lag für den gesamten Freistaat Sachsen als Vektordatensatz vor und wurde mit den Grenzen des Untersuchungsgebietes verschnitten.

Von der Biotoptypenkartierung wurden nur die Untergruppen der Kartiereinheiten der Landbedeckungsklassen in das Masterbild übertragen. Lediglich die Unterklasse „Verkehrsflächen“ wurde in 5 Ausprägungen feiner untergliedert (Autobahn, Landstrasse/Bundesstrasse, sonstige Straße, Wirtschaftsweg, sonstige Verkehrsfläche). Die insgesamt 38 Landnutzungsklassen (Tab. 3) wurden so verschnitten, dass für die Erstellung der digitalen Landschaften insgesamt noch 19 Klassen zur Verfügung standen. Dies war notwendig, da nur die verbliebenen Landnutzungstypen visuell in allen Satellitenbildern weitgehend eindeutig abgrenzbar waren. Eine Übersicht über die Reduzierung der Landbedeckungsklassen gibt Tabelle 3.

Tab. 3: Reduzierung der Landbedeckungsklassen zwischen Biotoptypenkartierung, visueller digitaler Erfassung und FRAGSTATS-Berechnung.

Klassen: Biotoptypenkartierung	Klassen: digitale Erfassung	Klassen: FRAGSTATS-Berechnung
Fließgewässer	Fließgewässer	Fließgewässer
Stillgewässer	Stillgewässer	Stillgewässer
gewässerbegleitende Vegetation	Wirtschaftsgrünland / Grünflächen	Grünland & Garten
Bauwerke an Gewässern	Bebauungsfläche	Bebauung
Hochmoor / Übergangsmoor	Moore	Grünland & Garten
Niedermoor / Sumpf	Moore	Grünland & Garten
Wirtschaftsgrünland	Wirtschaftsgrünland / Grünflächen	Grünland & Garten
Ruderalflur / Staudenflur	Wirtschaftsgrünland / Grünflächen	Grünland & Garten
anstehender Fels	offene Flächen / Heiden	offene Flächen & Ruderalflächen
Blockschutthalden	offene Flächen / Heiden	offene Flächen & Ruderalflächen
größere Lesesteinhaufen	offene Flächen / Heiden	offene Flächen & Ruderalflächen
offene Flächen	offene Flächen / Heiden	offene Flächen & Ruderalflächen
Zwergstrauchheiden / Borstgrasrasen	offene Flächen / Heiden	offene Flächen & Ruderalflächen
Magerrasen trockener Standorte	offene Flächen / Heiden	offene Flächen & Ruderalflächen
Feldgehölze / Baumgruppe	Gehölz / Einzelbaum	Baumreihe / Hecken / Gehölz
Baumreihe	Baumreihe Hecke	Baumreihe / Hecken / Gehölz
Allee	Baumreihe Hecke	Baumreihe / Hecken / Gehölz
Einzelbaum / Solitärbaum	Gehölz / Einzelbaum	Baumreihe / Hecken / Gehölz
Hecke	Baumreihe Hecke	Baumreihe / Hecken / Gehölz
Gebüsch	Gehölz / Einzelbaum	Baumreihe / Hecken / Gehölz
Laubbaumreinbestand	Laubwald	Laubwald
Nadelbaumreinbestand	Nadelwald	Nadelwald
Laub-Nadel-Mischwald	Laubwald	Laubwald
Nadel-Laub-Mischwald	Nadelwald	Nadelwald
Laubmischwald	Laubwald	Laubwald
Nadelmischwald	Nadelwald	Nadelwald
Feuchtwälder	Laubwald	Laubwald
Waldrandbereiche / Vorwälder	Laubwald	Laubwald
Wiederaufforstungen	Laubwald	Laubwald
Acker	Acker	Acker
Sonderkulturen	Acker	Acker
offene Rieselfelder	Acker	Acker
Wohngebiet	Bebauungsfläche	Bebauung
Mischgebiet	Bebauungsfläche	Bebauung
Gewerbegebiet / technische Infrastruktur	Bebauungsfläche	Bebauung
Grün- und Freiflächen	Wirtschaftsgrünland / Grünflächen	Grünland & Garten
Autobahn	Autobahn	Verkehr
Landstraße / Bundesstraße	Landstraße / Bundesstraße	Verkehr
sonstige Straße	sonstige Straße	Verkehr
Wirtschaftsweg	Wirtschaftsweg	Verkehr
sonstige Verkehrsfläche	sonstige Verkehrsfläche	Verkehr
anthropogen genutzte Sonderflächen	anthropogen genutzte Sonderflächen	Tagebau / Sonderflächen
	zusätzlich: Ackerschlagsgrenzen	landwirtschaftliche Grenzen
	zusätzlich: Grünlandgrenzen	landwirtschaftliche Grenzen
Ó: 42 Klassen	Ó: 19 Klassen	Ó: 12 Klassen

Die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße sollte durch das räumliche Analyseprogramm FRAGSTATS 3.3 erfolgen. Dieses Programm kann Landschaften nur im Rasterformat berechnen. Daher wurde die Biotoptypenkartierung auf 10 m gerastert. Hierbei wurden folgende Faktoren berücksichtigt: Zum einen darf das Raster nicht zu groß gewählt werden, da die Landschaft weitgehend realistisch dargestellt werden muss. Linienhafte Landschaftselemente wie Straßen und Fließgewässer werden somit immer mindestens 10 m breit, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse in Gegensatz zur Realität führt. Je feiner das Raster gewählt wird, desto realistischer wird die Landschaft abgebildet, umso größer sind aber auch der Arbeits- und Rechenaufwand.

Die Rasterung des Vektordatensatzes führte zu Ungenauigkeiten in der Abbildung der Landschaft. Durch Fehler im Vektordatensatz (nicht geschlossene Linien) ergaben sich auch Fehler im Rasterdatensatz. So waren z. T. Straßen nicht durchgehend, was dazu führte, dass Äcker miteinander in Verbindung standen, die in Wirklichkeit räumlich voneinander getrennt sind. Diese Fehler wurden so weit wie möglich korrigiert. Eine weitere Fehlerquelle sind einander kreuzende Straßen und Fließgewässer, da im Kreuzungsbereich die Entscheidung für nur eine Landbedeckungsklasse getroffen werden muss. Um die starke anthropogene Überprägung der Landschaft deutlicher herauszustellen, wurden den Pixeln im Kreuzungsbereich die Werte der Verkehrsfläche zugewiesen.

Neben den Fehlern, die bei der Umwandlung vom Vektor- ins Rasterformat entstanden, konnte es auch bei der Digitalisierung zu Fehlern kommen. Obwohl auf eine genaue Bearbeitung großen Wert gelegt wurde, können einzelne Fehler nicht ganz ausgeschlossen werden. Eine Übersicht über mögliche Fehler und Risiken gibt Abb. 4.

Die Biotoptypenkartierung beinhaltet weitere Besonderheiten, auf die an dieser Stelle eingegangen werden soll. Im Rahmen anderer Arbeiten wurden Baumreihen, Alleen und Hecken (die im Originaldatensatz häufig identisch mit Straßen sind) etwa 30 m parallel zu den Verkehrswegen verlagert. Dadurch werden häufig einzelnen Parzellen der Landbedeckungsklassen Acker und Grünland zwischen den Verkehrswegen und den straßenbegleitenden Anpflanzungen isoliert und würden bei der Berechnung als in sich abgeschlossene Flächen behandelt. Da dies inhaltlich falsch ist, wurden bei der Bearbeitung Baumreihen, Alleen und Hecken „geöffnet“, indem einem Teil ihrer Rasterzellen die benachbarte Landbedeckungsklasse zugewiesen wurde. In Abb. 4 ist dies als Fehler 3 und 4 dargestellt.

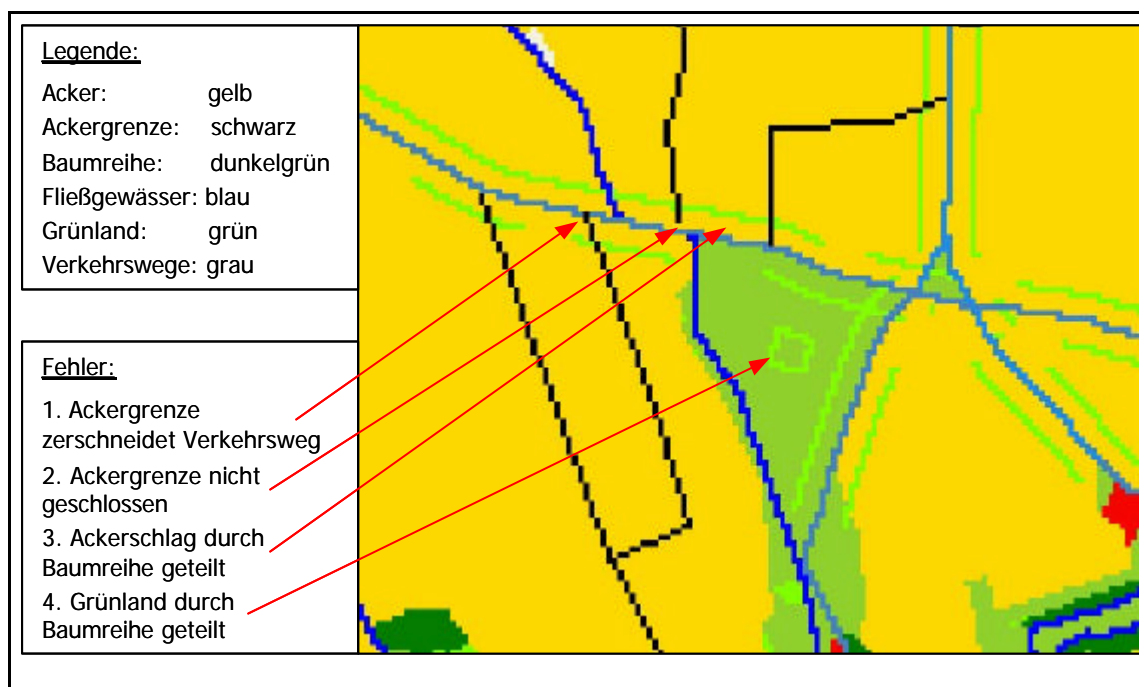


Abb. 4: Methodische Schwierigkeiten und Fehlerquellen bei der Erstellung der klassifizierten Landschaftszeitschnitte (Quelle: eigener Entwurf).

Die Veränderungen der Landschaft, die zwischen der Erfassung der Landschaft in der Biotopkartierung und dem dieser Arbeit zugrundeliegenden Landsat-TM Bild vom 21.07.1994 visuell ermittelt werden konnten, wurden in die digitale Landschaft eingearbeitet. Insgesamt konnten nur vereinzelte Veränderungen visuell erfasst werden, was mit dem geringen zeitlichen Abstand beider Datenquellen zu begründen ist. Diese Veränderungen wurden an topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 überprüft.

Durch die Rasterung der Biotopkartierung sind vielfach Straßen und Verkehrswege weggefallen. Mit Hilfe der ATKIS-Daten wurden die Straßen soweit ergänzt, dass alle Orte, Siedlungen und Einzelgebäude an das Verkehrsnetz angebunden waren. Der große Arbeitsaufwand machte es unmöglich, sämtliche Verkehrswege der ATKIS-Daten in die klassifizierte Landschaft neu zu übernehmen. Die Verkehrsanlagen sind demnach bei der Berechnung stark unterrepräsentiert, hierauf wird im Ergebnisteil und der Diskussion näher eingegangen.

5.2. Erstellung der digitalen Landschaft 1984

Ausgehend vom Masterbild des Jahres 1994 wurden die visuell im Landsat-TM-Satellitenbild vom 20.04.1984 erfassbaren Veränderungen in den Landschaftszeitschnitt 1984 überführt. Hierbei wurde hauptsächlich mit der Kanalkombination 4 (rot), 3 (grün) und 2 (blau) gearbeitet, da diese die spektralen Unterschiede der Landbedeckungsklassen für das menschliche Auge am deutlichsten herausstellt (HILDEBRANDT 1996, ALBERTZ 2001). Bei Unsicherheiten bezüglich der Landbedeckungsklasse und der Frage der Trennung der Ackerschläge (gleiche Landbedeckungsklasse, aber teilweise unterschiedliche Vegetationsdauer) wurde die Kanalkombination frei verändert, bis eine Entscheidung weitgehend eindeutig war. HEINZ (1998) schlägt bei einer visuellen Interpretation die Kanalkombination 4-3-5 vor, die sich auch nach meiner Erfahrung gut eignet.

Einen Überblick über die Arbeitsabläufe zur Erstellung einer digitalen Landnutzungskarte aus Satellitenbildern gibt Abb. 5. Die grau hinterlegten Arbeitsschritte wurden im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt, die weiß hinterlegten sollen lediglich die Vielzahl der Möglichkeiten aufzeigen, die aufgrund der Datenheterogenität hier nicht einsetzbar waren. Dieses Schema wurde für alle drei Zeitschnitte angewandt.

Bei der visuellen Interpretation von Satellitenbildern heben zahlreiche Autoren die hohe Bedeutung von kontrastreichen Bildern und das Vorwissen und die Erfahrung des Interpretierenden hervor (HILDEBRANDT 1996, CCRS 1998, ALBERTZ 2001).

Zum Erkennen verschiedener Bildinhalte sind die einzelnen Objekte selbst (Form, Größe), die Textur ihrer Oberflächen, ihre Schattierungen, ihre relative Lage zueinander, die Objektmuster sowie der Farbton (je nach Kanalkombination bei Landsat-TM) bzw. die Grauwerte (bei panchromatischen Aufnahmen) entscheidend.

Einen Überblick über die flächenmäßig bedeutendsten Landnutzungstypen (Wald, Siedlung, Tagebau, landwirtschaftliche Nutzfläche) des Regierungsbezirkes Leipzig und deren visueller Erfassbarkeit geben die Detailabbildungen der Karten 1-3 im Anhang. Vor allem zu Beginn der Arbeit waren Vergleiche der Satellitenbilder mit der realen Landschaft vor Ort (im Stadtgebiet von Leipzig) sowie Vergleiche mit topographischen Karten sehr hilfreich, um Vorwissen und Erfahrung zu verbessern.

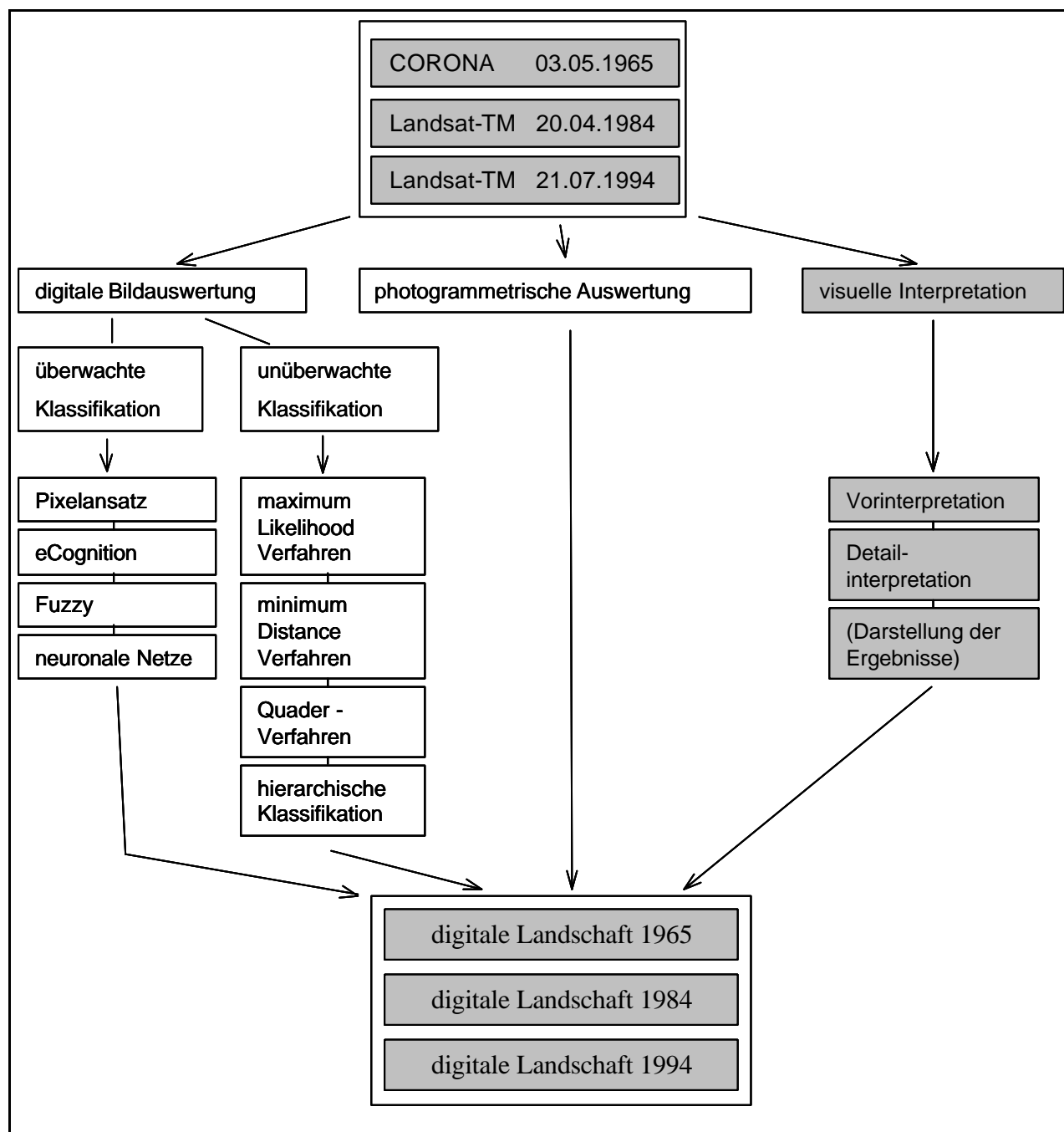


Abb. 5: Allgemeine Arbeitsschritte zur Erstellung klassifizierter Landnutzungskarten aus Satellitenbildern – eigene Arbeitsschritte grau hinterlegt, weitere Möglichkeiten weiß hinterlegt (abgeleitet aus ALBERTZ 2001).

5.3. Erstellung der digitalen Landschaft 1965

Im Gegensatz zu den Zeitschnitten 1984 und 1994 lagen für das Jahr 1965 zu Beginn der Arbeit die Satellitendaten nicht digital, sondern in Form von Dia-Positivstreifen und Dia-Papierabzügen vor. Diese mussten zunächst aufbereitet werden, bevor eine visuelle digitale Erfassung am Rechner durchgeführt werden konnte.

Mit der Digitalisierung der Positivstreifen wurde das Landesvermessungsamt Brandenburg in Potsdam¹ beauftragt. Jeder Streifen wurde mit einer Genauigkeit von 900 dpi gescannt und in fünf etwa gleich große Bilder geteilt. Jeweils zwei Bilder von fünf Streifen waren notwendig, um den Regierungsbezirk Leipzig vollständig abzubilden. Zur weiteren Verarbeitung wurden somit zehn Bilder verwendet. Bevor diese georeferenziert und schließlich zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden konnten, musste eine Bildverbesserung durchgeführt werden. Dies war notwendig, um die Bilder aufzuhellen und dadurch bei der Bild-zu-Bild-Referenzierung identische Passpunkte erfassen zu können.

Die Bildverbesserung sowie die Georeferenzierung erfolgte mit dem Geoinformationssystem ERDAS Imagine 8.4 und 8.5. Eine Übersicht der verwendeten Methoden zur Verarbeitung der Rohdaten zum digitalen Satellitenbild zeigt Abbildung 6. Zunächst wurde bei allen zehn Teilbildern eine Histogrammstreckung auf alle 256 Graustufen mit der Funktion „Histogram Equalization“ durchgeführt. Mit der Methode „3*3 Edge Enhance“ wurde danach eine Kantenfaltung vorgenommen, was in einer deutlichen Verbesserung der Bildqualität resultierte.

Danach erfolgte die Bild-zu-Bild Georeferenzierung. Hierzu wurde als Vergleichsbild das Satellitenbildmosaik IRS-1C (Satellitenbildkomposit aus IRS-1C LISS und IRS-1C PAN) für den Freistaat Sachsen mit einer Bodenauflösung von 5*5 m im MrSID-Format herangezogen². Für jedes der zehn CORONA-Einzelbilder wurden über das ganze Bild verstreut etwa 40 Passpunkte mit ihrem entsprechenden Bildpunkt des MrSID-Bildes gewählt. Von diesen Punkten blieben nach der Verringerung des RMS-Fehlers (Rote-Mean-Square) etwa 30 zur eigentlichen Referenzierung. Der RMS-Fehler lag mit 3,5 bis 5 nach PRINZ (IVVGEO Uni Münster, per eMail) für alle Teilbilder innerhalb der Fehlertoleranz. Die Referenzbildung zur

¹ Landesvermessungsamt Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam, <http://www.lverma-bb.de/>

² IRS-1C Satellitenbildmosaik Sachsen 1997/1998, Sächsisches Staatsministerium des Inneren, Copyright Bilddaten: ANTRIX; SIE; Euromap Neustrelitz, Processing IÖR

Korrektur der CORONA-Bilder wurde mit der Polynominal-Methode durchgeführt. Da der Regierungsbezirk Leipzig insgesamt nur eine schwache Reliefenergie aufweist, wurde mit der für leicht hügeliges Gelände und Mittelgebirge sinnvollen 2. Ordnung referenziert. Die Erstellung der neuen Bilder mit einer Rasterzellgröße von 2 m erreichte vielfach die Grenzen der Rechnerleistungen.

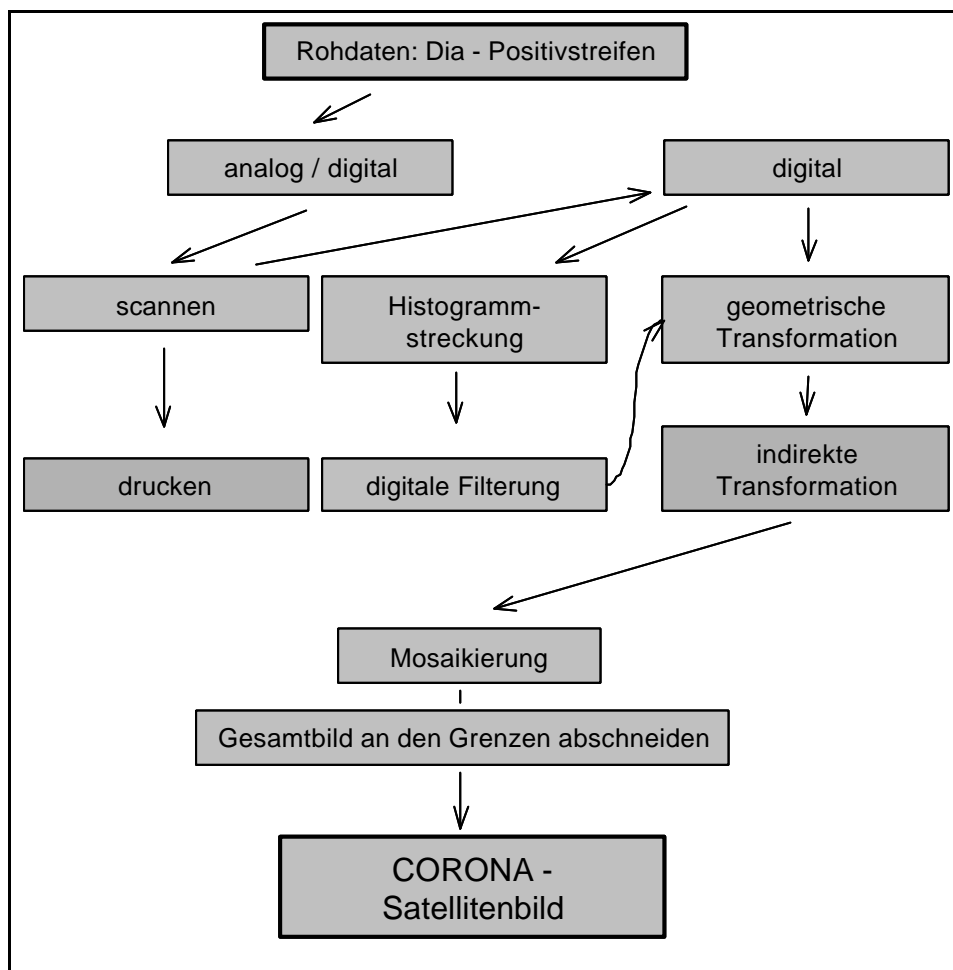


Abb. 6: Allgemeine Arbeitsschritte zur Erstellung des Satellitenbildes 1965 aus Rohdaten (Quelle: eigener Entwurf).

Nach dem Mosaikieren (Zusammenfügen) der Teilbilder zum Gesamtbild wurde dieses mit den Grenzen des Regierungsbezirkes verschnitten.

Die in dem CORONA-Satellitenbild vom 03.05.1965 visuell erfassbaren Veränderungen der Landschaftsstruktur wurden von Frau Sylvia Küster und Frau Angelika Jentsch (s. o.) in die digitale Landschaft übertragen. Somit wurden die drei Landschaftszeitchnitte zwar von drei Personen mit unterschiedlicher Erfahrung und Vorwissen erstellt, aufgrund des Arbeitsumfanges war dies aber nicht von einer einzelnen Person durchführbar.

5.4. Berechnung der Landschaftsstruktur

Die Quantifizierung der Landschaftsstruktur ist mit verschiedenen räumlichen Analysewerkzeugen [FRAGSTATS (MCGARIGAL & HOLMES 2000), Fragstats for ArcView] möglich. Eine sehr umfassende Quantifizierung durch bis zu 100 Maßen bietet das Raummuster-Analyse-Programm FRAGSTATS 3.3 von MCGARIGAL & HOLMES (2000).

Die Berechnung der Landschaftsstruktur erfolgte für die drei Zeitschnitte auf den Ebenen der Gesamtlandschaft und der Naturräume. Neben den in dieser Arbeit durchgeführten Analysen der vergleichenden und deskriptiven Statistik und der strukturellen Analyse können Landschaften noch auf weitere Arten beschrieben und analysiert werden. Eine Berechnung der Landschaft mit der Moving-Window Technologie wurde versucht, allerdings wurden aufgrund der Größe der Landschaft die Rechnerkapazitäten weit überschritten. Eine Übersicht über die Skalenebenen und die methodischen Ansätze der Landschaftsanalyse zeigt Abb. 7.

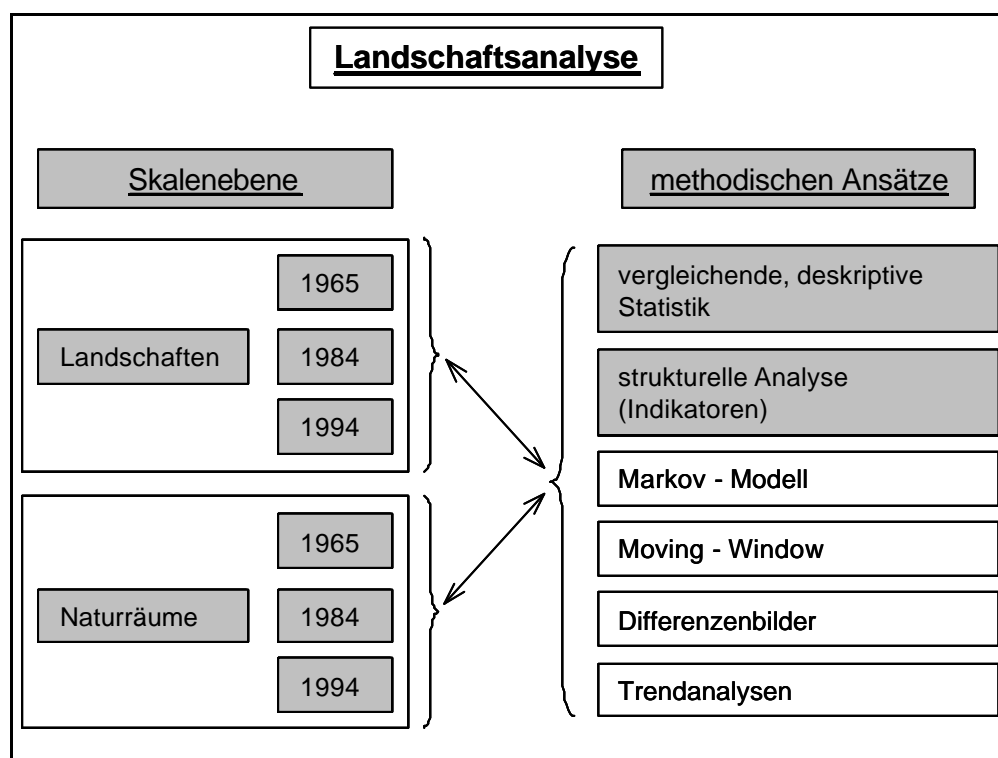


Abb. 7: Skalenebene und methodische Ansätze der Landschaftsanalyse – eigene Arbeitsschritte grau hinterlegt, weitere Möglichkeiten weiß hinterlegt (Quelle: eigener Entwurf).

Die Berechnung der Landschaftsstruktur der Gesamtlandschaft und der sieben Naturräume erfolgte im Rasterformat. Hierzu wurden die Flächen zunächst mit den Geoinformationssystemen ArcInfo und ArcView (mit der Extension GridPic) ausgeschnitten und im *.gis-

Format gespeichert. Um das Ausschneiden der insgesamt 31 Teilflächen zu automatisieren, wurde ein von WALZ (2000) entwickeltes AML-Skript abgewandelt (siehe Anhang C) und unter ArcInfo ausgeführt.

Bei der Berechnung ist zu berücksichtigen, in welcher räumlichen Beziehung die Rasterzellen der jeweiligen Patchklasse zu ihren Nachbarzellen stehen. Hierbei werden 2 Typen unterschieden: Zum einen bestehen Beziehungen zu Nachbarzellen gleicher Patchklasse, die nur über Zellkanten miteinander verbunden sind (sog. 4er-Umgebung, da maximal 4 Nachbarn), zum anderen gibt es Verbindungen über die Zellkanten und -ecken (sog. 8er-Umgebung, da maximal 8 Nachbarn) (vgl. Abb. 8).

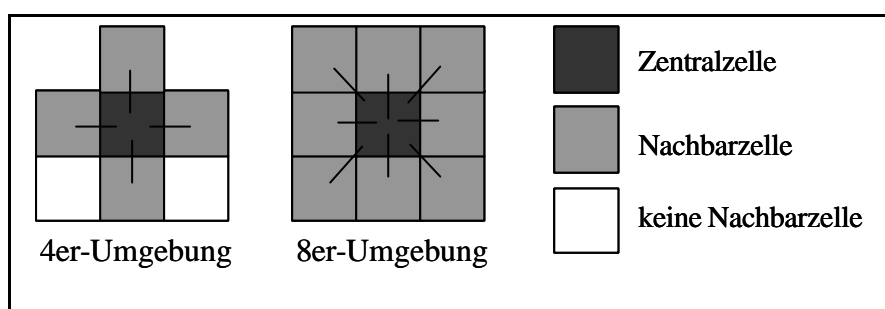


Abb. 8: Nachbarschaftsbeziehungen: 4er- und 8er-Umgebung (Quelle: eigener Entwurf).

Diese Unterscheidung ist von großer Bedeutung. Linienhafte Landschaftselemente (z. B. landwirtschaftliche Grenzen, Straßen, Baumreihen, Hecken, Fließgewässer,...) könnten flächenhafte Elemente (z. B. Ackerschläge) nicht durchtrennen, wenn die flächenhaften Patches über eine 8er-Umgebung miteinander verbunden wären, es sei denn, die linienhaften Elemente wären immer breiter als ein Pixel (das wäre aber bei den meisten Linienpatches inhaltlich sehr ungenau). Flächenhafte Landschaftsklassen müssen demnach mit der 4er-Umgebung berechnet werden. Diese ist für linienhafte Landbedeckungsklassen ungeeignet. Diagonal verlaufende Patches werden in der 4er-Umgebung in Einzelpixel getrennt und verfälschen sämtliche die Kantenlänge und den Umfang implementierende Landschaftsstrukturmaße. Für linienhafte Landschaftsklassen ist die 8er-Umgebung demnach unbedingt notwendig. Die in dieser Arbeit verwendete Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölze ist inhaltlich keiner der beiden Typen eindeutig zuzuordnen, da Hecken linienhafte und Gehölze flächenhafte Klassen sind. Da man Baumreihen auch als Kette einzelner Patches betrachten kann, wurde die Landbedeckungsklasse als flächenhaft eingestuft.

5.4.1. Parameter der Berechnung

Alle 31 Einzelflächen wurden mit FRAGSTATS 3.3 mit folgenden Einstellungen berechnet.

Die Pixelgröße wurde entsprechend der Erstellung der digitalen Landschaften auf 10 m festgelegt. Weitere wichtige Einstellungen sind die Klassenanzahl (12 Klassen, vgl. Tab. 4, 3. Spalte) und der Suchradius, innerhalb dessen noch Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit berücksichtigt werden. Dieser für die Nachbarschaftsmaße wichtige Radius wurde in Anpassung auf die größten Teilflächen auf 6.000 m festgelegt.

Die Ergebnisse wurden in vier Dateien im ASCII-Format als Dateien *.patch, *.class, *.land und *.full ausgegeben. Sie enthalten die Landschaftsstrukturmasse der jeweiligen Ebene und die Grundeinstellungen („Full-Datei“). Nach einer Datenaufbereitung mit MS Excel 2000 und einer Überführung in eine Access-Datenbank konnten durch eine Abfrage die gewählten Maße in SPSS eingelesen und graphisch dargestellt werden.

5.5. Auswahl relevanter Landschaftsstrukturmaße

Mit Hilfe der LSM lassen sich Landschaften zum einen exakt beschreiben und zum anderen ihre zeitliche und räumliche Entwicklung verfolgen. LAUSCH (2000a) und TISCHENDORF (2001) schlagen im Rahmen ihrer Untersuchungen vor, sich auf wenige Maße zu beschränken, die nicht oder nur wenig miteinander korrelieren.

Die wesentlichsten Gründe für die Auswahl der Landschaftsstrukturmaße ergeben sich aus zahlreichen Untersuchungen (BLASCHKE 1997, BLASCHKE & LANG 2000, LAUSCH 2000a, BLASCHKE et al. 2001, WALZ 2001, JENTSCH 2002). In erster Linie sollten sie eine Indikatorfunktion für die landschaftlichen Veränderungen übernehmen können und gut interpretierbar sein, sowie in der Fachliteratur nicht zu kontrovers diskutiert werden. Wichtig ist auch eine allgemeingültige Aussagequalität, um Biotop- und Landschaftsstrukturen anderer Regionen mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichen zu können.

Da die meisten Maße der Klassen- und Landschaftsebene auf Berechnungen der PATCH-Ebene basieren, korrelieren zahlreiche Maße in bedeutendem Umfang miteinander. Zahlreiche Autoren (APAN et al. 2002, CAIN et al. 1997, GRIFFITH et al. 2000, GUSTAFSON & PARKER 1992, RITTERS et al. 1995) haben in ihren Untersuchungen Korrelationsanalysen einzelner Landschaftsstrukturmaße durchgeführt. Abb. 9 gibt einen Überblick über die Landschaftsstrukturmaße des Programms FRAGSTATS 3.3 und Ebenen der Berechnung. Die in dieser

Abbildung dargestellten Kernflächenmaße spielen nahezu ausschließlich bei ökologischen Untersuchungen (Fluchtdistanzen, Habitatzerschneidungen,...) eine wesentliche Rolle und werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter beachtet.

Diese Arbeit stützt sich in weiten Teilen auf in der Literatur zur Beschreibung und Analyse von Landschaften getesteten und bewährten Maße (LAUSCH 2000a, vgl. Anhang B). Mit den Landschaftsstrukturmaßen *MESH* (*Effective Mesh Size*) und *SPLIT* (*Splitting Index*) wurde versucht, zwei neue Maße im Rahmen des Landschaftsmonitorings zu testen, die das Analyseprogramm FRAGSTATS erst seit der Version 3.3 zur Verfügung stellt.

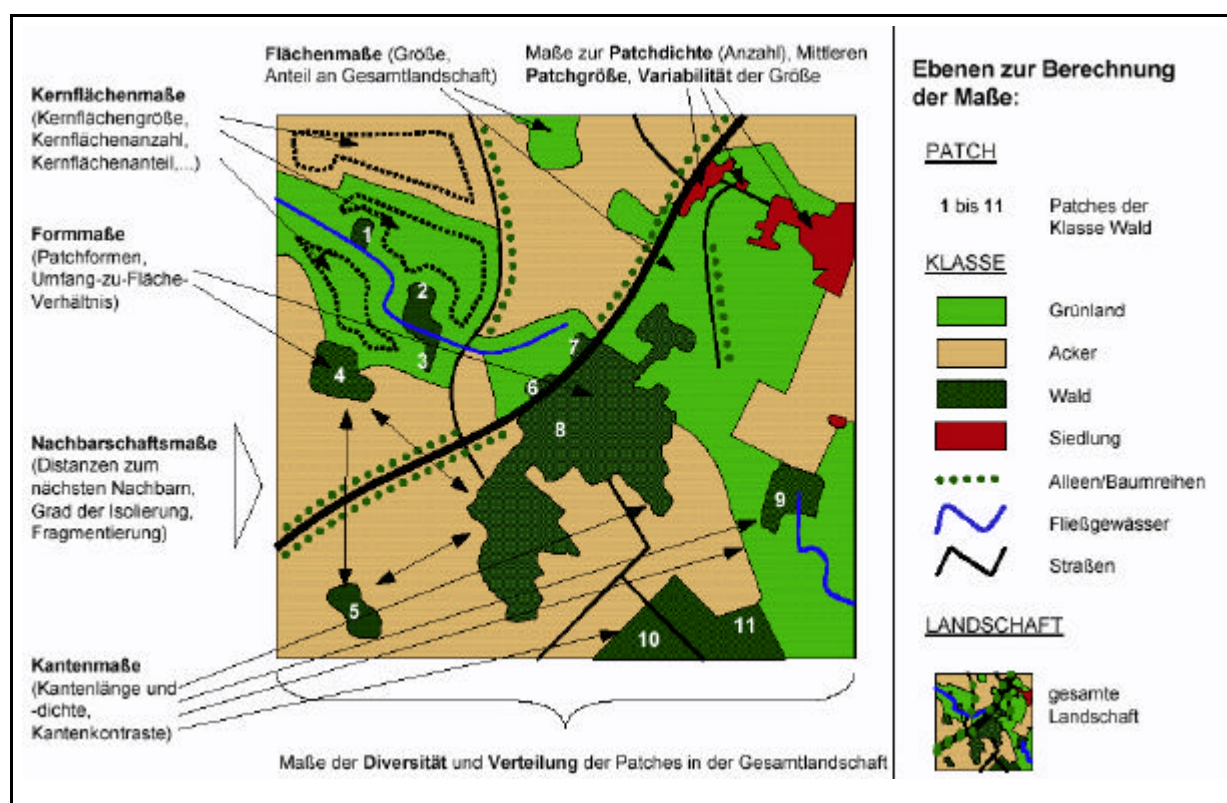


Abb. 9: Landschaftsstrukturmaße und die Ebenen ihrer Berechnung mit dem Programm FRAGSTATS 3.3 (Quelle: JENTSCH 2002).

5.5.1. Landschaftsstrukturmaße: Flächen- und Dichtemaße

Einzelne Flächen stellen die Grundlage zur Quantifizierung der Landschaft dar, ohne aber Aussagen zur Anordnung der Landschaftselemente treffen zu können. Die Anzahl der Flächen und ihre Dichte spielen nach MCGARIGAL & HOLMES (2000) eine wichtige Rolle bei einer Vielzahl von ökologischen Prozessen (z. B. Migrationsprozessen) und sind bedeutend bei Untersuchungen der Fragmentierung von Landschaften und der räumlichen Heterogenität von Landschaftsmosaiken. Um den Verlust von Biodiversität mit der Abnahme der Habitatflächen

eines Gebietes in Beziehung setzen zu können, spielen Angaben zur Flächendichte und -größe nach GARDNER et al. (1993) eine wichtige Rolle.

Tab. 4: Flächen- und Dichtemaße (vgl. MCGARIGAL & HOLMES (2000) und LAUSCH (2000a), Formeln siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung		
Berechnungsebene		
<i>CA</i> , [ha], Klasse	<i>Class Area</i> : Gesamtfläche	Formel 1
<i>TA</i> , [ha], Landschaft	<i>Total Landscape Area</i> : Gesamtfläche	Formel 2
<i>%LAND</i> , [%], Klasse	<i>Percent of Landscape</i> : Anteil an der Gesamtfläche	Formel 3
<i>LPI</i> , [%], Klasse/Landschaft	<i>Largest Patch Index</i> : Flächenanteil des größten Elementes an der Klasse bzw. Landschaft ermöglicht Einschätzung der Fragmentierung und Heterogenität	Formel 4 & 5
<i>NP</i> , [#], Klasse/Landschaft	<i>Number of Patches</i> : Gesamtzahl der Elemente einer Klasse bzw. Landschaft	Formel 6 & 7
<i>PD</i> , [# / 100 ha], Klasse/Landschaft	<i>Patch Density</i> : Elementdichte ermöglicht Einschätzung der Fragmentierung und Heterogenität	Formel 8 & 9
<i>AREA_MN</i> , [ha], Klasse/Landschaft	<i>Area Mean</i> : Mittlere absolute Größe der Elemente	Formel 10 & 11
<i>AREA_CV</i> , [%], Klasse/Landschaft	<i>Area Coefficient of Variation</i> : Standardabweichung der Elementgrößen zur mittleren Größe ermöglicht Aussagen zur Variabilität der Flächengröße	Formel 12 & 13

Aussagewert: - hoher Wert: starke Größenvariation der Landschaftselemente
- niedriger Wert: geringe Größenvariation der Landschaftselemente

5.5.2. Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaße

Kanten sind die Grenzen der Patches und ihre Länge nimmt ab, je stärker das Patch seinem geometrischen Optimum (Rechteck) gleicht. Nach MILLER et al. (1997) steigt die Gesamtkantenlänge mit der Zunahme einer anthropogenen Landschaftsüberformung.

Tab. 5: Kantenmaße (vgl. MCGARIGAL & HOLMES (2000) und LAUSCH (2000a), Formeln siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung

Berechnungsebene

<i>ED</i> , [m/ha], Klasse/Landschaft	<i>Edge Density</i> : Kantenlänge eines Patches bezogen auf die Einheitsfläche	Formel 14 & 15
------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

5.5.3. Landschaftsstrukturmaße: Maße der Form und Gestalt

Außer beim Landschaftsmonitoring spielen Form und Gestalt, beschrieben durch ihre Indizes, vor allem bei populationsökologischen Fragestellungen eine wichtige Rolle (FORMAN & GODRON 1986). Die Indizes stellen einen Vergleich von Umfang zu Fläche mit der sog. Standardform (im Rasterformat ein Quadrat, im Vektorformat ein Kreis) dar. Zahlreiche Form- und Gestaltmaße lassen sich nur auf Patch-Ebene berechnen und werden hier nicht weiter berücksichtigt.

Tab. 6: Maße der Form und Gestalt (vgl. MCGARIGAL & HOLMES (2000) und LAUSCH (2000a) Formeln siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung

Berechnungsebene

<i>LSI</i> , [dimensionslos], Klasse/Landschaft	<i>Landscape Shape Index</i> : Verhältnis von Umfang zu Fläche der Patches Aussagewert: - hoher Wert: komplexe Form durch zunehmende Abweichung von der Standardform - niedriger Wert (gegen 1): einfache Gestalt durch starke Annäherung an die Standardform	Formel 16 & 17
-------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

5.5.4. Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft

Maße der nächsten Nachbarschaft geben den Abstand zwischen zwei Patches der gleichen Klasse und quantifizieren die Landschaftskonfiguration. Neben dem Monitoring spielen diese Maße eine wichtige Rolle bei Untersuchungen von Isolation und Fragmentierung von Populationen und Habitaten sowie Migrationsprozessen und Populationsdynamiken (LAUSCH 2000a).

Tab. 7: Maße der nächsten Nachbarschaft (vergl. MCGARIGAL & HOLMES (2000) und LAUSCH (2000a), Formeln siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung

Berechnungsebene

<i>ENN_MN</i> , [m], Klasse/Landschaft	<i>Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance</i> : mittlere Entfernung zwischen Patches gleicher Klasse	Formel 18 & 19
-------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

<i>ENN_CV</i> , [%], Klasse/Landschaft	<i>Euclidean Nearest Neighbor Coefficient of Variation</i> : Standardabweichung zur mittleren Entfernung zw. Patches gleicher Klasse	Formel 20 & 21
-------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

5.5.5. Landschaftsstrukturmaße: Maße der Diversität und Verteilung

Die Komposition der Landschaft wird geprägt von der Reichhaltigkeit und der Gleichmäßigkeit der Landschaftselemente. Während die Reichhaltigkeit die Anzahl der Klassen beinhaltet und in hohem Grade maßstabsabhängig ist, beschreibt die Gleichmäßigkeit deren Verteilung.

Tab. 8a: Maße der Diversität und Verteilung (vgl. MCGARIGAL & HOLMES (2000) und LAUSCH (2000a), Formeln siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung

Berechnungsebene

<i>IJI</i> , [%], Klasse/Landschaft	<i>Interspersion and Juxtaposition Index</i> : quantifiziert den Grad der Verteilung der Landschaftselemente Aussagewert: - hoher Wert: proportionale (gleichmäßige) Verteilung der Patches einer Klasse - niedriger Wert: disproportionale (ungleichmäßige) Verteilung der Patches einer Klasse	Formel 24 & 25
----------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

Tab. 8b: Maße der Diversität und Verteilung – Fortsetzung (vgl. MCGARIGAL & HOLMES (2000) und LAUSCH (2000a), Formel siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung

Berechnungsebene

<i>SHDI</i> , [dimensionslos], Landschaft	<i>Shannon`s Diversity Index</i> : der Wert des Indexes präsentiert den Gehalt an Informationen pro Landschaftselement (LAUSCH 2000a) und ist in Bezug auf Reichtum empfindlicher als auf Gleichmäßigkeit; er eignet sich vor allem zum relativen Vergleich zwischen Landschaftsausschnitten und Landschaftszeitschnitten	Formel 26
--------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

5.5.6. Landschaftsstrukturmaße: Maße der Zerteilung

Die Konsistenz (Beschaffenheit) einer Landschaft und ihrer einzelnen Elemente ist ein Grundaspekt des Landschaftsmusters und lässt sich durch Trennungsmäße beschreiben (MCGARIGAL & HOLMES 2000). Diese Maße finden auch bei Untersuchungen zur Zerschneidung (Verkehrswege) und Zersiedlung von Lebensräumen eine Anwendung. Die Isolation von Populationen kann zu negativen Auswirkungen in Bezug auf Wanderungen und Ausbreitungen führen, die schon auf Landschaftsebene erkennbar sind (MCGARIGAL & HOLMES 2000).

Tab. 9: Maße der Zerteilung (vgl. MCGARIGAL & HOLMES (2000), Formeln siehe Anhang B).

Akronym, Einheit, Beschreibung

Berechnungsebene

<i>SPLIT</i> , [dimensionslos], Klasse/Landschaft	<i>Splitting Index</i> : beschreibt die Anzahl der Patches die aus der gleichmäßigen Verteilung der Flächen der Klasse / Landschaft über die Gesamtfläche resultiert; der Wert liegt zwischen 1 (Klasse / Landschaft besteht aus einem Patch) und der Gesamtzellenzahl der Klasse / Landschaft	Formel 27 & 28
<i>MESH</i> , [ha], Klasse/Landschaft	<i>Effective Mesh Size</i> : bezeichnet die Größe der Patches wenn die Flächen gleicher Klasse/Landschaft in S (Wert von <i>SPLIT</i>) Teile unterteilt werden; der Wert liegt somit immer zwischen der Zellgröße (min.) und der Größe der Gesamtlandlandschaft (max.)	Formel 29 & 30

6. Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden auf Landschafts- und Klassenebene in den Unterpunkten Gesamtlandschaft und Naturräume dargestellt. Auf der Landschaftsebene fließen alle Flächen des jeweiligen Raumes in die Berechnung ein, auf der Klassenebene nur die Flächen der jeweiligen Patchklasse. Hierbei ist es wichtig zu beachten, dass alle Landschaftselemente (flächen- und linienhafte) in der 4er- und 8er-Umgebung berechnet wurden. Ausgewertet wurden aber nur die Berechnungen der 4er-Umgebung der flächenhaften Landschaftselemente und der linienhaften Elementklasse Baumreihe / Hecken / Gehölz. Diese linienhafte Klasse besteht inhaltlich sowohl aus flächigen Elementen (Gehölze), als auch aus linienhaften Elementen (Hecken). Die Elemente der Baumreihen können auch als Einzelbäume und somit als flächenhafte Elemente angesehen werden. Von den Landschaftsstrukturmaßberechnungen sämtlicher anderer linienhaften Elementklassen (Verkehr, Fließgewässer, Acker- und Grünlandgrenzen) wurden die Ergebnisse der 8er-Umgebung in die Analyse einbezogen.

6.1. Landschaftsebene

6.1.1. Gesamtlandschaft

6.1.1.1. Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße

Die Gesamtfläche des Regierungsbezirkes Leipzig beträgt zu allen drei Zeitpunkten 441.171,3 ha. Dieser Wert bildet die Grundlage für die Berechnung zahlreicher Landschaftsstrukturmaße und beschreibt die Fläche innerhalb der von der Regionalen Planungsstelle Westsachsen zur Verfügung gestellten Grenzen des Regierungsbezirkes (dies erklärt die Unterschiede zur Größe des Untersuchungsgebietes in Kapitel 3). Abb. 10 zeigt die Flächenmaße der Gesamtlandschaft. Der *Largest Patch Index*, der den Flächenanteil des größten Elementes an der Landschaft beschreibt, steigt von 2,47 % (1965) über 3,56 % (1984) auf 3,73 % (1994). Die größte zusammenhängende Fläche des Untersuchungsraumes erreicht 1994 also eine Größe von 16.455 ha. Die Anzahl der einzelnen Flächen nimmt von 1965 mit über 430.000 bis 1984 auf unter 220.000 stark ab (-49,5 %) und steigt bis 1994 auf nahezu 270.000 (+22,4 %) wieder deutlich an, ohne den ursprünglichen Wert auch nur näherungsweise zu erreichen. Hieraus ergibt sich auch der Verlauf der *Patch Density*: Nach fast 100 Flächen pro 100 ha 1965 liegt der Durchschnittswert 1984 bei unter 50 und steigt bis 1994 wieder auf gut 60 an.

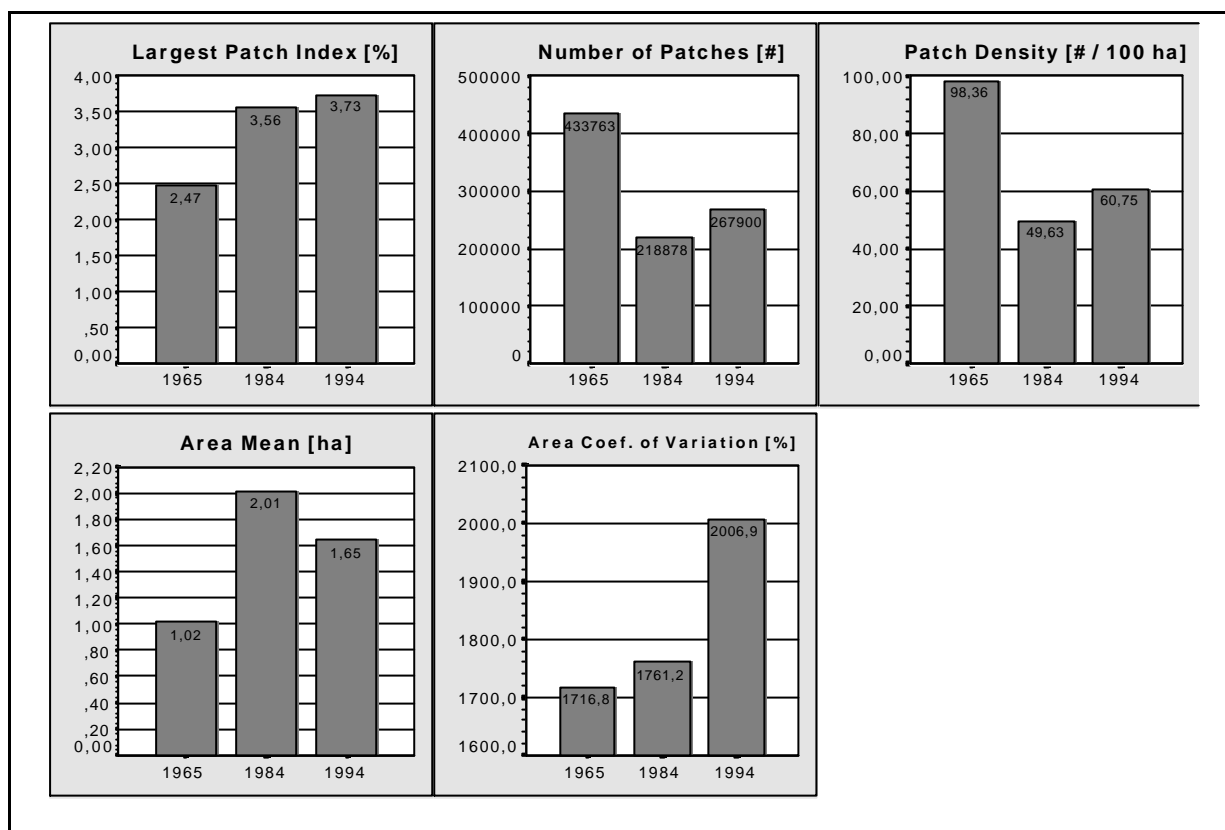


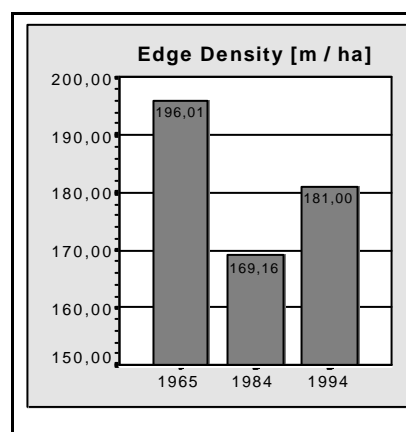
Abb. 10: Flächenmaße *Largest Patch Index (LPI)*, *Number of Patches (NP)*, *Patch Density (PD)*, *Area Mean (AREA_MN)* und *Area Coefficient of Variation (AREA_CV)* berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994.

Die durchschnittliche Flächengröße steigt von 1,02 ha 1965 auf 2,01 ha 1984 und sinkt 1994 wieder auf 1,65 ha ab. Dies bestätigt die Aussagen der LSM *Number of Patches* und *Patch Density*. Die Standardabweichung der mittleren Flächengröße zeigt eine zunehmende Variation der Flächengröße, die sich nach 1984 sehr stark von 1761 % auf 2007 % 1994 erhöht.

6.1.1.2. Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaße

Die *Edge Density*, welche die Kantenlänge pro Einheitsfläche (ha) angibt, sinkt von 196 m/ha (1965) auf 169 m/ha (1984) und steigt dann wieder auf 181 m/ha (1994) (siehe Abb. 11). Die Kantendichte steigt, wenn die Flächen zu einem kleiner werden, zum anderen aber auch, wenn ihre Formen komplexer werden.

Abb. 11: Kantenmaß *Edge Density (ED)* berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994.



6.1.1.3. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt

Der *Landscape Shape Index* ist dimensionslos und beschreibt das Verhältnis von Umfang zu Fläche, also die Komplexität der Teilflächen. Für 1965 konnte ein *LSI*-Wert von etwas über 327 festgestellt werden. Im nächsten Zeitschnitt sinkt dieser auf knapp 283 und steigt 1994 auf gut 302 (Abb. 12). Diese Werte sind lediglich untereinander vergleichbar und somit ein indirektes Maß der Landschaftsbeschreibung.

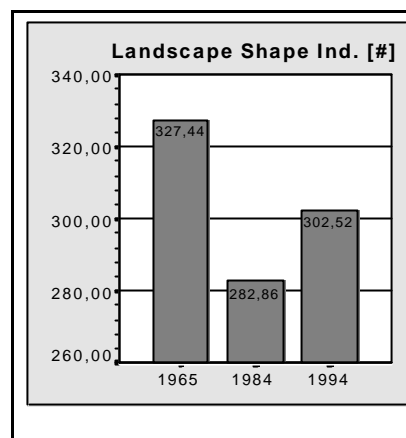


Abb. 12: Maß der Form und Gestalt *Landscape Shape Index (LSI)* berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994.

6.1.1.4. Landschaftsstrukturmaße: Maße der Diversität und Verteilung

Die Diversität der Landschaft des Regierungsbezirkes Leipzig soll anhand der Maße *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)* und *Shannon's Diversity Index (SHDI)* dargestellt werden. Der *IJI* zeigt bei hohen Werten (relativ zueinander betrachtet) eine gleichmäßige Verteilung der Patches an. In Abb. 13 ist zu erkennen, dass der Wert von 69,7 % (1965) bis 1984 deutlich auf 73,6 % ansteigt und dann bis 1994 nur noch leicht auf 73,7 % steigt.

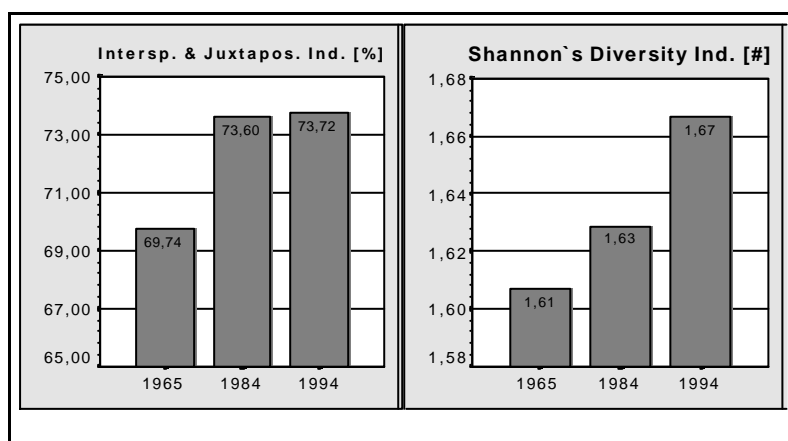


Abb. 13: Maße der Diversität und Verteilung *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)* und *Shannon's Diversity Index (SHDI)* berechnet auf der Landschaftsebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994.

Der *SHDI* steigt über die Jahre von 1,61 (1965), über 1,63 (1984) auf 1,67 (1994) leicht an. Auch hier ist der absolute Wert wenig aussagekräftig und eignet sich nur für relative Vergleiche.

Die Trennung der einzelnen Landschaftselemente und damit die Zerteilung der Landschaft an sich kann durch die Maße *MESH* (*Effective Mesh Size*) und *SPLIT* (*Splitting Index*) quantifiziert werden. Für das Monitoring des Regierungsbezirkes Leipzig und seiner Naturräume zeigen diese Maße nur schwer interpretierbare Ergebnisse und gehen daher nicht weiter in die Analyse ein.

6.1.2. Naturräume

Die Naturräume wurden im Rasterformat berechnet; dies ermöglichte die Aufnahme von Nachbarschaftsmaßen (*ENN_MN*, *ENN_CV*) in die Landschaftsanalyse. Die sieben Naturräume wurden in Kapitel 3 eingehender beschrieben und sind in ihrer räumlichen Lage im Kartenanhang in Karte 7 dargestellt. Die Naturräume (bestehend aus bis zu elf Teilräumen) wurden in ihren Teilflächen berechnet und über Mittelwert- bzw. Summenbildung zusammengefasst. Anhand der beider Naturräume Lößhügellandschaft und Auenlandschaft sollen später (Kap. 6.2.2. und Kap. 6.2.3.) zwei Räume detailliert dargestellt werden.

6.1.2.1. Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße

Der kleinste der sieben Naturräume, die urbanen Landschaften, haben eine Gesamtgröße von 31.963 ha und damit einen Anteil am gesamten Regierungsbezirk Leipzig von 7,3 %. Dem gegenüber steht der größte Naturraum, die Porphyrhügellandschaft, mit einem Anteil von 23,3 % und einer Gesamtgröße von 102.706 ha. Die Bergbaulandschaft und die Auenlandschaft sind mit etwa 35.000 ha gleich groß. Ebenso sind die Sandlöß-Ackerlandschaft, die Heidelandschaft und die Lößhügellandschaft mit einem Anteil an der Gesamtfläche von 16,8 % bis 19,2 % (Abb. 14) fast gleich groß.

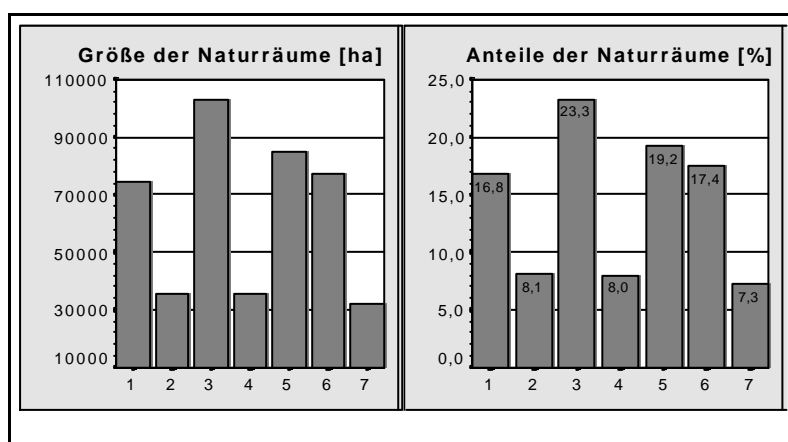


Abb. 14: Größe der einzelnen Naturräume [*Total Area: TA*] und ihre prozentualen Anteile [*Percent of Landscape: %LAND*] an der Gesamtlandschaft (Naturraum 1 = Lößhügellandschaft, Naturraum 2 = Bergbaulandschaft, Naturraum 3 = Porphyrhügellandschaft, Naturraum 4 = Auenlandschaft, Naturraum 5 = Heidelandschaft, Naturraum 6 = Sandlöß-Ackerlandschaft, Naturraum 7 = urbane Landschaft).

Abb. 15 zeigt die Flächenmaße *Largest Patch Index*, *Number of Patches*, *Patch Density*, *Area Mean* und *Area Coefficient of Variation*. Der Index der größten Fläche wird geprägt von den Tagebauflächen der Bergbaulandschaft. Hier steigt der Wert von 19,9 % (1965) auf fast 45 % (1994). Auch die urbanen Landschaften weisen mit knapp 7,8 % (1965) und gut 10,4 % (1994) relative hohe *LPI*-Werte auf. Fast keine Veränderung über die Zeit zeigen die *LPI*-Werte der Auenlandschaft; sie liegen konstant bei etwa 2,5 %.

Die Anzahl der Landschaftselemente ist vor allem in den landwirtschaftlich geprägten Naturräumen (Lößhügellandschaft, Porphyrhügellandschaft, Heidelandschaft, Sandlöß-Ackerlandschaft) hoch. In allen vier Naturräumen nimmt die Anzahl der Flächen von 1965 bis 1984 stark ab und steigt danach wieder leicht an.

Die Patch-Dichte ist 1965 mit Werten zwischen 85 und 128 Patches pro 100 ha in allen Naturräumen deutlich höher als in den anderen Jahren. 1994 werden fast ausnahmslos höhere Werte als 1984 erreicht. Lediglich in der Bergbaulandschaft sinkt die Patchdichte über die gesamten 30 Jahre.

Einen genau entgegengesetzten Verlauf zeigt die Entwicklung der mittleren Flächengröße. Werden 1965 fast durchgehend durchschnittliche Flächengrößen von etwa 1 ha erreicht, steigt die Flächengröße bis 1984 stark an und nimmt dann bis 1994 in den landwirtschaftlich geprägten Räumen wieder ab. Die Bergbaulandschaft zeigt über die drei Zeitschnitte einen dauerhaften Anstieg der Flächengröße.

Die Standardabweichung der mittleren Flächengröße variiert zwar zwischen den Naturräumen erheblich, innerhalb dieser Räume kommt es aber im Verlauf der untersuchten 30 Jahre nur zu relativ geringen Veränderungen. Die Gesamtgrößenvariationen unterlagen demnach über die Zeit hinweg nur einem geringen Wandel.

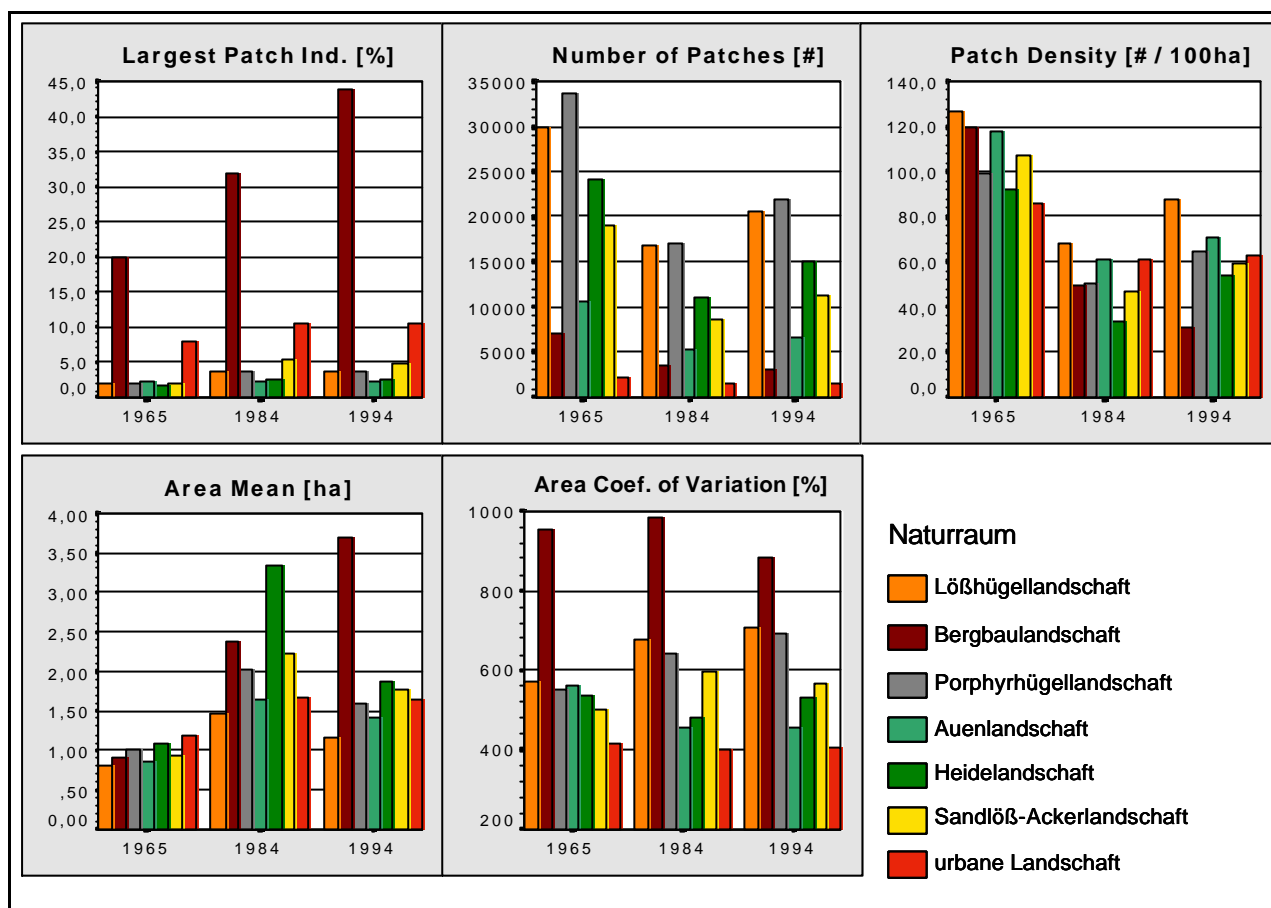


Abb. 15: Flächenmaße *Largest Patch Index (LPI)*, *Number of Patches (NP)*, *Patch Density (PD)*, *Area Mean (AREA_MN)* und *Area Coefficient of Variation (AREA_CV)* berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994.

6.1.2.2. Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß

Die Entwicklung der Kantendichte zeigt in den sieben Naturräumen einen sehr unterschiedlichen Verlauf. In den urbanen Landschaften bleibt die *Edge Density* mit etwa 215 m/ha nahezu konstant. Die stark von den großflächigen Tagebauen geprägten Bergbaulandschaften zeigen die geringste Kantendichte aller Naturräume. Der Verlauf der Kantendichtenentwicklung bei den vier von der Landwirtschaft geprägten Naturräumen und bei den Auenlandschaften zeigt von 1965 bis 1984 eine deutliche Verringerung der *Edge Density* und von 1984 bis 1994 einen leichten Anstieg. Einen Überblick über die Entwicklung der Kantendichte der untersuchten Naturräume gibt Abb. 16.

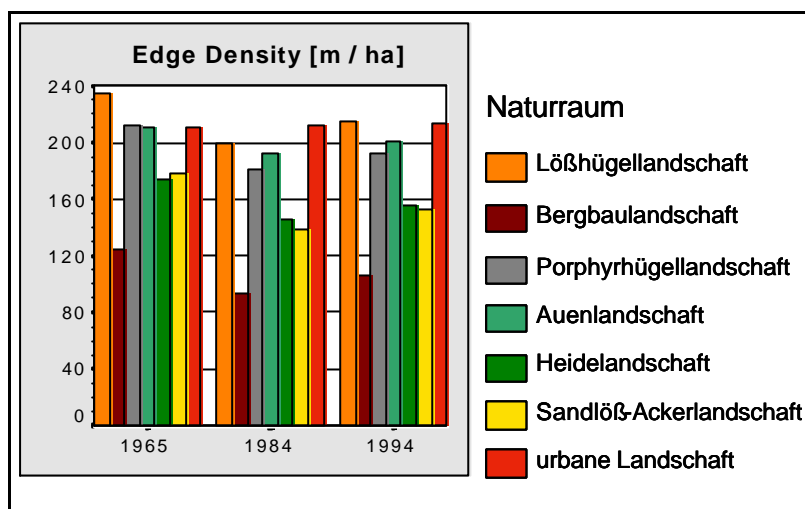


Abb. 16: Kantenmaß *Edge Density (ED)* berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994.

6.1.2.3. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt

Einen Formenvergleich der Landschaftselemente der Naturräume mit der quadratischen Fläche gleicher Größe zeigt die Berechnung des Landschaftsstrukturmaßes *Landscape Shape Index* (Abb. 17). Die vergleichsweise hohen Werte der Lößhügellandschaft und der Porphyrhügellandschaft zeigen relativ komplexe, d. h. von der Standardform abweichende Patchformen an. Die geringsten Abweichungen sind in der Bergbau- und der urbanen Landschaft mit Werten zwischen 20 und 25 zu finden. Fast ausnahmslos kommt es zwischen 1965 und 1984 zu einer Vereinfachung und zwischen 1984 und 1994 zu einer Verstärkung der Formkomplexität.

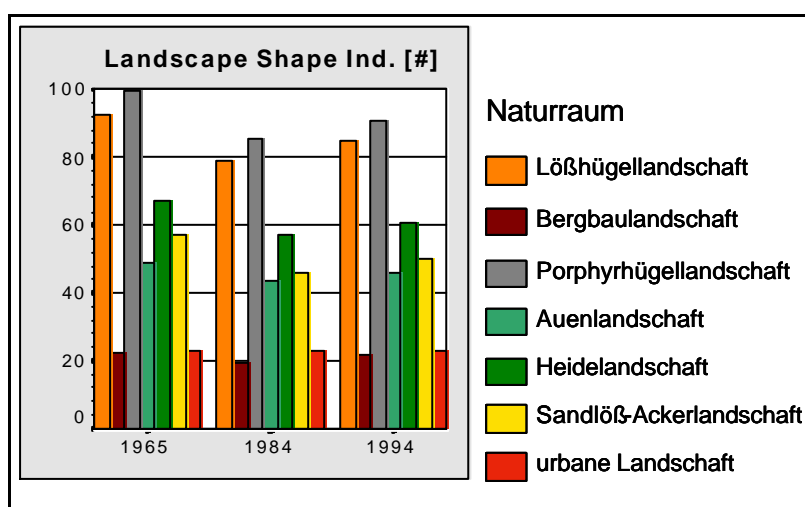


Abb. 17: Maß der Form und Gestalt *Landscape Shape Index (LSI)* berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994.

6.1.2.4. Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft

Die Maße der euklidischen nächsten Nachbarschaften beschreiben die durchschnittliche Entfernung (Abstand des äußeren Randes) zweier Flächen gleicher Klasse zueinander. Die durchschnittliche Entfernung steigt in allen Naturräumen von 1965 bis 1984 z. T. stark an und sinkt dann, mit Ausnahme der Bergbaulandschaften, bis 1994 wieder ab. Lediglich die urbanen Landschaften zeigen nach 1984 kaum Veränderungen; hier stagnieren die mittleren Entfernungen bei etwa 60 m (Abb. 18). Die deutlichsten Veränderungen sind in der Heidelandschaft zu finden, deren Wert der mittleren Entfernung von 30,2 m (1965) auf 73,7 m (1984) ansteigt (+144,1 %) und dann bis 1994 auf 42,4 m zurückgeht (-42,5 %).

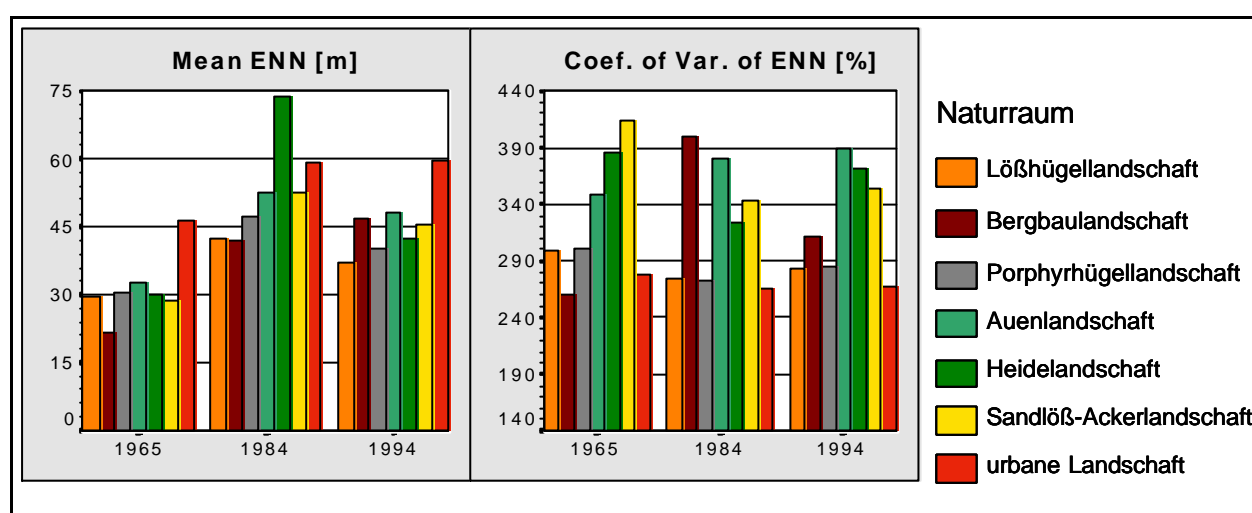


Abb. 18: Maße der nächsten Nachbarschaft *Mean Euclidean Nearest Neighbor (ENN_MN)* und *Euclidean Nearest Neighbor Coefficient of Variation (ENN_CV)* berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994.

Der Variationskoeffizient der mittleren nächsten Nachbarschaft zeigt eine sehr unterschiedliche Entwicklung der Naturräume über die untersuchten 30 Jahre hinweg. Selbst zwischen den vier landwirtschaftlich geprägten Gebieten Lösshügellandschaft, Porphyrhügellandschaft, Heidelandschaft und Sandlöß-Ackerlandschaft sind nur wenige Parallelen auszumachen. Konstant hohe Werte, also eine hohe Heterogenität der Entfernungen, sind vor allem in den Auenlandschaften zu finden. Die geringsten Variationen weisen die urbanen Landschaften mit Werten zwischen 277,2 % (1965) und 264,9 % (1984) auf.

6.1.2.5. Landschaftsstrukturmaße: Maße der Diversität und Verteilung

Der *Interspersion and Juxtaposition Index* quantifiziert eine gleichmäßige (hoher Wert) oder ungleichmäßige (niedriger Wert) Verteilung der Elemente der Landschaft über die Zeit. Fast

durchgängig hohe Werte über 65 % finden sich für die Naturräume Lößhügellandschaft, Porphyrhügellandschaft, Auenlandschaft und Heidelandschaft. Eine ungleichmäßige Verteilung der Landschaftselemente findet sich 1965 in der Sandlöß-Ackerlandschaft (*IJI*-Wert von 57 %) sowie 1965 und 1984 in der Bergbaulandschaft mit Werten zwischen 60 % und 59 %. Die urbane Landschaft weist fast keine Veränderung der proportionalen Verteilung der Patches über den Zeitraum hin auf.

Der *Shannon's Diversity Index* ändert sich in keinem der Naturräume über die Zeit in größerem Umfang. Lediglich in den Bergbaulandschaften ist eine leichte Zunahme von 1,16 (1965) über 1,22 (1984) bis 1,33 (1994) festzustellen. Die Werte der Porphyrhügellandschaft, der Auenlandschaft, der Heidelandschaft und der urbanen Landschaft liegen über die Jahre bei etwa 1,5. Die Sandlöß-Ackerlandschaft weist mit einem Wert von etwa 1,0 den niedrigsten Wert der Naturräume auf (vgl. Abb. 19).

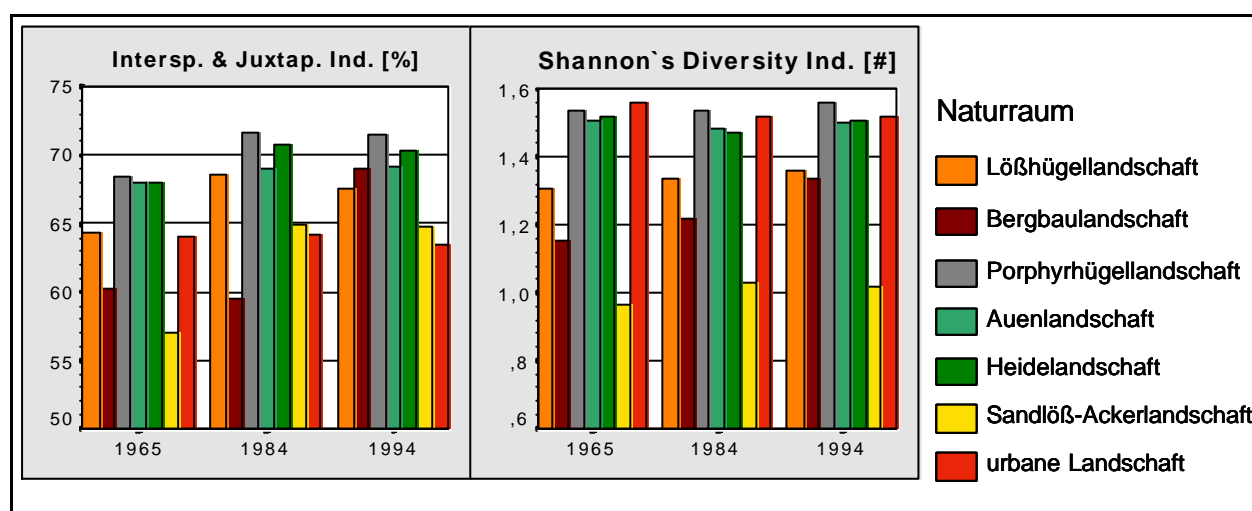


Abb. 19: Maße der Diversität und Verteilung *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)* und *Shannon's Diversity Index (SHDI)* berechnet auf der Landschaftsebene der Naturräume von 1965 bis 1994.

6.2. Klassenebene

6.2.1. Gesamtlandschaft

6.2.1.1. Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße

Auf Klassenebene sollen für die Gesamtlandschaft an dieser Stelle die LSM aller Klassen dargestellt werden. Da die Werte teilweise stark differieren, ist es nicht immer möglich alle Zahlen innerhalb einer Graphik darzustellen. Die Messwerte, die nicht in der Graphik ablesbar sind, sind in der Abbildungsbeschriftung dargestellt.

Abb. 20a und 20b zeigen die Flächenmaße der Klassenebene. Die Darstellung der 12. Klasse (landwirtschaftliche Grenzen) erfolgt nur der Vollständigkeit halber und wird nicht weiter betrachtet. Die landwirtschaftlichen Grenzen sind sowohl Acker- als auch Grünlandgrenzen – eine Verschneidung mit einem der beiden Themen ist daher nicht sinnvoll.

Die Gesamtlandschaft wird flächenmäßig stark von landwirtschaftlichen Nutzflächen, vor allem von Äckern geprägt. Äcker haben in allen drei Zeitschnitten einen Anteil von mehr als 50 % und Absolutwerte zwischen 225.500 ha (1994) und 238.000 ha (1965). Die Klasse Grünland & Garten hat mit einem Anteil von knapp 15 % und einer Fläche zwischen 60.627 ha (1965) und 65.380 ha (1994) die zweithöchsten Anteile an der Gesamtlandschaft. Lediglich drei weitere Klassen (Laubwald, Nadelwald und Bebauung) erreichen noch Werte über 5 %.

Der *Largest Patch Index* erreicht fast nur geringe Werte zwischen 0 und 0,1. Lediglich die Klasse Tagebau/Sonderflächen und die Klasse Verkehr erreichen Größenordnungen zwischen 0,26 % (1965) und 0,41 % (1984) [Tagebau/Sonderflächen] bzw. 3,62 % (1965) und 3,92 % (1984) [Verkehr]. Dies zeugt von großen Tagebauflächen und einem geschlossenen Verkehrsnetz.

Besonders viele Patches haben die Klassen Grünland & Garten, Acker und Baumreihe / Hecken/ Gehölz. Eine relativ kleine Anzahl an Teilflächen haben die flächenmäßig nur in geringem Umfang vorhandenen Klassen Still- und Fließgewässer, offene Ruderalflächen und Nadelwald, aber auch das weitgehend in sich geschlossene Verkehrsnetz und die zwar großen, aber nicht zahlreichen Tagebaue. Der Entwicklung der Anzahl der Flächen folgt auch die Entwicklung der Flächendichte. Auch hier dominieren Grünland & Garten und Baumreihe / Hecken/ Gehölz. Den mittleren Bereich zwischen 2 und 4 Flächen pro 100 ha erreichen die Klassen Acker (Ausnahme: 1965), Laubwald und Bebauung.

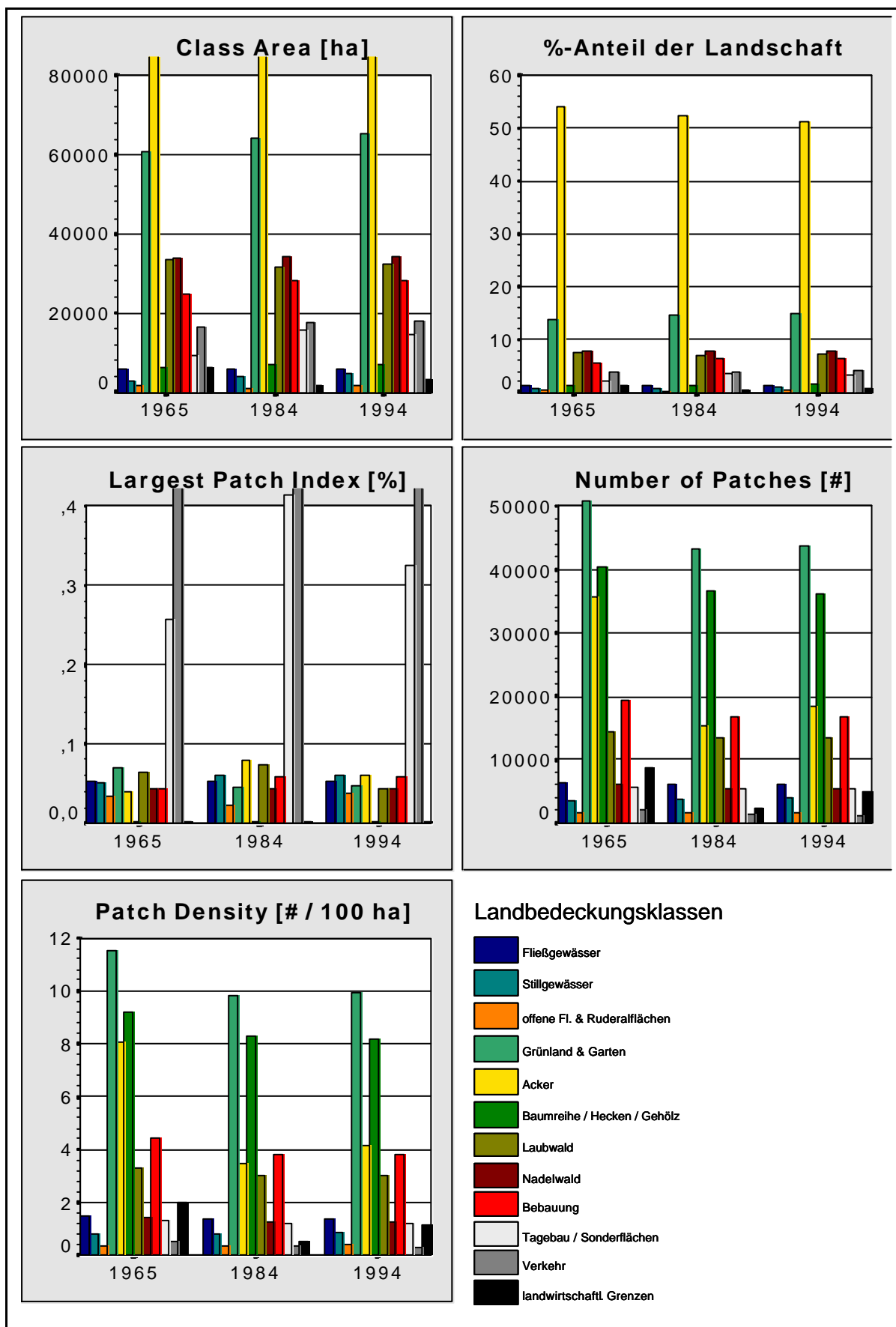


Abb. 20a: Flächenmaße *Class Area (CA)*, *Percent of Landscape (%LAND)*, *Largest Patch Index (LPI)*, *Number of Patches (NP)* und *Patch Density (PD)* berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994 [CA: Acker 1965 238.000 ha, 1984 230.000 ha, 1994 225.500 ha; LPI: Verkehr: 1965 3,62 %, 1984 3,78 %, 1994 3,92 %; Tagebau: 1984 0,41 %; NP: Grünland 1965 50.800].

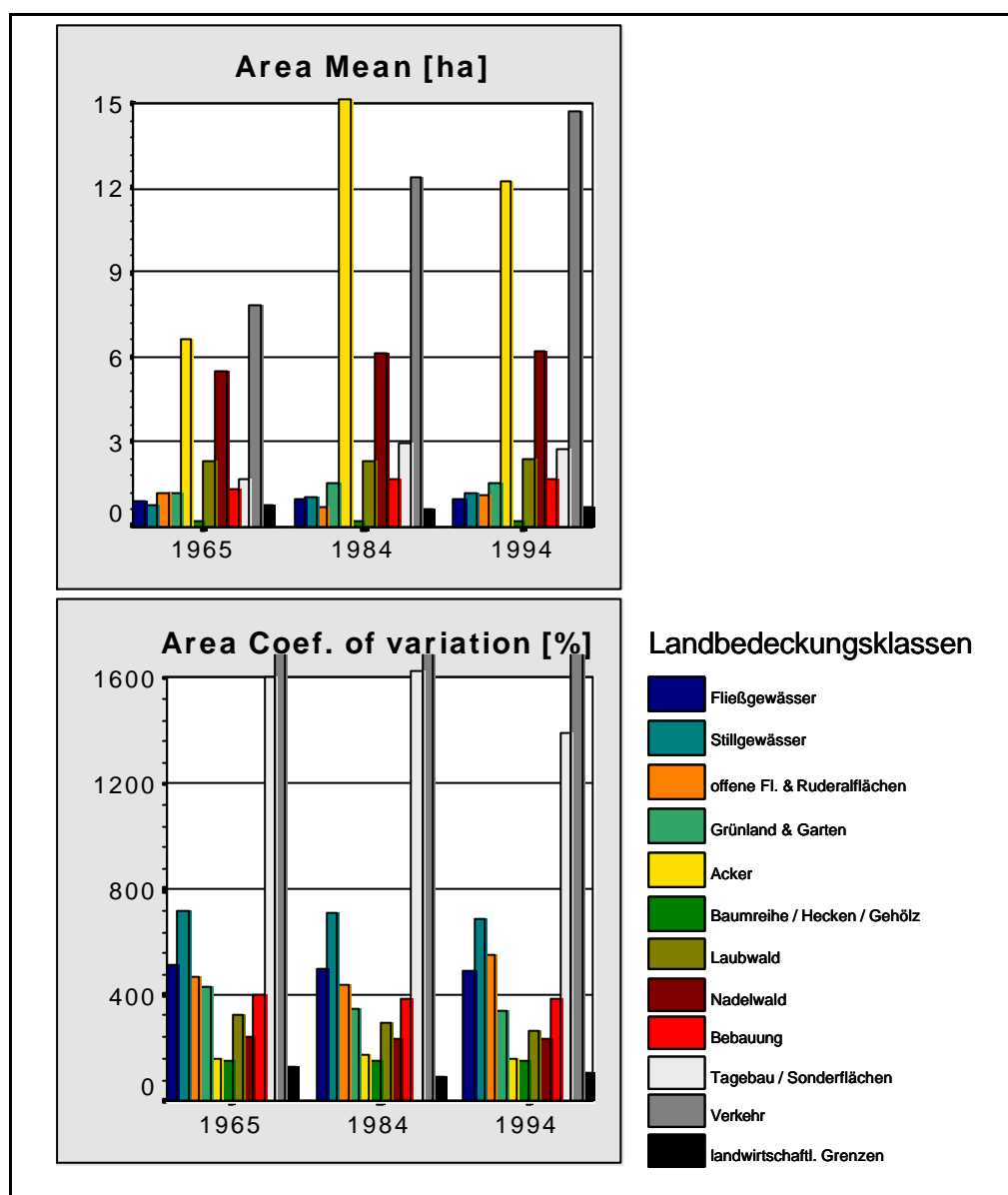


Abb. 20b: Flächenmaße *Area Mean* (*AREA_MM*) und *Area Coefficient of Variation* (*AREA_CV*) berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994 [*AREA_MM*: Acker 1984 15,15 ha; *AREA_CV*: Verkehr: 1965 4415 %, 1984 3586 %, 1994 3360 %; Tagebau: 1984 1625 %].

Die durchschnittlich größten Flächen (*Area Mean*) finden sich bei den Landschaftsklassen Acker, Nadelwald und Verkehr. Vor allem zwischen 1965 und 1984 wurden die Ackerschläge deutlich von 6,67 ha auf 15,15 ha größer. Auch das Verkehrsnetz wurde dichter und größer. Die Veränderungen der anderen Klassen sind wesentlich geringer und liegen unter 0,5 ha. Das Maß *Mean Area Coefficient of Variation* zeigt bei den Klassen Tagebau/ Sonderflächen und Verkehr die größten Unterschiede mit Werten bis zu 4415 % (Verkehr 1965). Auch die Klassen Stillgewässer, Fließgewässer, offene Flächen & Ruderalflächen und Bebauung zeigen mit Werten von z. T. deutlich über 400 % hohe Werte.

6.2.1.2. Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß

Die Kantendichte, also die Länge der Kanten pro ha, zeigen generell hohe Werte bei Klassen mit häufigen und/oder länglichen Patches. Dies trifft hier besonders auf die Klassen Grünland & Garten, Acker und Verkehr zu. Die nur aus linienhaften Flächen bestehende Klasse Fließgewässer weist nur geringe Werte auf, da sie nur selten vorkommt (Abb. 21). Kleine (offene Flächen & Ruderalflächen), kompakte (Tagebau / Sonderflächen) und seltene Klassen (Stillgewässer) haben geringe Werte.

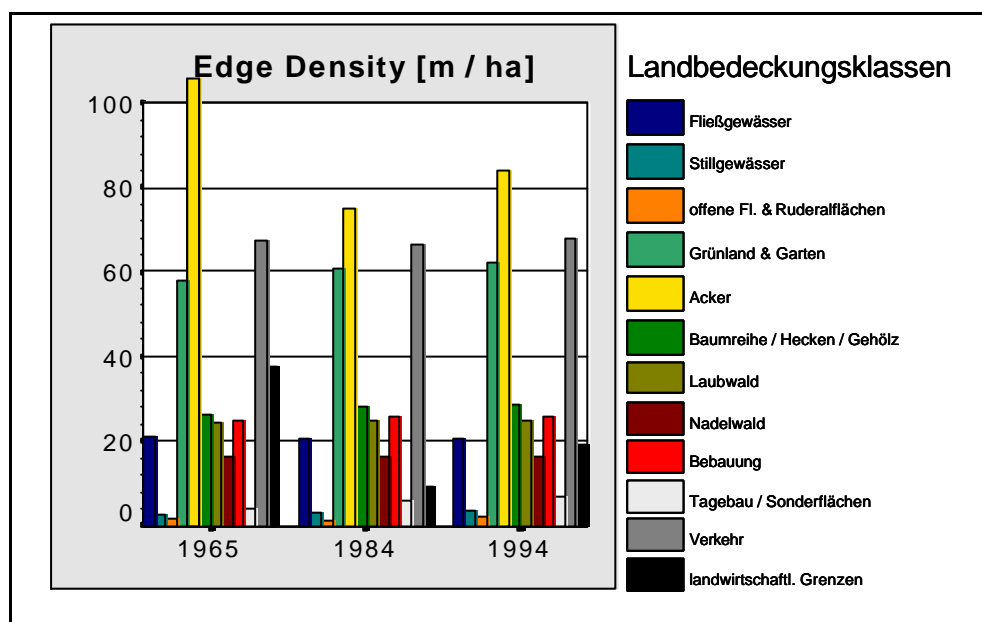


Abb. 21: Kantenmaß *Edge Density* (*ED*) berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994 [*ED*: Acker 1965 107,5 m/ha].

6.2.1.3. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt

Das Verhältnis von Fläche zu Umfang, ausgedrückt durch den *Landscape Shape Index* (*LSI*), weist vor allem für linienhafte Landschaftselemente (Fließgewässer, Verkehr, Baumreihe / Hecken / Gehölz) hohe Werte auf. Die sehr kompakten Flächen der Tagebaue und Sonderflächen, der offenen Flächen und Ruderalflächen und die Nadelwälder weisen mit Maximalwerten von 100 geringe Werte auf. Die Äcker sind, wie schon anhand der Flächenmaße gezeigt, nach 1965 nicht nur größer, sondern, wie am *LSI* zu erkennen, auch kompakter geworden. Diese Entwicklung ging zwischen 1984 und 1994 wieder zurück - allerdings nur leicht. Eine mittlere Stellung zwischen kompakten und linearen Formen nehmen die Klassen Bebauung und Laubwald ein (Abb. 22).

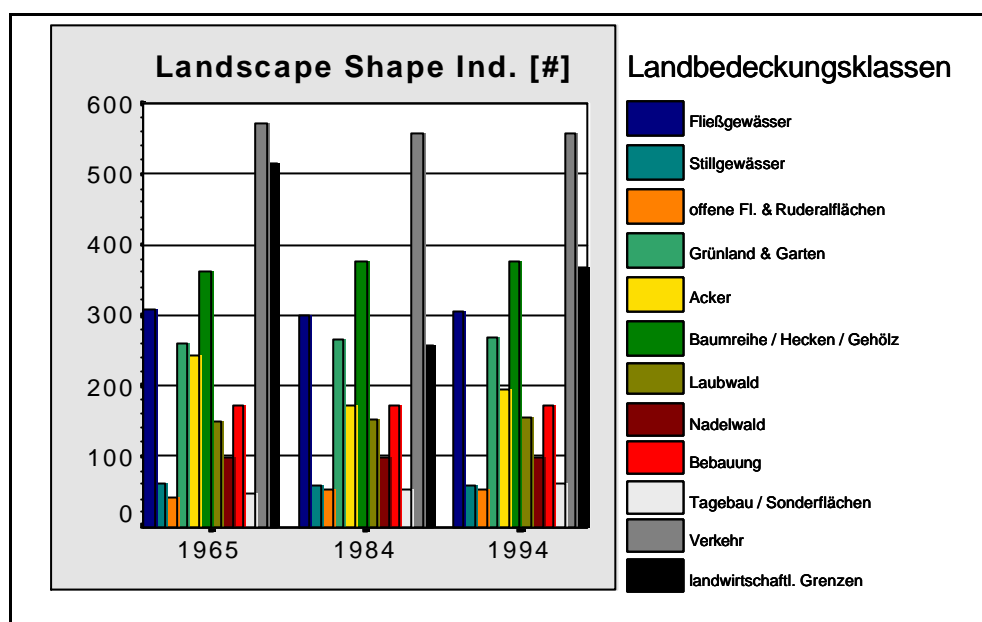


Abb. 22: Maß der Form und Gestalt: *Landscape Shape Index (LSI)* berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.1.4. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Diversität und Verteilung

Mit einer Ausnahme erreichen alle Klassen *IJI*-Werte zwischen 55 % und 87 %, was auf eine weitgehend proportionale Verteilung der einzelnen Landschaftselemente hinweist. Die Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölz erreicht aber auch Werte von fast 50 % (Abb. 23). Bei keiner Klasse kommt es zu einem nennenswerten Wandel des Indexwertes über die Zeit.

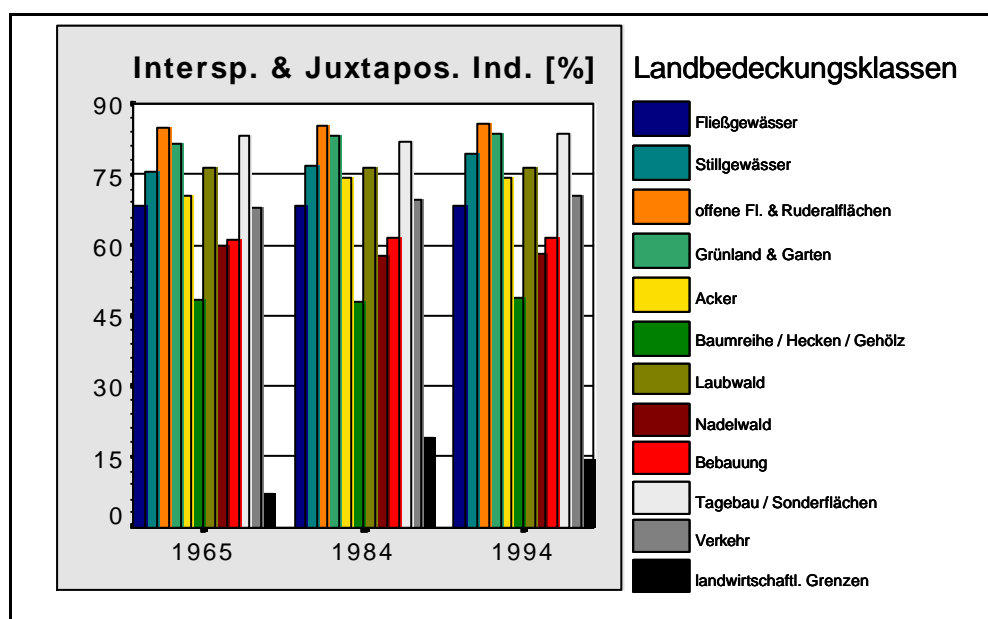


Abb. 23: Maß der Diversität und Verteilung: *Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)* berechnet auf der Klassenebene der Gesamtlandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.2. Lößhügellandschaft

Die Landschaftsentwicklung der Lößhügellandschaft soll an dieser Stelle stellvertretend für alle landwirtschaftlich geprägten Naturräume (vgl. Kap. 3 und Karte 7) dargestellt werden. Die Entwicklung der Ackerschläge, des Wirtschaftsgrünlandes und der anderen das Landschaftsbild prägenden Landschaftselemente verlief in den untersuchten 30 Jahren in der Lößhügellandschaft, der Porphyrhügellandschaft, der Sandlöß-Ackerlandschaft und der Heidelandschaft sehr ähnlich.

Anhand der drei Landschaftselementklassen Grünland & Garten, Acker und Baumreihe / Hecken / Gehölz sollen die wesentlichsten Entwicklungen verfolgt werden. Eine Untersuchung anderer Klassen machte im Gebiet der Lößhügellandschaft wenig Sinn, da sie sich entweder nur in sehr geringem Umfang in der Naturraumeinheit befinden und/oder diesen nicht wesentlich prägen.

6.2.2.1. Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße

Die Lößhügellandschaft wird in seiner Flächennutzung vom Ackerbau dominiert, der Anteil der Ackerflächen liegt, bei Gesamtflächen von mehr als 45.000 ha, über die Jahre immer über 60,0 %. Das Grünland erreicht mit etwa 18,0 % 1994 den höchsten Anteil (etwa 12.000 ha), der Anteil der Baumreihen, Hecken und Gehölze verändert sich über die Jahre kaum und liegt kontinuierlich unter 3,0 %. Die Entwicklung der Landschaft, beschrieben durch die Flächenmaße ist Abb. 24 zu entnehmen. Die größte zusammenhängende Ackerfläche macht 1984 mit einem Anteil von fast 1,0 % einen bedeutenden Flächenanteil aus, wenn man bedenkt, das zum gleichen Zeitpunkt etwa 1200 Ackerschläge im Gebiet vorzufinden waren. Auch die Flächen des Grünlandes nehmen teilweise hohe Anteile ein (größte Fläche 1984 Anteil von knapp 0,5 %). Insgesamt ist zu beobachten, dass die Schlaggröße bis 1984 zunimmt, danach aber wieder rückläufig ist. Dies ist auch an der Anzahl der Patches und ihrer Dichte abzulesen: Da der Gesamtanteil über die Jahre nur leicht variiert und die Flächen bis 1984 größer werden, nimmt ihre Anzahl und ihre Dichte ab. Nach 1984 kehrt sich der Prozess um. Dieser Trend ist auch der Graphik *Mean Area [ha]* (Abb. 24) zu entnehmen. Von 1965 bis 1984 kam es fast zu einer Verdoppelung der durchschnittlichen Ackerschlaggrößen von 7,0 auf 12,1 ha. Danach sank die durchschnittliche Schlaggröße wieder auf unter 10 ha. Die Klassen Acker und Baumreihe / Hecken / Gehölz weisen bei einem Variationskoeffizienten der durchschnittlichen Flächengrößen von +/-150 % nur relativ geringe Unterschiede zueinander

auf. Diese liegen bei der Klasse Grünland & Garten mit Werten zwischen 260 % und 300 % deutlich höher und verweisen auf eine größere Diversität.

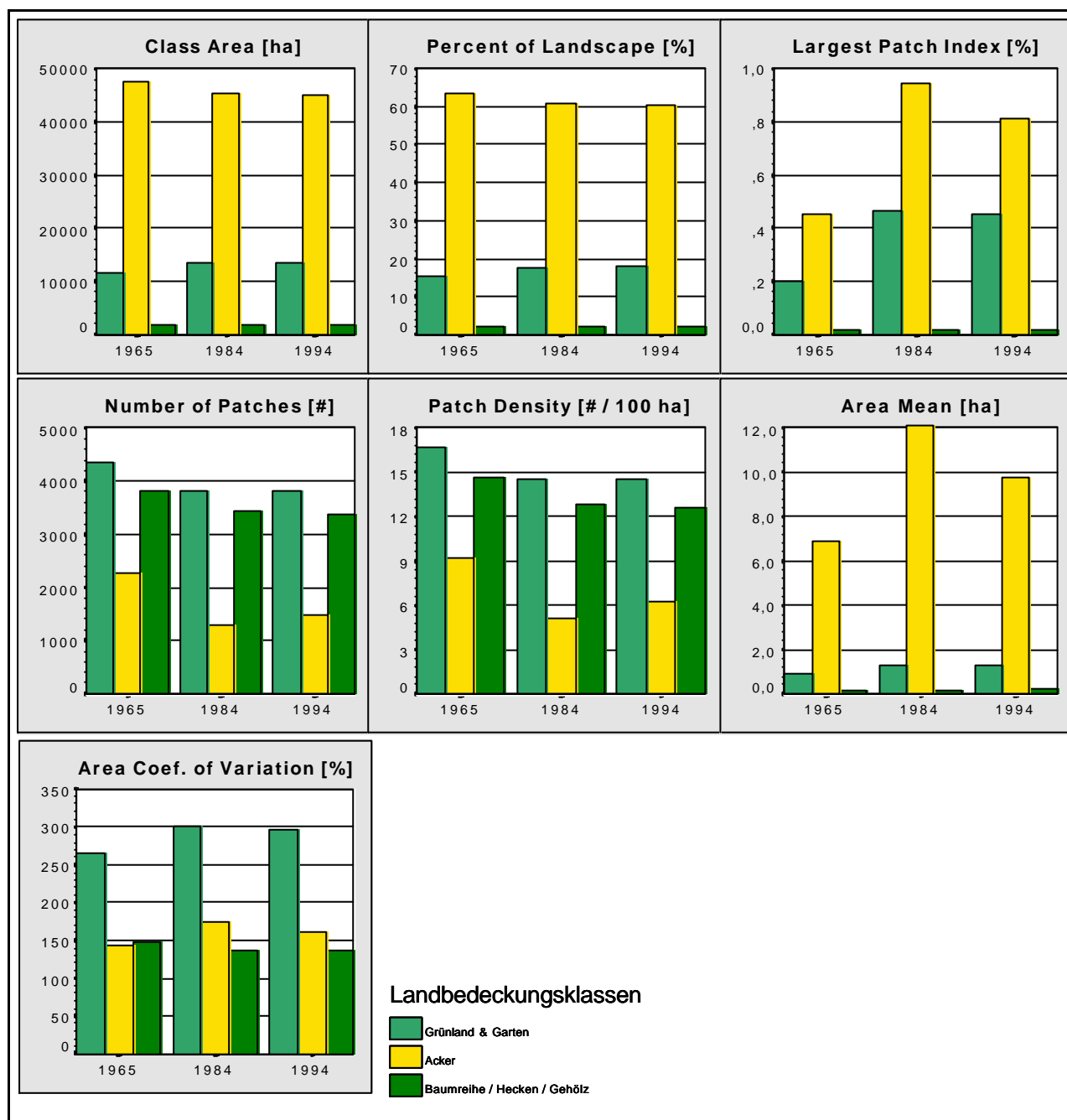


Abb. 24: Flächenmaße *Class Area (CA)*, *Percent of Landscape (%LAND)*, *Largest Patch Index (LPI)*, *Number of Patches (NP)*, *Patch Density (PD)*, *Area Mean (AREA_MN)* und *Area Coefficient of Variation (AREA_CV)* berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.2.2. Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß

Bei der Betrachtung der Kantendichte ist zu berücksichtigen, dass linienhafte Klassen auch bei geringer Gesamtfläche eine relativ hohe Kantendichte erreichen; flächenhafte Elemente

erreichen dies erst, wenn die Teilflächen eine sehr längliche Form haben, oder wenn viele Teilflächen im Bezugsraum vorhanden sind. Wie sich aus dem *LSI* des Ackers (nächster Absatz) ergibt, trifft in diesem Fall das zweite zu. Mit Werten von durchgehend über 100 m/ha erreicht die Klasse Acker immer höhere Werte als die Klasse Grünland & Garten, deren Maximalwerte immer unter 90 m/ha liegen und sich über die Zeit kaum verändern. Auch die Werte der Baumreihen/Hecken/Gehölz sind mit etwa 40 m/ha über 30 Jahre hinweg weitgehend konstant (Abb. 25).

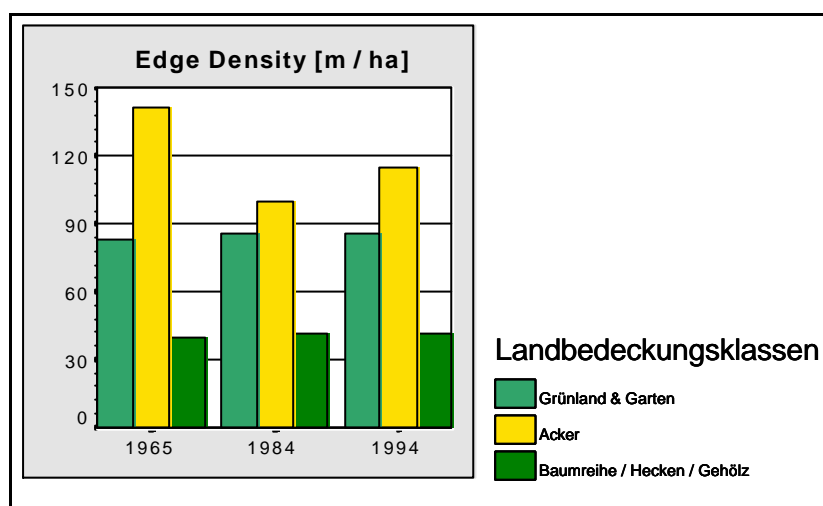


Abb. 25: Kantenmaß *Edge Density* (*ED*) berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.2.3. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt

Der *Landscape Shape Index* (siehe Abb. 26) zeigt für alle drei Landschaftsklassen einen unterschiedlichen Verlauf über die Zeit. Die Formkomplexität der Grünland- und Garten-

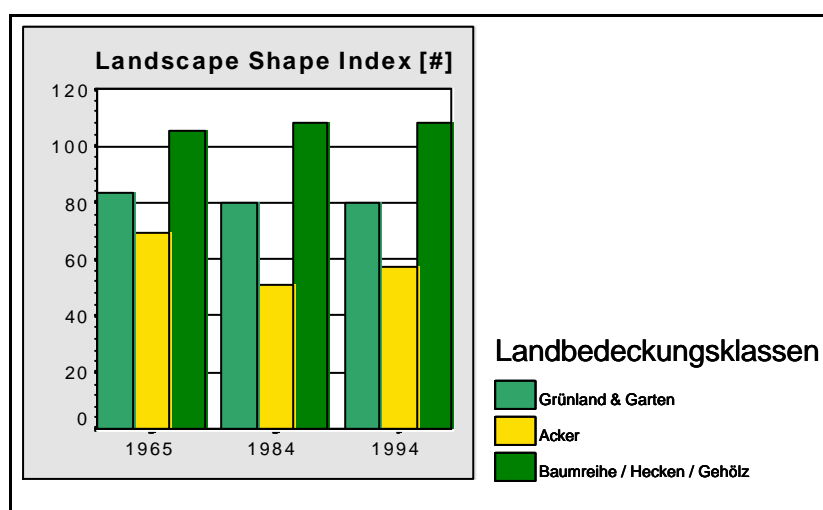


Abb. 26: Maß der Form und Gestalt *Landscape Shape Index* (*LSI*) berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994.

Patches nimmt leicht von 1965 mit einem Wert von 83,6 auf 79,8 im Jahre 1994 ab. Der Wert der Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölz steigt leicht von 105,5 (1965) auf 107,8 (1994). Die Klasse Acker nähert sich von 1965 bis 1984 in der durchschnittlichen Form der Einzelflächen der Standardform (Quadrat) an (LSI sinkt von 69,0 auf 50,7). Danach werden die Einzelflächen wieder länglicher, so dass der LSI -Wert auf 57,6 steigt.

6.2.2.4. Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft

Die mittlere Distanz zum nächsten Nachbarn gleicher Klassenzugehörigkeit (*Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance*) zeigt vor allem für die beiden Landwirtschaftsklassen, dass diese sehr eng aneinander liegen und häufig auftreten. Dies zeigt sich durch sehr geringe Abstände von 18-25 m (Abb. 27). Ein Wandel über die Zeit findet demnach fast nicht statt. Baumreihen/ Hecken/ Gehölze zeigen 1965 noch Abstände von 44,9 m, ab 1984 liegt dieser Wert bei etwa 52 m.

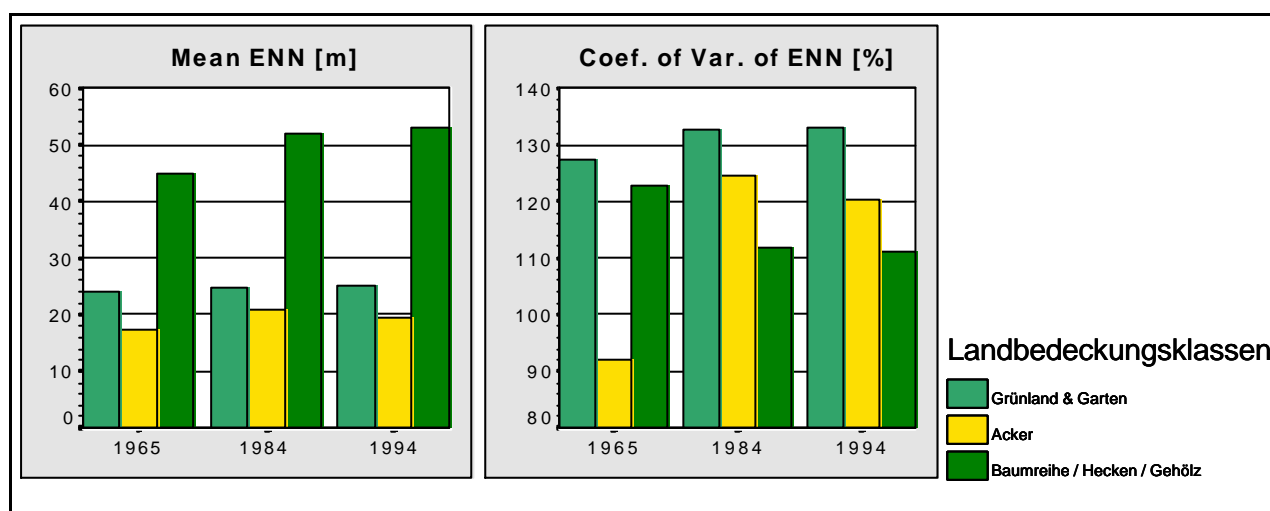


Abb. 27: Maß der nächsten Nachbarschaft *Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_MM)* und *Mean Coefficient of Variation of Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_CV)* berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994.

Die Variationen der mittleren Entfernung über die Zeit sind vor allem bei den Ackerschlägen hoch. Lag der Wert 1965 mit 92,0 % noch sehr niedrig, erreicht er 1984 124,4 %, liegt damit allerdings noch deutlich unter den Werten für Grünland & Garten. Der Wert für Grünland & Garten steigt über die Zeit nur leicht von 127,3 % (1965) auf 132,9 % (1994). Nur die Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölz zeigt durchgängig rückläufige Werte von 1965 (122,8 %) bis 1994 (111,2 %).

6.2.2.5. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Diversität und Verteilung

Die Elemente der Klassen Grünland & Garten und Äcker sind im Vergleich zu denen der Klasse Baumreihen/Hecken/Gehölze deutlich gleichmäßiger über die Lößhügellandschaft verteilt. Dies zeigen die mit 68 % bis knapp 80 % deutlich höheren Werten der beiden Landwirtschaftsklassen, im Vergleich mit den nur bei etwa 45 % liegenden Werten der weitestgehend linienhaften Landschaftselemente. Eine Veränderung einer proportionalen bzw. disproportionalen Verteilung über die Zeit ist in allen drei Klassen nur gering ausgeprägt (siehe Abb. 28).

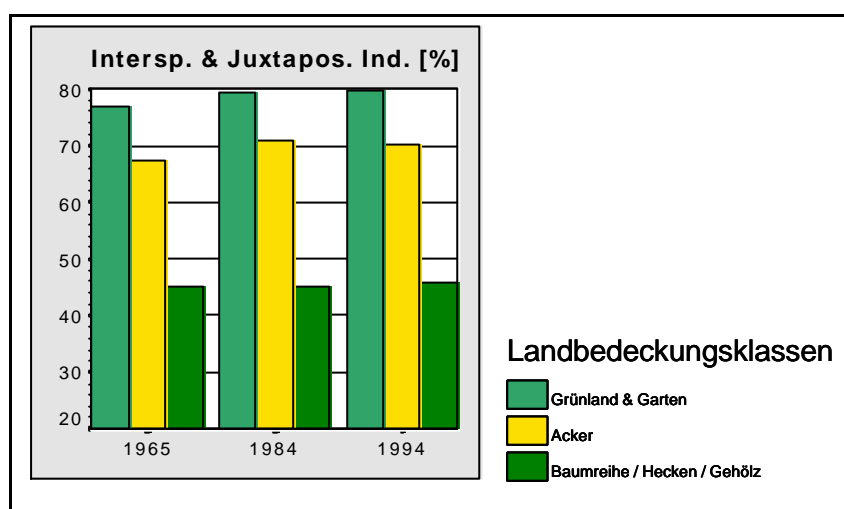


Abb. 28: Maß der Diversität und Verteilung *Interspersion & Juxtaposition Index (IJI)* berechnet auf der Klassenebene der Lößhügellandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.3. Auenlandschaft

Als weiteren Naturraum soll an dieser Stelle die Landschaftsentwicklung der Auenlandschaften, vertreten durch die von West nach Osten folgenden Auen der Pleiße, Mulde und Elbe (vgl. Karte 7) dargestellt werden. Mit den drei Landbedeckungsklassen Fließgewässer, Grünland & Garten und Laubwald wurden die wesentlichsten Klassen ausgewählt, anhand derer die Entwicklung aufgezeigt werden soll. Nicht erst seit dem verheerenden Hochwasser des Sommers 2002 hat das Auenmonitoring eine wichtige Stellung im Landschaftsmonitoring (ENGEL & MÜRLEBACH 1986).

6.2.3.1. Landschaftsstrukturmaße: Flächenmaße

Obwohl die Auen nicht so stark von einer Landschaftsklasse dominiert werden wie die Lößhügellandschaft, spielt doch die Klasse Grünland & Garten eine flächenmäßig große Rolle. Der Anteil dieser Klasse erhöht sich von 25,8 % (1965) (Absolutwert 9085 ha) auf

29,1 % (1994) (9420 ha). Im gleichen Zeitraum geht der Anteil des Laubwaldes von 17,1 % (3414 ha) auf nur noch 11,1 % (2353 ha) zurück (Abb. 29). Dies entspricht einem Rückgang von 31,1 %. Sowohl der Anteil als auch die Fläche der Fließgewässer ändert sich über die Zeit kaum.

Auch der Anteil der größten Einzelfläche an der Gesamtlandschaft (*LPI*) der Fließgewässer ändert sich über die Zeit nicht und bleibt bei einem Wert von 0,95 % konstant. Der Laubwald geht nicht nur in seinem Anteil, sondern auch in seiner Maximalgröße von 1,38 % (1965) auf

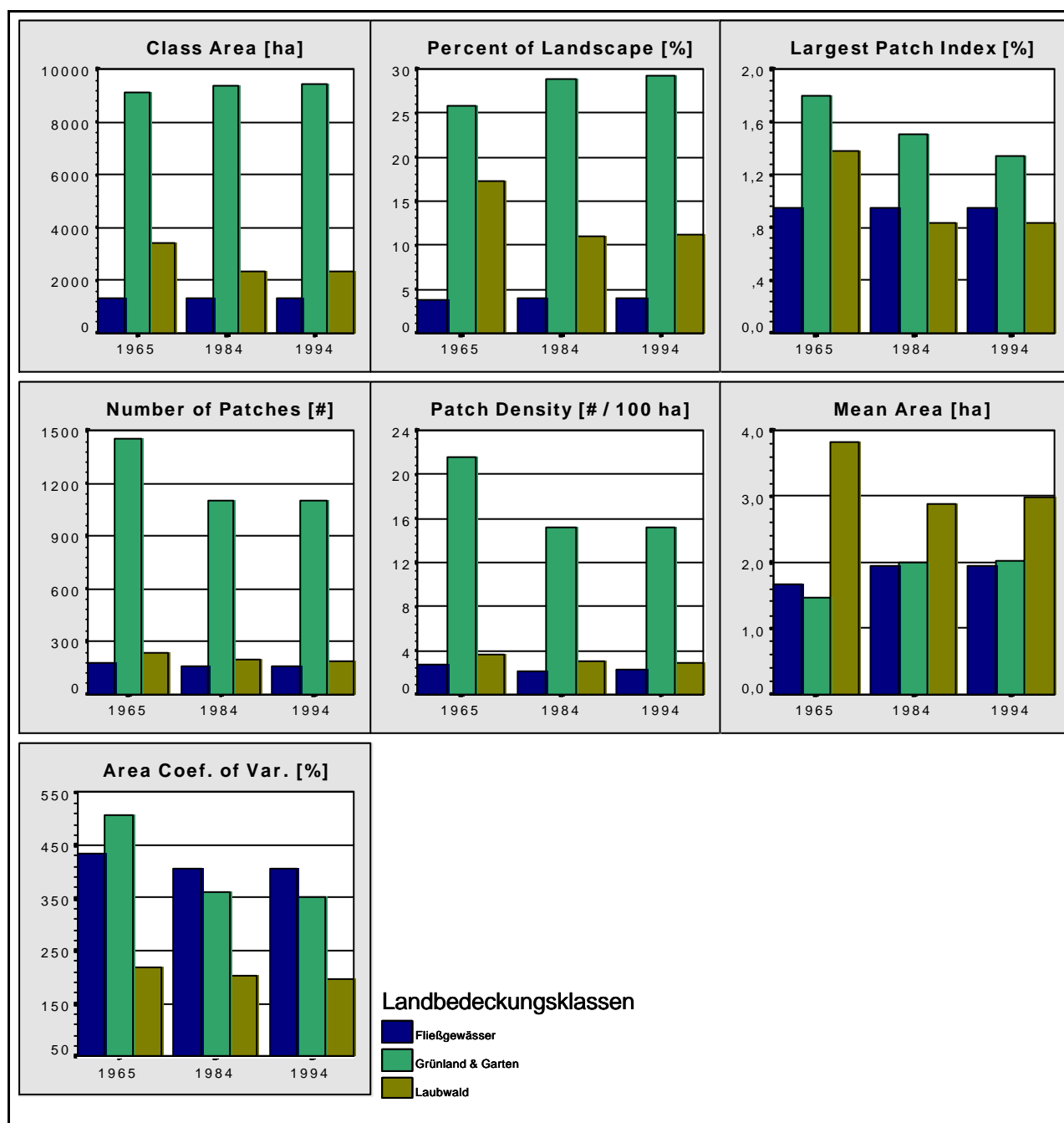


Abb. 29: Flächenmaße *Class Area (CA)*, *Percent of Landscape (%LAND)*, *Largest Patch Index (LPI)*, *Number of Patches (NP)*, *Patch Density (PD)*, *Area Mean (AREA_MN)* und *Area Coefficient of Variation (AREA_CV)* berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994.

0,84 % (1994) zurück. Dies entspricht einem Rückgang der Maximalgröße um 61 %! Die größte zusammenhängende Fläche der Klasse Grünland & Garten erreicht 1965 noch einen Anteil von 1,79 %, 1994 sind dies nur noch 1,35 %.

Alle drei Landschaftsklassen zeigen einen Rückgang der Flächenanzahl. Nach fast 1500 Flächen Grünland / Garten 1965 gibt es 1994 noch fast 1100 Einzelflächen. Fließgewässer (184 Flächen 1965 und 159 Flächen 1994: -13,6 %) und Laubwald (237 Flächen 1965 und 191 Flächen 1994: - 19,4 %) zeigen einen geringeren Rückgang der Flächenanzahl über die Zeit.

Der Wandel der Flächendichte über die Zeit zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Entwicklung der Flächenanzahl. Zu keiner Zeit gibt es mehr als 4 verschiedene Flächen pro 100 ha der Landbedeckungstypen Fließgewässer und Laubwald. Die Patch Density der Klasse Grünland / Garten sinkt von 21,6 im Jahre 1965 auf 15,2 1994.

Die durchschnittliche Flächengröße der Laubwälder sinkt von knapp 3,9 ha 1965 auf unter 2,9 ha 1984 und steigt dann auf genau 3,0 ha 1994 wieder leicht an. Im gleichen Zeitraum steigt die Flächengröße der Klasse Grünland & Garten von 1,5 ha auf 2,0 ha.

Relativ geringe Veränderungen in der Flächengröße weisen die Laubwälder auf. Ihr Variationskoeffizient der mittleren Flächengröße sinkt von 217,7 % (1965) auf 196,0 % (1994). Sehr deutliche Unterschiede der Flächengröße zeigen sich sowohl bei den Fließgewässern als auch bei den Flächen Grünland & Garten mit Werten von durchgängig >350 %. Die hauptsächlich landwirtschaftlich geprägte Klasse Grünland & Garten zeigt aber eine verstärkte Tendenz zur Vereinheitlichung der Flächengröße bei einer Koeffizientenabnahme von 506,6 % (1965) auf 351,8 % (1994).

6.2.3.2. Landschaftsstrukturmaße: Kantenmaß

Die Kantendichte der Klasse Grünland & Garten steigt von 95,4 m/ha (1965) auf 107,5 m / ha (1994), dies entspricht einer Zunahme von 12,7 % (Abb. 30). Die Klasse Laubwald zeigt eine zurückgehende *Edge Density* von 1965 mit 36,9 m / ha auf 27,6 m / ha 1994; dies entspricht einem Rückgang um 25,2 %. Die Fließgewässer erreichen einen über die Jahre weitgehend konstanten Wert von 42-43 m / ha.

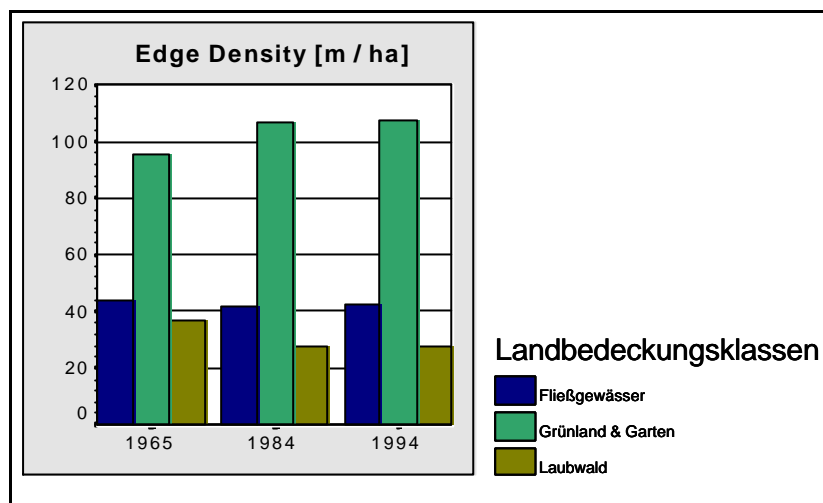


Abb. 30: Kantenmaß *Edge Density* (*ED*) berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.3.3. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Form und Gestalt

Das Maß der Formkomplexität zeigt für den Laubwald mit Werten von 18-20 eine relativ kompakte Gestalt der Patches für die gesamten untersuchten 30 Jahre. Dieser Wert liegt für die beiden anderen untersuchten Landbedeckungstypen deutlich höher und erreicht Maßzahlen von bis zu 47. Die Fließgewässer und die Grünland- & Gartenpatches weichen viel stärker vom Quadrat als Standardform ab als die Laubwälder. Ein Wandel über die Zeit ist für alle drei Klassen nur in geringem Umfang festzustellen (Abb. 31).

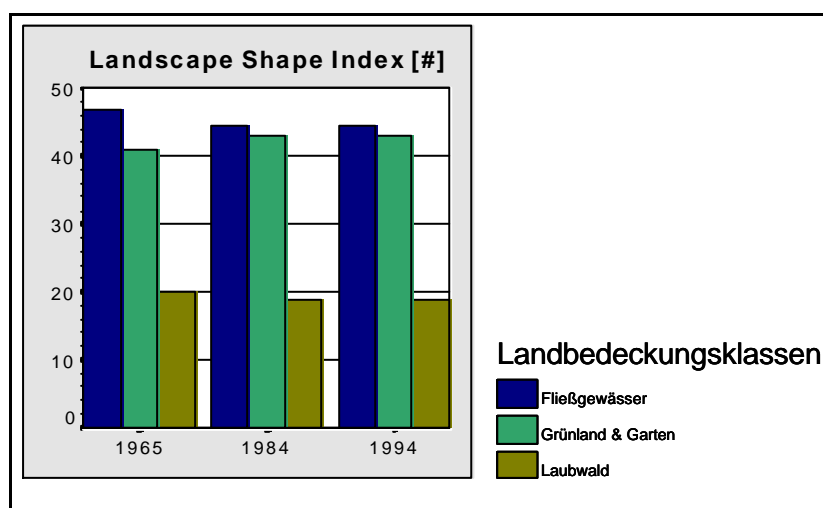


Abb. 31: Maß der Form und Gestalt *Landscape Shape Index* (*LSI*) berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994.

6.2.3.4. Landschaftsstrukturmaße: Maße der nächsten Nachbarschaft

Das Maß der mittleren nächsten Nachbarschaft, also ein Maß der Isolation, zeigt über die Jahre vor allem für den Laubwald stark ansteigende Werte. Lag der mittlere Abstand der Laubwälder 1965 noch bei 66,2 m, so erhöhte sich dieser bis 1984 auf 110,2 m (Zunahme um 66,5 %) und stieg auch danach weiter (allerdings nur leicht) auf 112,8 m (Abb. 32). Innerhalb der beiden anderen Landbedeckungstypen ist ein Wandel der Abstände zum nächsten Patch gleicher Klassenzugehörigkeit nur gering ausgeprägt (Fließgewässer +/-60 m, Grünland & Garten +/-24 m).

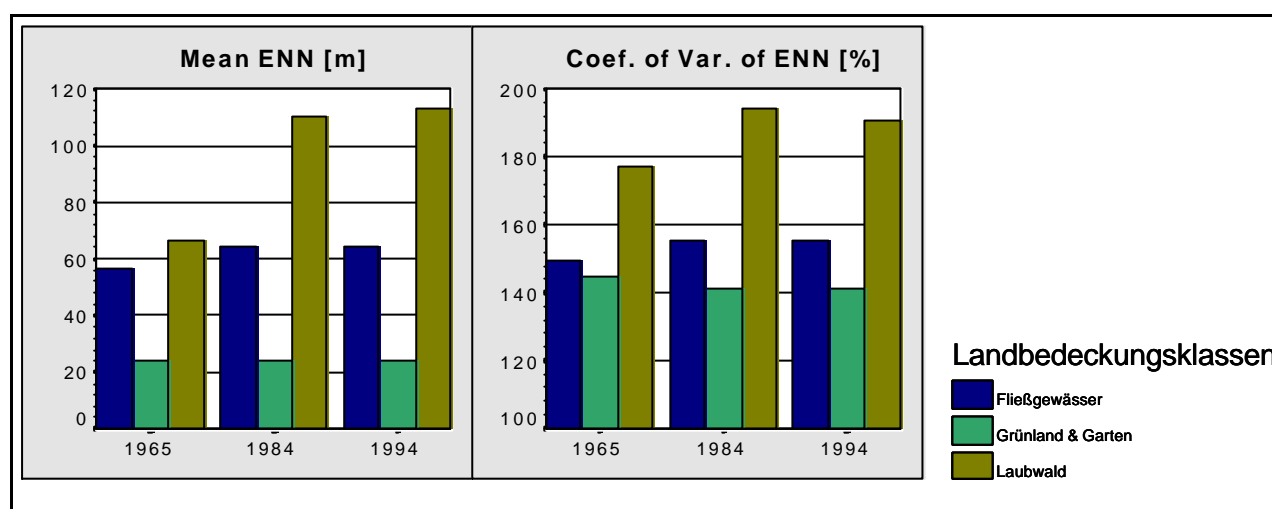


Abb. 32: Maß der nächsten Nachbarschaft *Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_MN)* und *Mean Coefficient of Variation of Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN_CV)* berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994.

Die höchsten Variationen der Entfernungen lassen sich zu allen Zeitpunkten beim Laubwald finden. Sein *ENN_CV* steigt von knapp 180 % (1965) auf gut 194 % (1984) an und sinkt bis 1994 leicht ab. Auch die Klasse Fließgewässer zeigt steigende Werte von 1965 (149,8 %) bis 1994 (155,4 %). Der Koeffizient des Grün- und Gartenlandes sinkt, wenn auch nur leicht, von 144,9 % zu Beginn des Untersuchungszeitraumes auf 141,1 % zum Ende der Untersuchung hin ab.

6.2.3.5. Landschaftsstrukturmaße: Maß der Diversität und Verteilung

Die im Vergleich zu den beiden anderen Klasse ungleichmäßigste Verteilung der Einzelpatches über die Landschaft mit *IJI*-Werten um 55 % zeigt die Klasse Fließgewässer. Mit Werten von durchgängig knapp unter 75 % (Abb. 33) zeigt der Laubwald die geringste Variabilität der Verteilung in der Landschaft über die Zeit. Einen leichten Anstieg des

Interspersion and Juxtaposition Index zeigt das Grün- und Gartenland (1965: 78,5 %, 1994: 80,4 %).

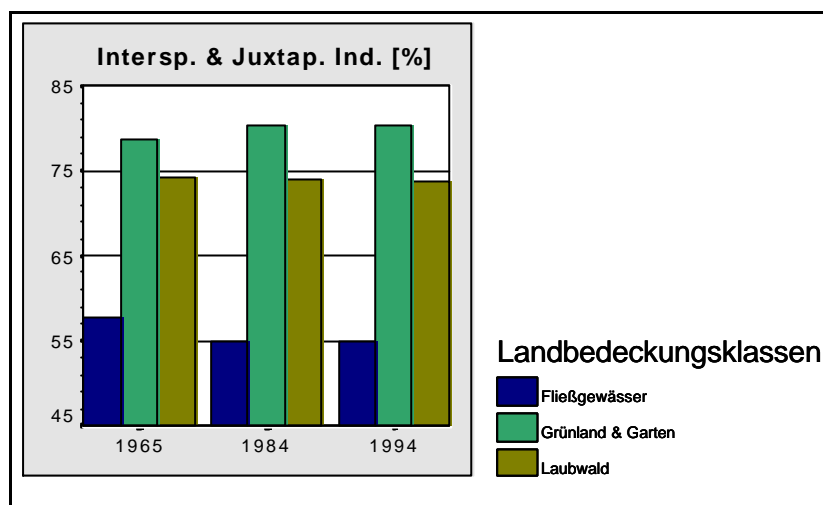


Abb. 33: Maß der Diversität und Verteilung *Interspersion & Juxtaposition Index (IJ)* berechnet auf der Klassenebene der Auenlandschaft von 1965 bis 1994.

6.3. Zusammenfassung

Die Landschaftsentwicklung des Regierungsbezirkes Leipzig und seiner beiden näher untersuchten Naturräume Lößhügellandschaft und Auenlandschaft zeigt in weiten Bereichen einen eindeutigen Trend. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden von 1965 bis 1984 wesentlich größer, bis 1994 nahm ihr Größe leicht ab. Die Landwirtschaft „störende“ Landschaftselemente (Hecken, Baumreihen, Alleen, Gehölze, Wälder, mäandrierende Fließgewässer,...) wurden häufig entfernt oder zumindest in ihrer räumlichen Ausbreitung eingeschränkt. Die Braunkohlentagebaue nahmen in ihrer flächenhaften Ausdehnung von 1965 bis 1994 sehr stark zu. Die Gründe für diese hier nur kurz skizzierten wichtigsten Faktoren der Landschaftsentwicklung sind in Kap. 7.3.1. zusammenfassend dargestellt.

Eine Bewertung der Entwicklung der Landschaftsstruktur und die sie beschreibenden Maße beinhalten Abb. 34 und Abb. 35. Abb. 34 gibt einen Überblick über die Landschaftsentwicklung des Regierungsbezirkes Leipzig und die bei den Naturräumen (Lößhügellandschaft, Auenlandschaft) näher untersuchten Elemente. Abb. 35 zeigt die Entwicklung der beiden Naturräume und ihrer jeweils drei wichtigsten Landbedeckungsklassen.

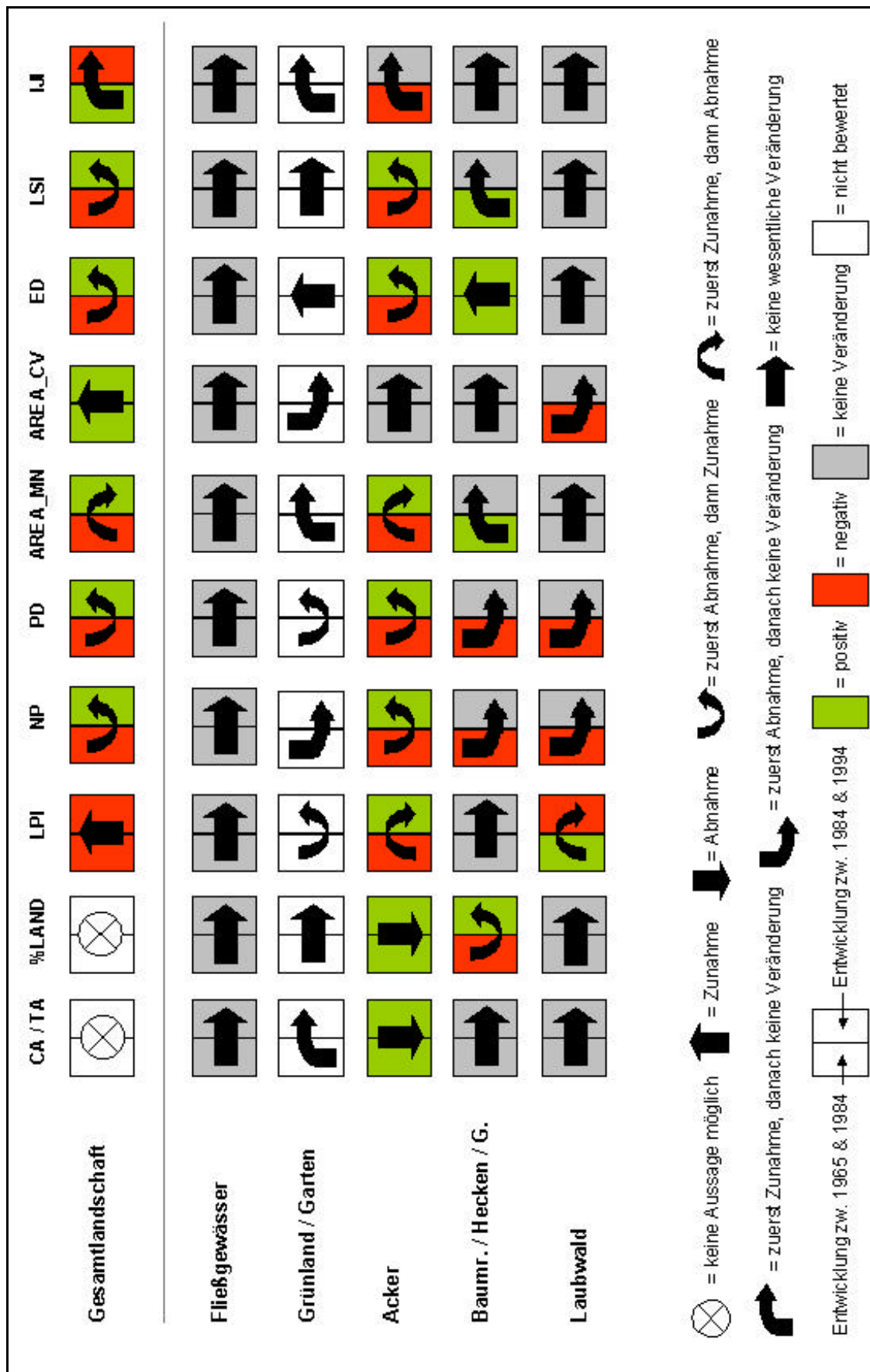


Abb. 34: Zusammenfassung der Landschaftsentwicklung des Regierungsbezirkes Leipzig von 1965 bis 1994.

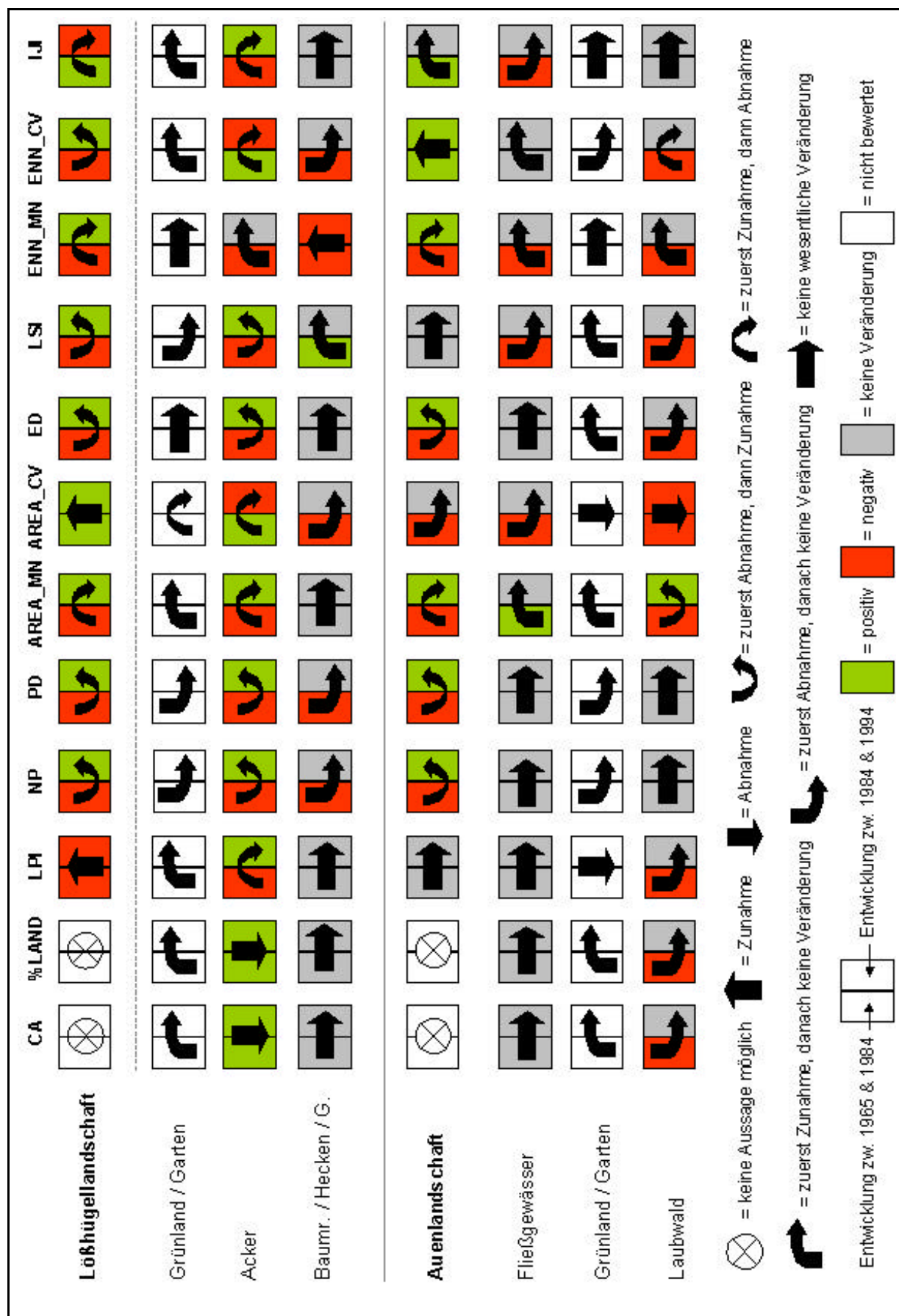


Abb. 35: Zusammenfassung der Landschaftsentwicklung der Naturräume Lößhügellandschaft und Auenlandschaft von 1965 bis 1994.

7. Diskussion

7.1. Eignung der Landschaft als Objekt des Monitorings

7.1.1. Landschaften und ihre Strukturen

Die Landschaftsökologie beschäftigt sich mit der Analyse und Bewertung von Landschaften und die sie prägenden Teilelemente. Diese Analysen können auf sehr verschiedenen Skalenebenen ablaufen: Populations-, Lebensgemeinschafts- und Landschaftsebene. In den 80er und 90er Jahren hat sich vor allem in Nordamerika durch die Ökologen FORMAN & GODRON (1986), URBAN et al. (1987), TURNER (1989), TURNER & GARDNER (1991) und HANSEN et al. (1992) ein Teilbereich der Landschaftsökologie entwickelt, der die drei wesentlichen Merkmale Struktur, Funktion und Dynamik von Landschaften untersucht. Die Struktur einer Landschaft wird gebildet aus den raumbezogenen Merkmalen der einzelnen Landschaftselemente und ihren räumlichen Beziehungen zueinander. Die Funktion einer Landschaft drückt sich vor allem im Austausch von Energie und Material zwischen den Landschaftselementen aus, während die Dynamik einer Landschaft den Wandel von Struktur und Funktion über die Zeit widerspiegelt (TURNER et al. 2001).

Nach FORMAN & GODRON (1986) wird durch die Struktur einer Landschaft, das Vorhandensein und die Qualität von Ökosystemen in Bezug auf Anzahl, Art, Anordnung, Größe und Form beschrieben. Dies drückt sich über die räumlichen Beziehungen der Komposition (Zusammensetzung) und Konfiguration (Anordnung) aus. Um Landschaften analysieren zu können ist es notwendig, ihre Strukturen zu erfassen, zu beschreiben und in ihrer Entwicklung über die Zeit genau zu dokumentieren. Hierdurch wird ein Vergleich verschiedener Landschaften gleichen Zeitpunktes und gleicher Landschaften unterschiedlicher Zeitpunkte möglich (LAUSCH 2000a). Landschaften können sich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und/oder Anordnung unterscheiden.

Die Komposition einer Landschaft, beschrieben z. B. durch die Anzahl, die Diversität und die relative Häufigkeit der Landschaftselemente (Patchtypen), kann u. a. durch Landschaftsmaße der Flächen, der Kanten und der Form und Gestalt benannt werden. Innerhalb dieser Arbeit werden acht Flächenmaße (CA , TA , $\%LAND$, LPI , NP , PD , $AREA_{MN}$, $AREA_{CV}$), ein Kantenmaß (ED) und ein Maß der Form und Gestalt (LSI) zur Analyse herangezogen.

Die Konfiguration einer Landschaft wird erfasst durch die räumliche Position der einzelnen Landschaftselemente und deren räumliche Beziehungen zueinander. Die Nachbarschaftsmaße *ENN_MN* und *ENN_CV* sowie die beiden Maße der Diversität und Verteilung (*JJI*, *SHDI*) dienen der Erfassung der Anordnung der Landschaft.

Landschaften im Allgemeinen und der Regierungsbezirk Leipzig im Besonderen sind in ihrer Struktur und Dynamik äußerst komplexe Einheiten. Es ergibt sich demnach die Notwendigkeit, die Gesamtlandschaft in Untereinheiten aufzuteilen. Neben den fünf (mit Einschränkungen) natürlich geprägten Raumeinheiten des Regierungsbezirkes Leipzig (Auenlandschaft, Heidelandschaft, Lößhügellandschaft, Porphyrhügellandschaft, Sandlöß-Ackerlandschaft) werden in dieser Arbeit zwei sehr stark anthropogen geprägte Raumeinheiten (Bergbaulandschaft, urbane Landschaft) untersucht. SCHMIDT & RICKMANN (1998) stellen heraus, dass jeder Naturraum unterschiedliche charakterisierende Zusammensetzungen der Elemente aufweist, die in einer Analyse Berücksichtigung finden müssen. Die Entwicklung der Gesamtlandschaft und der beiden Naturraumeinheiten Lößhügellandschaft und Auenlandschaft zeigt deutliche Unterschiede (siehe Kap. 7.4.). Innerhalb dieser zwei landschaftlichen Betrachtungsebenen dient das Patch als kleinstes in sich homogene Teilstück einer Landschaft (je nach Betrachtungsmaßstab) (FORMAN & GODRON 1986, WIENS 1989, MCGARIGAL & MARKS 1994) als Differenzierungseinheit verschiedener Landschaftselemente.

Landschaften lassen sich nach Aussagen zahlreicher Autoren über die Komposition und Konfiguration ihrer Landschaftselemente und das Muster der einzelnen Patches erfassen, analysieren und bewerten (FORMAN & GODRON 1986, HATHOUT 1988, TURNER 1989, TURNER 1990, TURNER & GARDNER 1991, MCGARIGAL & MARKS 1994, SRU 1994, FORMAN 1995, MENZ 1997, SYRBE 1999, MCGARIGAL & HOLMES 2000, JONGMAN 2002, u.a.).

7.1.2. Landschaftsmonitoring durch Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße

Die Fernerkundung (Satelliten- und Luftbilder) bietet die Möglichkeit, weite Teile der Erdoberfläche räumlich exakt und mit wenig Personal-, Zeit- und Kapitalaufwand zu erfassen (LILLESAND & KIEFER 1994, HILDEBRANDT 1996, ALBERTZ 2001). Neben der von mir in dieser Arbeit verwendeten visuellen digitalen Landschaftserfassung bieten die zahlreichen Verfahren der automatischen Klassifikation einen umfangreichen Methodenpool zur Überwachung und Erfassung der Landschaftsstruktur. Etablierte Umweltbeobachtungs-

systeme (z. B. zu Luftqualität und Waldschäden) zeigen, dass Umweltprobleme immer größere Ausmaße erreichen. Satellitengestützte Monitoringprogramme bieten die Möglichkeit zur Erfassung der landschaftlichen Eigenart und des Gefüges und erlauben Aussagen zum Wandel wichtiger landschaftlicher Funktionen, wie z. B. Zerschneidung, Zersiedelung und Nutzungswandel. Dadurch kann die von BASTIAN & SCHREIBER (1999) geforderte Möglichkeit der Bewertung und Beobachtung von Landschaftsveränderungen und der sie beeinflussenden Faktoren gewährleistet werden. Neben der oben bereits erwähnten Eignung der Landschaft als Objekt eines Monitorings stellt die Fernerkundung eine der besten Möglichkeiten hierfür dar, sie wird von zahlreichen Autoren als sehr wichtiges Element bezeichnet und findet reichlich Verwendung (O'NEILL et al. 1988, MENZ 1997, HERZOG & LAUSCH 1999, LAUSCH 1999b, FRANKLIN et al. 2000, LAUSCH & THULKE 2001, u. a.).

Zur Kennzeichnung der Landschaftsstruktur sehen zahlreiche Autoren (HULSHOFF 1995, LAUSCH 2000a, LAUSCH 2000b, HERZOG & LAUSCH 2001, ARES et al. 2002 u. v. a. m.) die Grundlagen zur Berechnung von Landschaftsstrukturparametern (LSM) von FORMAN & GODRON (1986) und TURNER & GARDNER (1991) als bedeutend an. Nach LAUSCH (2000a S. 18) können LSM „als Indikatoren gelten, durch die (...) die Komposition und Konfiguration der Landschaft analysiert, beschrieben und quantifiziert werden“. Landschaftsstrukturmaße finden heute bei einer Vielzahl von Fragestellungen (Landschaftsmonitoring, -bewertung und -zerschneidung, populationsökologischen und vegetationskundlichen Untersuchungen, Biotop- und Landschaftsdiversität) eine Anwendung. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der Mensch durch seine die Landschaften prägenden Aktivitäten die einzelnen Patches und dadurch die gesamte Landschaft in charakteristischer Weise verändert. So weisen stark anthropogen überformte Flächen häufig rechte Winkel auf, landwirtschaftlich genutzte Flächen wurden durch Flurbereinigungsverfahren zur Steigerung der Effizienz den großen Maschinen angepasst und haben meist eine rechteckige bis quadratische Grundform und lineare Landschaftselemente (vor allem Hecken, Flüsse und Bäche) wurden vielfach begradigt oder entfernt. KRUMMEL et al. (1987) und O'NEILL et al. (1988) (in LAUSCH 2000a) konnten zeigen, dass anthropogen beeinflusste Landschaften einfachere Flächenmuster aufweisen als natürliche Landschaften.

Auf der Grundlage vielfältigster Ausgangsdaten (Satellitenbilder, Luftbilder, topographische Karten) finden LSM seit Anfang der 90er Jahre Verwendung im Landschaftsmonitoring (LAUSCH 1999a). Die Dynamik einer Landschaft wird häufig über Musterveränderungen aus historischen Daten erfasst. Hierbei spielen vor allem Flächenmaße eine wesentliche Rolle, da

sich diese zur Charakterisierung und Beschreibung der Dynamik einer Landschaft gut eignen (HULSHOFF 1995, WICKHAM et al. 1997, HAINES-YOUNG & CHOPPING 1996). Weit verbreitet sind Maße der Anzahl und Form einzelner Patches sowie Landschaftsstrukturmaße, die die Ränder und die Vielfalt einer Landschaft messen.

Zahlreiche Autoren beschäftigen sich mit der methodischen Handhabung von LSM im Rahmen einer Landschaftsanalyse. GUSTAFSON & PARKER (1992) testen das Verhalten zahlreicher LSM innerhalb einer künstlichen Landschaft bei einer schrittweisen Erhöhung des Waldanteils von 5 % auf 95 %. TURNER et al. (1989) untersuchen die Auswirkungen von Veränderungen der geometrischen Auflösung (Rasterzellen) von klassifizierten Landschaften. TRAUB & KLEINN (1999) untersuchen Differenzierungseigenschaften, gegenseitige statistische Unabhängigkeit und Erfassbarkeit über Stichprobenerhebungen. RIITERS et al. (1995) testen 55 Indizes in 85 Landschaften, vergleichen deren gegenseitige Korrelation und äußern die Hoffnung, Landschaften idealerweise anhand eines noch zu bestimmenden „Sets“ von Indizes über alle wichtigen geometrischen Eigenschaften analysieren zu können. HARGIS et al. (1998) untersuchen u. a. Kanten- und Nachbarschaftsmaße bei zunehmender Fragmentierung innerhalb einer künstlichen Landschaft und stellen fest, dass sich diese nicht eignen, um verteilte oder aggregierte Landschaftsmuster zu unterscheiden. GUSTAFSON (1998) analysiert das Verhalten von LSM in thematischen Karten und bei Punkt-Daten und stellt Beziehungen des Landschaftsmusters zu ökologischen Prozessen her. GRIFFITH et al. (2000) untersuchen die Reaktion verschiedener LSM bei einer Veränderung des Skalenniveaus (30 m, 100 m, 1 km) und stellen fest, dass sich die Landschaftsstrukturmaße *IJI* und *LPI* gut eignen, um diese methodischen Unterschiede herauszustellen. DRAMSTAD et al. (1998 & 2001) stellen in ihren Untersuchungen eines Teils der norwegischen Agrarlandschaft fest, dass sich Unterschiede in Heterogenität, Betrachtungsmaßstab und Dynamik durch LSM (Flächenmaße, Kantenmaße, Diversitäts- und Verteilungsmaße) festhalten lassen. CAIN et al. (1997) zeigen in ihrer Untersuchung verschiedener Skalenebenen, dass eine geringe Anzahl von Indizes für ein Landschaftsmonitoring i. d. R. ausreicht, um die wesentlichen Eigenschaften von Landschaften zu charakterisieren, da sich diese auf einige wenige grundlegende Charakteristika beziehen. Sie schränken diese Aussage dahingehend ein, dass von den getesteten 29 LSM bei anderen Fragestellungen andere/mehr LSM sinnvoll sein können. BLASCHKE (1998) zeigt, dass viele landschaftliche Indizes vor allem von der Klassenanzahl, der räumlichen Auflösung und der Datenqualität abhängen.

7.2. Methoden des Landschaftsmonitorings

7.2.1. Visuelle Interpretation von Satellitenbildern

Aufgrund der schon in Kapitel 4 dargelegten Heterogenität der verwendeten Satellitenbilder kam für eine umfassende Analyse der Landschaft nur eine visuelle Interpretation der drei Zeitschnitte in Frage. Durch zahlreiche digitale Methoden der Bildverbesserung wie z. B. die Kontrastdehnung, Filterungen und optische Verstärkung der Kanten hat die visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. LAUSCH (2000a) sieht folgende Vorteile einer visuellen gegenüber einer automatischen Klassifikation:

- Gegenüber radiometrischen Verfälschungen weist eine visuelle Interpretation die größere Unempfindlichkeit auf.
- Die Einteilung bestimmter Klassen in Untereinheiten (z. B. das Landschaftselement Acker in die einzelnen Ackerschläge) ist nur durch eine visuelle Interpretation möglich.
- Komplexe Muster der Landbedeckungsstrukturen sind aufgrund begrenzter geometrischer, radiometrischer, temporaler und spektraler Möglichkeiten automatischer Verfahren nicht zufriedenstellend durchzuführen.
- Bei der Verwendung multitemporaler Bilddaten können durch das Einbringen von Fachwissen und Erfahrungen Fehler, die durch Nutzungsänderungen, Änderungen der Phänologie und leicht differenzierte Georeferenzierung im automatisch klassifizierten Bild auftreten, vermieden oder vermindert werden.

Die Nachteile der visuellen Klassifikation sind vor allem der sehr hohe zeitliche und manuelle Aufwand der digitalen Abgrenzung der Landschaftselemente sowie das hohe Maß an Fachwissen und an Erfahrung, über die der Interpret verfügen muss (SCHALLENBERG 2001). BLASCHKE (1998) führt als generelles Problem auch die relativ hohe Subjektivität bei der Erfassung und Abgrenzung von Landschaftselementen an. Im vorliegenden Fall war die manuelle Bearbeitung der Untersuchungsgebietes von mir allein (in der vorgegebenen Zeit) nicht zu schaffen, so dass die Arbeit zwischen Frau Küster, Frau Jentsch und mir (siehe Kap. 5) aufgeteilt wurde. Hierbei ist die unterschiedliche Erfahrung mit den heterogenen Ausgangsdaten als kritisch anzusehen und birgt ein gewisses, aber nicht näher zu quantifizierbares, Fehlerpotential.

7.2.2. Quantifizierung der Landschaftsstruktur aus Fernerkundungsdaten und ihre Einflussfaktoren

Wie bereits erwähnt, nutzen zahlreiche Autoren Methoden und Daten der Fernerkundung zur Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur. Die Arbeiten, in denen Landschaftsstrukturmaße eingesetzt werden, zeigen keine Normierungsansätze, so dass die gewonnenen Ergebnisse miteinander kaum vergleichbar sind. Um die Dynamik einer Landschaft herauszuarbeiten, ist es erforderlich, für jeden Zeitschnitt die gleichen Rahmenbedingungen einzuhalten. Hierbei treten folgende Punkte in den Vordergrund:

Wenn auch trivial, so ist eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Untersuchungsraumes im klassifizierten Landschaftsbild unverzichtbar. Hierbei spielen die oben angesprochenen Faktoren der visuellen Interpretation sowie inhaltliche Fragen eine bedeutende Rolle. Wichtige Punkte sind hierbei die Anzahl und Art der zu erfassenden Landschaftsklassen (vgl. Tab. 3) und Vermeidung von Digitalisierungsfehlern (vgl. Abb. 4). Bei der Einarbeitung des Verkehrsnetzes wurde folgender Kompromiss eingegangen: Strassen (etwa 10 m breit) sind in Landsat-TM-Aufnahmen (30 m Bodenauflösung) nur schwer oder gar nicht erfassbar. Sie stellen aber den wohl wichtigsten Faktor zur Erfassung der Landschaftszerschneidung dar und dürfen daher in der Analyse nicht fehlen (LAUSCH & MENZ 1999). Da die manuelle Digitalisierung des gesamten Straßennetzes des Regierungsbezirkes Leipzig einen nicht zu bewerkstellenden Arbeitsaufwand darstellt, wurden lediglich die wichtigsten Straßenzüge in den ländlichen Bereichen per Hand eingefügt. Das Straßennetz der Stadt Leipzig und der Kreisstädte wurde nicht vervollständigt. Dies ist auch der entscheidende Grund, die urbanen Landschaften in der genaueren Analyse (Kap. 6.2) unberücksichtigt zu lassen.

Besonderheiten birgt auch die Wahl von Daten unterschiedlichen Ursprungs. So bildet auch die Umwandlung der vektoriellen Biotoptypenkartierung zum klassifizierten Landschaftsbild des Jahres 1994 (Rasterformat) eine Fehlerquelle, deren negative Auswirkungen (unterbrochene linienhafte und fälschlicherweise verbundene flächenhafte Landschaftselemente) durch die manuelle Überarbeitung weitestgehend eliminiert wurden.

Viele Landschaftsstrukturmaße reagieren mit ihrem Verhalten auf eine Veränderung der geometrischen Auflösung (BLASCHKE 1998, LAUSCH 2000a). Diese fand zwar nicht innerhalb dieser Arbeit statt, sie erschwert allerdings die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen innerhalb und außerhalb des Regierungsbezirkes Leipzig. Die Gründe für die Wahl einer Rasterzellgröße von 10 m sind bereits in Kap. 5 dargelegt worden.

Schwierigkeiten, die durch die andersartige Phänologie aufgrund der verschiedenen Aufnahmezeitpunkte (Mai 1965, April 1984 und Juli 1994) entstanden sind, konnten weitestgehend durch die visuelle Klassifikation vermindert und ausgeglichen werden.

7.3. Ergebnisse des Landschaftsmonitorings

7.3.1. Landschaftsebene: Gesamtlandschaft

Bei der Betrachtung der Gesamtlandschaft auf Landschaftsebene fließen alle Teilflächen des Regierungsbezirkes Leipzig in die Analyse ein. Diese unterlagen durch die politischen und damit auch wirtschaftlichen Wandlungen der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts den enormen Struktur- und Nutzungsänderungen, die sich innerhalb der gesamten damaligen DDR vollzogen.

Diese für die Änderungen der Landschaftsstruktur wesentlichen Entwicklungen sollen hier kurz dargestellt werden. Nach ECKHARDT & WOLLKOPF (1994) kam es bis Mitte der 60er Jahre zu einer vollständigen Enteignung der landwirtschaftlichen Flächen und einer Überführung in landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaften (LPG) zur Bildung volkseigener Güter (VEG). Ab etwa 1968 erfolgte die Schaffung industriemäßiger landwirtschaftlicher Großbetriebe, die umfangreiche Veränderungen der Landschaftsstruktur mit sich brachten. Zahlreiche Flurbereinigungsverfahren wurden durchgeführt, um die ehemals von Einzelbauern bewirtschafteten kleinen Flächen zu großen Schlägen zusammenzufassen. Hierbei wurden nach ECKHARDT & WOLLKOPF (1994) in großem Stil Hecken, Gehölze, kleine Wälder, kleine Wege, sogar Hügel und Bergkuppen entfernt, Feuchtgebiete und Feuchtwiesen trockengelegt, zahlreiche Bäche verrohrt und Bäche und Flüsse begradigt. In den 80er Jahren wurde vermehrt dazu übergegangen, landwirtschaftliche Extremstandort in den Produktionsablauf zu integrieren, was im Regierungsbezirk Leipzig vor allem in den landwirtschaftlich dominierten Naturräumen dazu führte, dass die Wälder (mit wenigen Ausnahmen) auf steile Hänge und Auen zurückgedrängt wurden. Diese generelle Entwicklung zu sehr großen Flächen vollzog sich auch bei der Rohstoffgewinnung, in erster Linie in den Braunkohletagebauen. Sie entwickelten sich sowohl im Nordraum, als auch im Südraum von Leipzig zu riesigen Flächen, denen allein im Regierungsbezirk Leipzig 72 Siedlungen zum Opfer fielen (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN 2001). Nach der politischen Wende 1990

und der Überführung der Landwirtschaft der ehemaligen DDR in die Agrarpolitik der Europäischen Union kam es im Regierungsbezirk Leipzig zu vermehrten Flächenstilllegungen (Abbau der EU-Agrarüberschüsse) und einer Übertragung der z. T. 10.000 ha großen LPG in private Hände. Die Teilflächen der nun wesentlich kleineren Betriebe wurden in ihrer räumlichen Ausdehnung verringert. Ein wichtiger Grund hierfür liegt in der schon in den 70er Jahren festgestellten hohen Wind- und Wassererosionsrate, die durch eine Unterteilung der Schläge durch Hecken und Gehölze vermindert wird. Dies wird auch in Zukunft eine wichtige raumplanerische Maßnahme bleiben (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN 2001). Die großflächigen Tagebaue der Region wurden nach 1990 zum größten Teil stillgelegt und werden nach und nach renaturiert. Die flächenmäßig bedeutendsten Maßnahmen sind die Entwicklung von Seen, die Aufforstung und die Nutzung als Sukzessionsflächen.

Diese Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der neuen Bundesländer lassen sich auch durch die Flächenmaße für den Regierungsbezirk Leipzig belegen. Bis 1984 kommt es zu einer sehr starken Reduktion der Flächenanzahl bei gleichzeitiger Zunahme der durchschnittlichen Flächengröße von 1 ha auf 2 ha (Abb. 10). Parallel zur Entwicklung der Anzahl der Flächen entwickelt sich auch deren Dichte von 1965 bis 1984 deutlich negativ. Bis 1990 drehte sich dieser Trend leicht um. Dieser relativ geringe Wandel zwischen 1984 und 1994 liegt zum einen an dem kleineren Zeitraum (4 Jahre nach der Wende), zum anderen an dem nicht mehr so dominanten politischen System, welches zwar die Rahmenbedingungen, aber keine flächenkonkreten Maßgaben vorgibt. Die Unterschiede in der mittleren Flächengröße sind 1965 und 1984 mit über 1700 % groß, verstärken sich aber bis 1994 noch einmal deutlich auf über 2000 %. Welche Fläche durch den *Largest Patch Index* (Prozentanteil der größten Fläche an der Gesamtfläche) dargestellt wird, lässt sich nur vermuten. Wahrscheinlich handelt es sich in allen drei Jahren um eine Tagebaufäche (Abb. 10).

Die Entwicklung der Kantendichte über die Zeit zeigt, dass diese bis 1984 stark abgenommen hat und danach leicht anstieg. Die Kantendichte sinkt, wenn die Flächen größer werden, (vor allem linienhafte) Landschaftselemente entfernt werden und die Flächen in ihrer Form einfacher werden. Alle drei Faktoren treffen für den Untersuchungsraum zu. Nach 1984 kam es zu der bereits oben erwähnten Umwandlung der Entwicklungsprozesse.

Der *Landscape Shape Index* als dimensionsloses Maß für das Verhältnis von Fläche zu Umfang sinkt von 327 (1965) auf 283 (1984) ab und steigt danach auf 302 (1994) an. Dies zeigt, wie schon die Kantendichte, dass die Flächen bis 1984 größer und weniger komplex werden, sich dieser Prozess nach 1984 aber leicht umkehrt.

Der *Interspersion and Juxtaposition Index* ist ein Maß für die Verteilung der Landschaftselemente und erreicht bei einer gleichmäßigen (proportionalen) Verteilung hohe Werte (max. 100%), niedrige Werte (min. 0 %) zeugen von einer ungleichmäßigen Verteilung. Die für den Regierungsbezirk Leipzig gemessenen Werte liegen für alle drei Zeitschnitte zwischen 69 % und 74 %, sind sich also weitestgehend ähnlich. Zwischen den Jahren 1984 und 1994 verändert sich der Wert fast gar nicht. Eine Isolierung der Patches ist somit kaum ausgeprägt.

Der *Shannon's Diversity Index* beschreibt den Informationsgrad einer Landschaft in Bezug auf den Reichtum an verschiedenen Patches und ist nach MCGARIGAL & HOLMES (2000) als absoluter Wert nicht besonders aussagekräftig, eignet sich aber zum Vergleich mehrerer Landschaften bzw. Zeitschnitte. Der Regierungsbezirk Leipzig zeigt zwischen 1965 und 1994 eine sehr geringe Zunahme des Flächenreichtums.

7.3.2. Landschaftsebene: Naturräume

Die berechneten Werte der Landschaftsstrukturmaße sind unabhängig von der Größe und dem Anteil an der Gesamtlandschaft der einzelnen Naturräume und sind somit untereinander gut vergleichbar.

Die Entwicklung der Anzahl der Patches in den einzelnen Jahren zeigt, mit Ausnahme der Bergbaulandschaft und der urbanen Landschaft, den Trend der starken Abnahme zwischen 1965 und 1984 und einer leichten Zunahme bis 1994. Der Grund für diese Entwicklung ist in der im vorherigen Kapitel beschriebenen generellen Landschaftsentwicklung der neuen Bundesländer vor und nach der Wende zu sehen. In der Bergbaulandschaft nahm die Anzahl der Flächen kontinuierlich ab, was mit einer Intensivierung der Tagebautätigkeit zwischen 1984 und 1990 zusammenhängt, deren Auswirkungen auf die Flächenanzahl in den verbleibenden Jahren bis 1994 nicht mehr ausgeglichen wurden. Die Entwicklungen in den urbanen Landschaften sind aufgrund der relativ großen Digitalisierungsfehler (nur ein geringer Teil der Straßen erfasst, feine [aber wichtige] Strukturen im Landsat-TM-Bild kaum zu erfassen) generell nicht genau erfasst und daher kaum interpretierbar. Die Entwicklung der Flächendichte zeigt die gleichen Tendenzen wie die der Anzahl der Flächen: Nach hohen Werten für 1965 werden 1984 die niedrigsten erreicht, diese steigen danach, mit Ausnahme der Bergbaulandschaft, leicht an. Auch dies ist mit der generellen Entwicklung der Agrarstrukturen durch die Umwandlung in industrielle Großbetriebe zu erklären. Die *Patch Density* korreliert stark mit der durchschnittlichen Flächengröße (*Area Mean*). Die Flächengröße

nimmt vor allem in der Heidelandschaft und der Bergbaulandschaft von 1965 bis 1984 enorm zu und sinkt danach, in der Heidelandschaft besonders stark, ab. Lediglich die Bergbaulandschaft ist durch eine weitere Zunahme der durchschnittlichen Flächengröße auf über 3,5 ha geprägt. Hierin spiegeln sich die sehr großen Tagebaue wieder; sie dominieren in jeder Hinsicht die Landschaft. Dies ist sehr deutlich am *Largest Patch Index* abzulesen, der zu allen Zeitpunkten im Vergleich zu den anderen Naturräumen die höchsten Werte erreicht und 1994 sein Maximum mit etwa 44 % hat. Das bedeutet, dass die größte Einzelfläche der Bergbaulandschaft 1994 44 % des Naturraumes umfasste. Dies ist, auch bei Berücksichtigung einer gewissen Fehlertoleranz, bei der Landschaftserfassung ein enorm hoher Wert und vermittelt einen Eindruck von der Dominanz der Tagebauflächen. Die extrem großen Flächen sind auch der Grund für die mit durchgängig über 900 % höchste Variation der mittleren Flächengröße. Die anderen Naturräume zeigen einen sehr heterogenen Verlauf des Maßes AREA_CV über die Zeit: In der Lößhügellandschaft und der Porphyrhügellandschaft nimmt der Wert kontinuierlich zu, in der Auen- und Heidelandschaft nimmt er zunächst ab, danach wieder zu und in der Sandlöß-Ackerlandschaft nimmt er zunächst zu, dann ab. Die Gründe für diese Entwicklung sind nicht genau zu benennen dies zeigt eine zwar unterschiedliche, aber dennoch hohe Landschaftsdynamik. Die für die Gesamtlandschaft festgestellte deutliche Zunahme zwischen 1965 und 1994 verlief in den Teilräumen sehr unterschiedlich.

Die Kantendichte der einzelnen Naturräume zeigt die gleiche Entwicklung über die Zeit wie die der Gesamtlandschaft: Die höchsten Werte werden 1965 erreicht, danach folgt eine deutliche Abnahme bis 1984 und wieder eine Zunahme der Kantendichte bis 1994. Dies ist, mit Ausnahme der urbanen Landschaft, in allen Naturräumen gegeben und spiegelt den allgemeinen Trend zur Vergrößerung der Flächen (vor allem landwirtschaftliche Nutzflächen und Braunkohlentagebaue), zur Entfernung kleiner und linienhafter Flächen (Baumreihen, Hecken, Gehölze, Wälder, mäandrierende Fließgewässer,...) und zur Vereinheitlichung der Flächenformen bis 1984 und die Umkehr dieser Prozesse nach 1990 wieder. Für alle sieben Naturräume des Untersuchungsgebietes gibt der REGIONALE PLANUNGSVERBAND WEST-SACHSEN (2001) eine Erhöhung des Anteils an Baumreihen, Hecken, Gehölze, Wälder und eine weitestmögliche Renaturierung der Fließgewässer als raumplanerische Ziele an. Mit der Umsetzung dieser Ziele wurde schon vor 1994 begonnen, was die Veränderungen zwischen 1984 und 1994 teilweise erklärt.

Die Veränderung der Flächenform wird auch durch den Wandel des *Landscape Shape Index* angezeigt. Dieses dimensionslose Landschaftsstrukturmaß ist unabhängig gegenüber der

Gesamtfläche und eignet sich daher sehr gut zur Interpretation von Veränderungen in einer Landschaft oder zum Vergleich mehrerer Landschaften (MCGARIGAL & HOLMES 2000). Die Naturräume Lößhügel-, Porphyrhügel-, Auen-, Heide- und Sandlöß-Ackerlandschaft spiegeln die allgemeine Tendenz zur Vereinfachung der Flächenform zwischen 1965 und 1984 wieder, wie sie auch schon anhand der Veränderungen der Kantendichte ablesbar sind. Nach 1984 dreht sich der Prozess der Formveränderung wieder um. Die genauen Indexwerte schwanken innerhalb eines Jahrganges teilweise beträchtlich: So wird in der Porphyrhügellandschaft 1965 ein LSI Wert von 100, in der Auenlandschaft nur von 49 ermittelt. Abb. 17 zeigt, dass zwischen den Naturräumen teilweise erhebliche Unterschiede bestehen. Die Naturräume Lößhügellandschaft und Porphyrhügellandschaft sind zu allen drei untersuchten Zeitpunkten durch eine relativ komplexe Form ihrer Flächen gekennzeichnet. Die Bergbaulandschaft und die urbane Landschaft sind durch vergleichsweise einfache, dem Quadrat ähnliche Formen der Flächen geprägt, während die Naturräume Auen-, Heide- und Sandlöß-Ackerlandschaft in Bezug auf die Formkomplexität im Vergleich zu den anderen Naturräumen eine mittlere Stellung einnehmen. Das sich auch bei einer nahezu vollständigen Erfassung des Straßennetzes innerhalb der urbanen Landschaft relativ einfache Formen gezeigt hätten, ist meiner Meinung nach wahrscheinlich, da zumindest in Leipzig die Straßenzüge weitgehend rechteckig verlaufen. Dies muss allerdings eine Vermutung bleiben.

Die Maße der nächsten Nachbarschaft geben den mittleren Abstand (ENN_{MN}) bzw. die Standardabweichung des mittleren Abstandes (ENN_{CV}) der Flächen gleicher Klassen der Naturräume an (MCGARIGAL & HOLMES 2000). Die von MCGARIGAL & MARKS (1994) und von MCGARIGAL & HOLMES (2000) gegebene Einschränkung dieses LSM – nur Flächen innerhalb des untersuchten Raumes werden berücksichtigt – spielt nur bei populationsökologischen Untersuchungen (Isolation) eine Rolle und kann im Rahmen eines Landschaftsmonitorings ignoriert werden. Der im Rahmen dieser Untersuchung gewählte Suchradius für Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit (6000 m, vgl. Anhang C) entspricht der maximalen Ausdehnung der einzelnen Naturräume. Das Maß ENN_{MN} (Abb. 18) zeigt 1965 für alle Naturräume (außer für die urbane Landschaft) relativ niedrige Werte zwischen 20 m und 33 m, die Flächen gleicher Klassen liegen also weitestgehend nah beieinander. Diese Entfernungen steigen bis 1984 in allen Naturräumen stark an, vor allem die Heidelandschaft zeigt diese Entwicklung mit einer Zunahme von 30 m (1965) auf 74 m (1984) besonders deutlich. Nach 1984 kommt es zu einer geringfügigen Minderung des mittleren Abstandes, mit Ausnahme der Bergbaulandschaft und der urbanen Landschaft. In der Bergbaulandschaft kam es auch nach 1984 (bis etwa 1990) zu einer weiteren Ausräumung der Landschaft, was

zu einer Abstandsvergrößerung der flächenmäßig in geringem Umfang vertretenen Klassen führte. Die Veränderungen des Variationskoeffizient der mittleren Abstände (*ENN_CV*) zwischen den Flächen gleicher Landschaftsklassen zeigen, dass sich zwischen den Naturräumen Unterschiede in der landschaftlichen Entwicklung ableiten lassen. So zeigt der Naturraum Auenlandschaft eine Zunahme des Variationskoeffizienten über die gesamten 30 Jahre, in den Naturräumen Lößhügel-, Porphyrhügel-, Heide-, Sandlöß-Acker- und urbane Landschaft folgt auf eine Abnahme eine Zunahme und in der Bergbaulandschaft steigt der Wert zunächst an und sinkt dann wieder ab. Diese differenzierte Entwicklung anhand konkreter Gegebenheiten zu begründen fällt schwer, es muss in diesem Fall daher bei einer Beschreibung bleiben.

Während das Verteilungsmaß *Interspersion and Juxtaposition Index* für die Gesamtlandschaft eine zunehmend proportionale Verteilung der Landschaftselemente zwischen 1965 und 1994 ergab, zeigt die Darstellung des Index für die Naturräume (Abb. 19) ein differenzierteres Bild. Die meisten Naturräume zeigen nach einer Zunahme zwischen 1965 und 1984 eine Abnahme bis 1994. Die Bergbaulandschaft zeigt nach nur geringen Änderungen zwischen 1965 und 1984 einen sehr starken Anstieg des Indexwertes um 10 % zwischen 1984 und 1994. Diese zunehmende Gleichverteilung der Patches gleicher Klasse kann nur mit den (vielleicht schon in geringem Umfang vor der Wende) eingeleiteten Renaturierungsmaßnahmen (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN 2001) begründet werden, da diese die Verdrängung einzelnen Landbedeckungsklassen (Gehölze, Laubwald, Stillgewässer,...) an die randlichen, ungenutzten Tagebauflächen rückgängig machen. So gibt der REGIONALE PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (2001) als primäre Ziele der Renaturierungsmaßnahmen der Bergbaufolgelandschaften eine umfangreiche Erhöhung des Laubwald-, Stillgewässer- und Sukzessionsflächenanteils an. LAUSCH (2000a) konnte auf den Sukzessionsflächen eine deutliche Zunahme der Landbedeckungsklassen Ruderalvegetation und Gehölze feststellen.

Der *Shannon's Diversity Index* zeigt für alle sieben Räume über die Zeit nur geringe Veränderungen der Diversität der Landschaft an. Die Sandlöß-Ackerlandschaft zeigt zu allen drei Zeitschnitten mit Indexwerten um 1,0 die geringste Landschaftsdiversität im Vergleich zu den anderen Naturräumen. Sehr ähnliche Werte und damit eine ähnliche Landschaftsdiversität (bezogen auf die Anzahl der Klassen und die Anzahl der Flächen) zeigen die Porphyrhügel-, Auen-, Heide- und urbane Landschaft (Werte zu allen Zeitpunkten bei etwa 1,5). Nur die Bergbaulandschaft zeigt über die Zeit eine nennenswerte Zunahme von 1,16 (1965) auf 1,33 (1994). Da sich die Zunahme hauptsächlich nach 1984 ereignet (vgl. Abb. 19), sind auch hier

die beginnenden Renaturierungsmaßnahmen als eine Ursachenquelle zu nennen. Die Werte der urbanen Landschaft dürfen (wie bei den anderen LSM) aufgrund des nur zu geringen Anteilen erfassten Verkehrsnetzes nicht überinterpretiert werden.

7.4. Ergebnisdiskussion auf Klassenebene

7.4.1. Gesamtlandschaft

Die Gesamtlandschaft wird, erkennbar an den LSM *Class Area* und *Percent of Landscape*, im Wesentlichen von den beiden Landbedeckungsklassen Acker (zu allen drei Zeitpunkten über 50 % Gesamtanteil) und Grünland & Garten (Anteil zwischen 13,7 % [1965] und 14,8 % [1994]) geprägt. Die Klasse Acker zeigt über die Zeit die größten flächenhaften Veränderungen bei einer Abnahme um 5,3 % der Klassenflächen zwischen 1965 (238.000 ha) und 1994 (225.500 ha). Dieser Verlust von 12.500 ha vollzieht sich zu Gunsten der Klassen Grünland & Garten (+4.800 ha), Bebauung (+3.400 ha), Tagebau/ Sonderflächen (+ 5.300 ha) und Verkehr (+ 1.200 ha). Dies spiegelt den allgemeinen Trend der Landschaftsentwicklung, wie schon in Kap. 7.3. beschrieben, sehr deutlich wieder. Sowohl vor, besonders aber nach der Wende kam es zu einer Zunahme der Klassen Bebauung und Verkehr, da der Raum noch intensiver wirtschaftlich erschlossen wurde und auch die Zusammenfassung großer Ackerschläge nur in den seltensten Fällen zu einem Rückbau von Gebäuden oder Straßen führte. Die deutlichste Zunahme zeigt die Klasse Tagebau/ Sonderflächen, was sich mit der intensiven Nutzung und Ausbeutung der Braunkohlelagerstätten im Süden und Norden von Leipzig begründen lässt. Eine direkte Verbindung mit der Klasse Tagebau/ Sonderflächen hat die Klasse Stillgewässer: Die großen Flächen der ausgeräumten Tagebaue wurden häufig nicht in den ursprünglichen Zustand (Acker, z. T. Auwald, Siedlungen, ...) zurückversetzt, sondern zu Stillgewässern (Cospudener See, Kulkwitzer See, u. a.) umgewandelt. Neben der Klasse Acker zeigt vor allem die Klasse Laubwald einen Rückgang zwischen 1965 und 1984: -1.900 ha (bzw.-5,7 %). Dies und die Zunahme bis 1994 um 700 ha (+ 2,2 %) stehen in direktem Zusammenhang mit den Braunkohletagebauen: Im Leipziger Südraum fielen große Auwaldflächen dem Tagebau zum Opfer, nach deren Stilllegung kam und kommt es zu Aufforstungen der Tagebau- und Kippenflächen (THOMASIVS & HÄFKER (1998), VOGLER et al. (1998)).

Die Entwicklung der Flächenanzahl der einzelnen Klassen über die Zeit spiegelt den allgemeinen Trend der Flächenvergrößerung und damit der Abnahme der Flächenanzahl bis

1984 und eine Umkehrung dieses Prozesses nach der Wende 1990 wieder. Besonders deutlich ist diese Entwicklung bei der Klasse Acker zu verfolgen: Gab es 1965 noch etwa 35.500 Ackerschläge im gesamten Regierungsbezirk Leipzig, so waren es 1984 nur noch ca. 15.200 und 1994 wieder 18.500 (vgl. Abb. 20a und Tab. 12 in Anhang D). Nur geringe Veränderungen in der Flächenanzahl zeigen die Klassen Fließgewässer, offene Flächen/Ruderalflächen, Nadelwald und Verkehr. Dies liegt zum einen daran, dass Fließgewässer und Verkehrsanlagen in der Regel ein in sich relativ geschlossenes Netz bilden, zum anderen konnten die Böden der Nadelwälder – hauptsächlich in der sandigen Heidellandschaft (Düben-Dahlener-Heide, Abb. 3) zu finden – häufig nicht anders wirtschaftlich genutzt werden.

Die Entwicklung der Flächendichte ist eng an die Entwicklung der Anzahl der Flächen gekoppelt und zeigt für die untersuchten Landbedeckungsklassen einen nahezu identischen Verlauf. Kleine, zahlreiche und/oder zerstreut liegende Flächen der Klassen Grünland & Garten und Baumreihe / Hecken / Gehölz führen zu hohen Indexwerten; große, seltene und eher geklumpt vorkommende Elementklassen (Fließ-, Stillgewässer, Nadelwald, Tagebau / Sonderflächen und Verkehr) zeigen vergleichsweise geringe Wert.

Der *Largest Patch Index* der meisten Landschaftselementklassen liegt zwischen 0,03 % und 0,08 %. Dies zeigt, dass keine Fläche dieser Klassen einen bedeutenden Anteil der Landschaft bedeckt. Einen extrem niedrigen Wert (unter 0,001 %) zeigt die Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölz, da diese Flächen an sich nur sehr klein sind und zur Vermeidung von Digitalisierungsfehlern (vgl. Abb. 21a) bei der Erfassung durchtrennt wurden. Die größten Indexwerte der Klassen Tagebau / Sonderflächen (1984: 0,41 %) und Verkehr (1994: 3,92 %) ergeben sich aus der Größe der Teilflächen.

Das *LSM Area Mean* zeigt für die Klassen Acker, Nadelwald und Verkehr zu allen drei Zeitschnitten die größten Werte. Die vor allem im Sächsisch-Niederlausitzer Heidegebiet vorkommenden Nadelwälder zeigen nur eine sehr geringe Zunahme über die Zeit (1965: 5,48 ha; 1994: 6,18 ha) (Abb. 20b, Anhang D). Die Zunahme der durchschnittlichen Flächengröße der Verkehrswege über den gesamten Untersuchungszeitraum zeigt das immer dichter werdende Verkehrsnetz an. Der Trend der Entwicklung der Ackerschlagsgrößen spiegelt die allgemeine Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzflächen der ehemaligen DDR wieder, wie er hier schon mehrfach beschrieben wurde. Die absoluten Zahlen sind meines Erachtens allerdings viel zu gering. Zu keiner Zeit erreicht die durchschnittliche Ackerschlagsgröße einen ihrer Zeit angemessenen Wert. Dies kann nur durch Fehler bei der Erfassung der klassifizierten Landschaften erklärt werden. Bei der manuellen Erfassung des Untersuchungsgebietes

(4.400 km²) müssen zahlreiche Kleinstflächen fehlerhaft sein und ziehen somit die Werte dieses Maß nach unten. Die methodischen Risiken zeigen sich hierbei sehr deutlich. Die geringen Werte (<3 ha) der Klasse Tagebau / Sonderflächen resultieren aus der Tatsache, dass viele kleine und kleinste Sonderflächen in die Berechnung eingehen und die sehr großen Tagebaue nicht in dem erwarteten Maße zur Geltung kommen.

Die hohen Werte des Variationskoeffizienten der Abweichung der mittleren Flächengröße der Klassen Tagebau / Sonderflächen und Verkehr zeigen sehr eindrucksvoll das Vorkommen von sehr großen und sehr kleinen Flächen, wie dies für die Klasse Tagebau / Sonderflächen oben bereits gezeigt wurde. Auch die Klassen Fließ-, Stillgewässer und offene Flächen / Ruderalflächen zeigen mit *AREA_CV*-Werten zwischen 400 % und 720 % eine große Inhomogenität der Flächengröße. Weitgehend homogene Flächengrößen sind bei den Klassen Acker und Baumreihe / Hecken / Gehölze zu finden (*AREA_CV* ~160 %).

Die *Edge Density* dreier Klassen (Grünland & Garten, Acker, Verkehr) ist zu allen Zeitpunkten deutlich höher (>60 m/ha) als die der anderen Klassen (<29 m/ha). Diesen hohen Werten liegen jeweils andere Ursachen zugrunde. Die Klasse Acker ist mit sehr vielen Flächen im Untersuchungsraum vertreten (%*LAND* > 50 %), die Klasse Grünland & Garten ist die Klasse mit den meisten Patches und der höchsten Patch Density. Die Klasse Verkehr hat als Klasse linienhafter Landschaftselemente an sich schon eine hohe Kantendichte und kommt zudem, im Vergleich zur Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölze und Fließgewässer, häufiger im Regierungsbezirk Leipzig vor (%*LAND* 3,8 % - 4,1 %).

Der *Landscape Shape Index*, als Maß für die Form und Gestalt der Landschaftselemente beschreibt das Verhältnis von Fläche zu Umfang einzelner Patches. Dies führt dazu, dass linienhaften Landschaftsklassen generell wesentlich höhere Werte aufweisen (auch dann, wenn sie nur eine geringe Flächenanzahl haben) als flächenhafte Elementklassen. Dies wird durch die Werte (>300) der Klassen Fließgewässer, Baumreihe / Hecken / Gehölz und Verkehr bestätigt. Von Natur aus kompakte Klassen (Stillgewässer) und durch die anthropogene Nutzung in besonderer Weise beeinflusste Flächen (offene Flächen & Ruderalflächen, Tagebau / Sonderflächen) zeigen generell niedrige Werte (hier: zwischen 1965 und 1994 immer <65).

Das Diversitätsmaß *Interspersion and Juxtaposition Index* zeigt mit seinem Wertebereich von 0 % (maximale Ungleichverteilung) bis 100 % (maximale Gleichverteilung) den Grad der Verteilung der Landschaftsklassen über die Landschaft an. Hohe Werte (> 75 %) und damit

eine relativ gleichmäßige Verteilung zeigen die Klassen Stillgewässer, offene Flächen & Ruderalflächen, Grünland & Garten, Laubwald und Tagebau / Sonderflächen. Zumindest für die Klasse Tagebau / Sonderflächen überrascht dieser Wert in seiner Höhe, liegen doch alle Tagebaue im Nord- und Südraum von Leipzig relativ dicht beieinander. Wie schon durch das *LSM Area Mean* gezeigt, scheint es jedoch so zu sein, dass diese Klasse auch aus vielen kleinen und, wie der *IJI*-Wert zeigt, auch weit zerstreuten Sonderflächen-Patches besteht. Wie schon bei der Diskussion des *LSM Area Mean* beschrieben, kommen Nadelwälder hauptsächlich in der Heidelandschaft vor (vgl. Karte 7), dies erklärt die relative niedrigen Werte. Die vergleichsweise niedrigen Werte der Klasse Bebauung zeigen deren Flächenkonzentration in den Städten und Dörfern. Obwohl es während der strukturellen Wandlungen der Landwirtschaft nach 1965 nach ECKARDT & WOLLKOPF (1994) und dem REGIONALEN PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (2001) in großem Stil zur Entfernung von Hecken und Gehölzen kam, führte dies nicht zu einer Veränderung der proportionalen Verteilung der Elemente dieser Klasse. Keine Klasse zeigt einen nennenswerten Wandel über die Zeit.

7.4.2. Lößhügellandschaft

Die Lößhügellandschaft, bestehend aus dem Mittelsächsischen- und dem Mulde-Lößhügelland (vgl. Abb. 3 und Karte 7) wird aufgrund der sehr nährstoffreichen Böden im wesentlichen ackerbaulich genutzt. Die Erhaltung und Ausschöpfung der leistungsfähigen Agrarproduktion ist ein wesentliches Ziel der raumplanerischen Maßnahmen für die Lößhügellandschaft (REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (2001)). Noch stärker als der gesamte Regierungsbezirk Leipzig wird die Lößhügellandschaft vom Ackerbau dominiert: Bei %*LAND*-Werten zwischen 63,5 % (1965) und 60 % (1994) entfallen nur 15-18 % auf die Klasse Grünland & Garten. Der Rückgang der Ackerflächen ist vor allem mit der Umwandlung von Grenzertragsstandorten in andere Landnutzungsformen zu erklären. So beschreibt der REGIONALE PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (2001) als Ziele der regionalisierten Leitbilder u. a. die Umwandlung von Ackerflächen in Talbereichen in Grünland, die Umwandlung von Ackerflächen an Talhängen und Quellbereichen in Wälder und die Anreicherung ackerbaulich genutzter Plateauflächen mit Hecken und Gehölzen. Der Rückgang der Anzahl der Patches nach 1965 und die leichte Zunahme der Flächenanzahl nach 1984 aller Klassen steht in direktem Zusammenhang mit der bereits mehrfach beschriebenen allgemeinen Landschaftsentwicklung. Diesen Trend spiegelt auch die Entwicklung der *Patch Density* wieder. Alle drei Landschaftsklassen zeigen einen Rückgang der Flächendichte

zwischen 1965 und 1984, was durch die Zusammenlegung der Teilflächen (Acker, Grünland & Garten) und durch die teilweise Entfernung aus der Landschaft (Baumreihe / Hecken / Gehölz) erklärt werden kann. Die Zusammenlegung der Teilflächen wird in Ansätzen durch den *Largest Patch Index* bestätigt, der für die beiden landwirtschaftlichen Klassen eine Verdopplung des Anteils der größten Teilfläche an der Gesamtlandschaft beschreibt. Die Entwicklung der durchschnittlichen Flächengröße der Lößhügellandschaft unterscheidet sich nicht wesentlich von der des gesamten Regierungsbezirkes Leipzig. Lediglich bei der Klasse Acker zeigen sich Unterschiede: So sind die Flächen 1984 (~ 12 ha) und 1994 (~ 10 ha) um etwa 20 % kleiner als im gesamten Regierungsbezirk. Dies hängt vermutlich mit der nach Süden zunehmenden Relieffierung des Untersuchungsgebietes zusammen. Die durchschnittliche Größe der Ackerflächen des Lößhügellandes sind allerdings wesentlich höher als die durchschnittliche Flächengröße aller Flächen des Lößhügellandes, bei denen Maximalwerte von 1,5 ha (1984) ermittelt wurden. Das LSM *Mean Area Coefficient of Variation* zeigt für alle drei Landbedeckungsklassen und in allen drei Zeitschnitten nur sehr geringe Abweichungen von den Werten der Gesamtlandschaft. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, zeigt die Gruppe der Flächenmaße für die Lößhügellandschaft keine anderen Entwicklungstendenzen als für die Gesamtlandschaft.

Das Kantenmaß *Edge Density* zeigt deutlich Unterschiede zwischen dem gesamten Regierungsbezirk Leipzig und der Lößhügellandschaft: Alle drei Landbedeckungsklassen haben in der Lößhügellandschaft deutliche höhere Kantendichten. Diese höheren Werte resultieren im wesentlichen aus der geringen Durchschnittsgröße der Teilflächen, wie sie durch das Maß *Area Mean* belegt werden konnte. Die Entwicklung über die Zeit ist weitestgehend ähnlich verlaufen. Im Vergleich zur *Edge Density* aller Flächen des Lößhügellandes fällt auf, dass die untersuchten drei Klassen deutlich geringere Kantendichten aufweisen, was dafür spricht, dass sie aus großen Teilflächen bestehen (Acker, Grünland & Garten) bzw. nur relativ wenige Teilflächen beinhalten (Baumreihe / Hecken / Gehölz).

Der *Landscape Shape Index* der Klassen Grünland & Garten, Acker und Baumreihe / Hecken / Gehölze der Lößhügellandschaft liegt zu allen Zeitpunkten wesentlich unter den Werten der Gesamtlandschaft. Dies bestätigt die stärkere agrarwirtschaftliche Prägung des Naturraumes, die nach LAUSCH (2000a) in den meisten Fällen zu einfacheren Formen der Teilflächen führt. Die sehr niedrigen Werte für die Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölze haben vermutlich auch methodische Ursachen. Sind die Teilflächen an sich schon kurz und

mussten sie, wie in Kap. 5.1. beschrieben, noch aufgeschnitten werden (vgl. Abb. 4), so verringert sich ihre Länge und damit auch ihr *LSI*-Wert noch zusätzlich.

Die mittleren Abstände zum nächsten Nachbarn gleicher Klassenzugehörigkeit sind ein Maß der Isolation der Landschaftsklassen. Sehr niedrige Werte (bis max. 20 m) der Klasse Acker (bzw. max. 25 m) der Klasse Grünland & Garten zeigen das sehr zahlreiche und flächendeckende Auftreten der einzelnen Landschaftselemente. Die mittleren Abstände der Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölze (zwischen 45 m und 53 m) zeigen, dass die Flächen dieser Klasse zwar stärker isoliert sind als Acker- und Grünlandflächen, von einer starken Isolation kann aber nicht gesprochen werden. Der Trend der zunehmenden Isolation hat sich zwischen 1984 und 1994 im Vergleich zum Zeitraum 1965 bis 1984 deutlich abgeschwächt (+ 15,5 % zwischen 1965 und 1984 und + 1,8 % zwischen 1984 und 1994, vgl. auch Tab. 13 in Anhang D). Dies ist dadurch zu erklären, dass es nach 1984 nach ECKART & WOLLKOPF (1994) nur noch in geringem Umfang zur Abholzung von Hecken und Gehölzen kam und die Anpflanzung neuer Hecken und Baumreihen nach der Wende (REGIONALE PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (2001)) erst langsam anließ und bis 1994 nur in wenigen Fällen durchgeführt wurde. Die drei Klassen zeigen nur geringe Unterschiede zur allgemeinen Landschaftsentwicklung im Lößhügelland. Die Standardabweichung der mittleren Abstände zeigt für alle drei untersuchten Klassen wesentlich geringere Werte als für das gesamte Lößhügelland (Kap. 6.2.2.4. Abb. 27 und Tab 13 Anhang D). Die einzelnen Landschaftselemente sind demnach wesentlich gleichmäßiger über die Lößhügellandschaft verteilt als die Elemente anderer Klassen.

Die leichte Zunahme des *Interspersion and Juxtaposition Index*-Wertes der gesamten Lößhügellandschaft zwischen 1965 und 1984 (absolut + 4,2 %) resultiert z. T. aus der zunehmend proportionalen Verteilung der beiden landwirtschaftlichen Klassen. Eine Veränderung der proportionalen Verteilung der Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölz über die Zeit ist nicht festzustellen. Die Abholzung der einzelnen Landschaftselemente (vgl. Entwicklung der *Number of Patches* und *Patch Density*) erfolgte demnach in der Lößhügellandschaft räumlich weitgehend gleichverteilt.

7.4.3. Auenlandschaft

Innerhalb der Auenlandschaft wurden die drei Landschaftsklassen Fließgewässer, Grünland & Garten und Laubwald eingehender untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Klasse Fließgewässer keine nennenswerten Veränderungen der Klassenfläche und des prozentualen

Anteils an der Landschaft über die Zeit aufweist. Die leichte Zunahme des Grünland- & Gartenanteils von 25,85 % (1965) auf 29,13 % (1994) resultiert im wesentlichen aus der zunehmenden Erschließung der Auen als Weideflächen. Dies ging im wesentlichen zu Lasten der Laubwälder (Auwälder), für die vor allem zwischen 1965 und 1984 (-1.075 ha = -31,5 %) ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen ist. Die Zunahme des Laubwaldanteils um 0,6 % zwischen 1984 und 1994 kann vor allem mit der zunehmenden Renaturierung der Flussauen (Elbe, Mulde, Elster-Pleiße-Luppe-Auensystem) begründet werden. So gibt der REGIONALE PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (2001) als wichtige raumplanerische Maßnahmen für die Auenlandschaften die Neubegründung von Auwaldbeständen und die Eingliederung von Einzelgehölzen und Baumgruppen in die Grünlandflur an.

Der Rückgang der Anzahl der Flächen (*LSM Number of Patches*) der Klasse Laubwald ergibt sich aus der Abholzung zahlreicher Wälder, der Rückgang in der Klasse Grünland & Garten aus der Zusammenlegung von Teilflächen, teilweise verursacht durch Abholzung von Hecken und Gehölzen (ECKART & WOLLKOPF 1994). Dies sind auch die Gründe für den Rückgang der *Patch Density*. Die Klasse Fließgewässer zeigt für keine der beiden Maße eine nennenswerte Veränderung innerhalb der untersuchten drei Zeitschnitte. Die Anstiege der LSM-Werte (*Number of Patches* und *Patch Density*) zwischen 1984 und 1994, die für die gesamte Auenlandschaft festgestellt werden konnte, lassen sich durch die drei näher untersuchten Landschaftsklassen nicht belegen. Im Vergleich zum gesamten Regierungsbezirk Leipzig erreicht die Klasse Grünland & Garten in der Auenlandschaft wesentlich höhere Werte der *Patch Density* (1965: + 90 %, 1984 und 1994: + 65 %). Der Flächenanteil der größten Fläche an der Gesamtfläche (*Largest Patch Index*) der Auenlandschaft sinkt bei den beiden Klasse Grünland & Garten und Laubwald, bei der Klasse Fließgewässer bleibt er konstant. Die Abnahme des Wertes der Klasse Grünland & Garten überrascht etwas; zeigt sie doch, dass es zwischen 1965 und 1984 nicht generell zu einer Flächenvergrößerung der landwirtschaftlichen Nutzflächen gekommen ist (die Annahme, dass es sich bei der größten Teilfläche um eine Gartenfläche handelt, kann weitgehend ausgeschlossen werden). Die Entwicklung des *LPI*-Wertes der Klasse Laubwald und die Entwicklung der durchschnittlichen Flächengröße (*Area Mean*) zeigen, dass es zu einer deutlichen Größenabnahme der Laubwälder zwischen 1965 und 1984 gekommen ist, die auch nach 1984 nicht mehr ausgeglichen wurde. Die Laubwälder, mit einer durchschnittlichen Größe von fast 4 ha 1965 und 3 ha 1994, sind aber im Vergleich mit allen anderen Flächen der Auenlandschaft (1965 bis 1994: $\emptyset < 1$ ha) größer als diese. Auch sind die Laubwälder der Auenlandschaft größer als die des gesamten Regierungsbezirkes Leipzig (1994: \emptyset 2,41 ha). Für die Fließgewässer bietet sich ein Vergleich zwischen der

Auenlandschaft und dem Regierungsbezirk Leipzig nicht an, da der weitaus größte Teil der Fließgewässer in der Auenlandschaft vorkommt. Das LSM *AREA_CV* zeigt hohe Werte (> 400 %) für die Klasse Fließgewässer über alle drei Jahre an. Da Fließgewässer an sich ein geschlossenes System (innerhalb der vier Teilflächen der Auenlandschaft) bilden, mag dieser hohe Wert ebenso verwundern wie die relative hohe Anzahl der Einzelflächen (*Number of Patches*). Die Erklärung hierfür sind die methodischen Schwierigkeiten der manuellen Rasterdigitalisierung, die eine Belegung einer Rasterzelle mit nur einer Klasse ermöglicht. Fließgewässer werden somit sehr häufig durch Elemente anderer Klassen (vor allem Verkehrswege) durchtrennt. Die relativ niedrigen *AREA_CV*-Werte des Laubwaldes zeigen vor allem im Vergleich mit den Laubwäldern des Regierungsbezirkes, dass die Wälder der Auenlandschaft einander ähnlichere Größen aufweisen. Die Werte der Klasse Grünland & Garten entsprechen zu allen drei Zeitpunkten fast denen im Regierungsbezirk Leipzig.

Da die Klassen Fließgewässer und Laubwald nur relativ wenige Teilflächen innerhalb der Auenlandschaft besitzen, ist deren Kantendichte mit Werten um 40 m/ha und auch darunter, gering. Die *Edge Density* der Klasse Grünland & Garten der Auenlandschaft liegt mit Werten um 100 m/ha deutlich über den Werten der gleichen Klasse des Regierungsbezirkes (+/-60 m/ha). Die Kantendichte aller Flächen der Auenlandschaft liegt mit Werten um 200 m/ha deutlich über den Werten der drei näher untersuchten Landschaftsklassen. Dies kann damit begründet werden, dass die drei Klassen insgesamt nur wenige Teilflächen besitzen (Fließgewässer) bzw. größere Teilflächen aufweisen (Fließgewässer, Grünland & Garten, Laubwald).

Das Formmaß *Landscape Shape Index* zeigt für die beiden Klassen Fließgewässer und Grünland & Garten mit Werten zwischen 41 und 47 ähnliche Werte wie die gesamte Auenlandschaft (48,9 für 1965 und 43,8 für 1984). Die Klasse Laubwald unterscheidet sich hiervon mit *LSI*-Werten zwischen 18,8 und 19,9 sehr deutlich. Diese Werte zeigen, dass die Laubwälder sich in ihrer Form wesentlich näher an die Standardform (Quadrat) annähern, als die anderen Landbedeckungsklassen. Die wesentlich niedrigeren Werte der Auenlandschaft (um 45) im Vergleich zum Regierungsbezirk Leipzig (um 300) der Klasse Fließgewässer zeigen an, dass die Fließgewässer der Auenlandschaft deutlich breiter (die Elbe erreicht im Untersuchungsgebiet eine Breite von etwa 160 m (MANNSELD & RICHTER 1995), die Mulde nach eigenen Beobachtungen bei Niedrigwasser eine Breite von bis zu 30 m) sind, als die des gesamten Regierungsbezirkes (mittlere Breite!).

Die mittleren Entfernungen zum nächsten Nachbarn gleicher Klassenzugehörigkeit zeigen für die Klasse Grünland & Garten niedrige Werte und damit ein sehr dichtes Netz an Einzelpatches. Lag die durchschnittliche Entfernung der Laubwaldklasse 1965 noch bei knapp 66,5 m, so stieg sie durch die Rodungen und Flächenverkleinerungen vieler Auwälder 1984 auf 110 m und 1994 auf 113 m. Die Zunahme des LSM *ENN_CV* für Laubwald zwischen 1965 und 1984 zeigt an, dass die einzelnen Wälder zunehmend voneinander isoliert wurden (allerdings liegen diese Werte noch weit unter den *ENN_CV*-Werten der gesamten Auenlandschaft (zwischen 349 % [1965] und 390 % [1994])). Auch die *ENN_CV*-Werte der Klassen Fließgewässer und Grünland & Garten liegen mit Werten um 150 % erheblich unter den Durchschnittswerten der gesamten Auenlandschaft, was geringere Abstände anzeigt und auf eine stärkere Gleichverteilung der Einzelflächen schließen lässt.

Diese Vermutung kann zumindest für die Klasse Grünland & Garten durch die *Interspersion and Juxtaposition Index*-Werte von durchgängig über 78 % bestätigt werden. Auch die Klasse Laubwald zeigt mit *IJI*-Werten von knapp 75 % eine relativ proportionale Verteilung der Landschaftselemente an, eine Konzentration der Auwälder in einer oder zwei der vier Teilflächen ist somit auszuschließen. Durch die Konzentration der Fließgewässerteilflächen innerhalb der vier Hauptfließgewässersysteme (ein System pro Landschaftsteil) erreicht der *IJI*-Wert dieser Klasse nur geringe Werte zwischen 55 % und 58 % und liegt damit deutlich unterhalb der Werte für die gesamte Auenlandschaft. Innerhalb des Regierungsbezirkes Leipzig zeigen die einzelnen Fließgewässerflächen eine gleichmäßigere Verteilung als in der Auenlandschaft, was zum einen durch die Konzentration in wenigen Teilflächen innerhalb der Auen zu erklären ist. Zum anderen wird dadurch noch einmal sehr deutlich, dass auch außerhalb der Auenlandschaft zahlreiche Fließgewässer vorkommen.

7.5. Bewertung der Landschaftsentwicklung

Eine Bewertung der Landschaftsentwicklung ist nicht immer leicht, soll an dieser Stelle aber dennoch unternommen werden. Da das Landschaftsmonitoring nur die generelle Entwicklung der Landschaftsstrukturen umfasst, kann auch nur eine allgemeine Bewertung der Teilräume und der näher untersuchten Landbedeckungsklassen vorgenommen werden.

Eine Bewertung der Entwicklung der Landbedeckungsklasse Grünland & Garten wird nicht vorgenommen, da schon die einfachsten Maße keine eindeutigen Aussagen zulassen. So ist

die reine Betrachtung der Klassenfläche und des prozentualen Anteils an der jeweiligen Landschaft nie eindeutig als positiv oder negativ zu charakterisieren. Eine Zunahme der Grünland- und Gartenflächen ist positiv, wenn sie aus einer Umwandlung von Acker- oder Bebauungsflächen resultiert, und negativ, wenn sie durch Abholzung von Baumreihen, Hecken, Gehölzen oder Auwäldern entsteht. Da beide Entwicklungstendenzen für den Untersuchungsraum gegeben sind, ist eine allgemeine Bewertung nicht möglich.

Eine Zunahme der Anzahl der Strukturelemente und eine hohe Diversität an Landschaftselementen kann nach BASTIAN & SCHREIBER (1999) als positiv bewertet werden, da viele Saumstrukturen häufig durch einen höheren Artenreichtum geprägt sind als große, in sich homogene Flächen. Dementsprechend wird eine Verringerung der Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölze als negativ bewertet.

Als schwierig zu bewerten muss das Landschaftsstrukturmaß *ENN_CV* angesehen werden. Ob es als positiv oder negativ zu bewerten ist, wenn die durchschnittlichen Abstände zum nächsten Nachbarn gleicher Klassenzugehörigkeit stark oder schwach variieren, kann nicht immer eindeutig geklärt werden.

7.5.1. Bewertung der Entwicklung im Regierungsbezirk Leipzig

Die Bewertung der Landschaftsentwicklung des Regierungsbezirkes Leipzig und der fünf Landbedeckungsklassen Fließgewässer, Grünland & Garten, Acker, Baumreihe / Hecken / Gehölze und Laubwald ist in Abb. 34 dargestellt. Vor allem zwischen 1965 und 1984 ist die Landschaftsentwicklung als negativ zu beurteilen. Dies begründet sich vor allem aus der zunehmenden Ackerschlagsgröße, die durch den Rückgang der Ackerflächenanzahl und ihrer Dichte angezeigt wird. Es fehlen in der Landschaft zunehmend ökologisch bedeutsame Saumstrukturen (BASTIAN & SCHREIBER 1999), was sich auch durch den Rückgang der *Edge Density* erkennen lässt. Der Rückgang des Gesamtackeranteils kann diese negative Entwicklung nicht auffangen. Auch für die Klassen Baumreihe / Hecken / Gehölze und Laubwald ist die Entwicklung zwischen 1965 und 1984 als negativ zu bewerten. Die Dominanz der Ackerflächen in der landschaftlichen Bedeutung führt zu einem flächenmäßigen Rückgang der Einzelflächen. Nach 1984 kehrt sich die negative Entwicklung in der Klasse Acker in eine positive um. Die Entwicklung der Klassen Laubwald und Baumreihe / Hecken / Gehölze zeigen im Regierungsbezirk Leipzig keine nennenswerte Veränderung zum positiven zwischen 1984 und 1994. Die als gut zu bewertende Entwicklung der Ackerschläge sind der Hauptgrund für eine allgemein positive Landschaftsentwicklung des Regierungsbezirkes

Leipzig zwischen 1984 und 1994. Die Klasse Fließgewässer zeigt zwischen 1965 und 1994 keine nennenswerte (weder positiv noch negativ) Entwicklung.

7.5.2. Bewertung der Entwicklung in der Lößhügellandschaft

Die Bewertung der Landschaftsentwicklung der Lößhügellandschaft mit den Landbedeckungsklassen Grünland & Garten, Acker und Baumreihe / Hecken / Gehölze ist in Abb. 35 dargestellt. Die Entwicklung der Lößhügellandschaft ist zwischen 1965 und 1984 allgemein als negativ zu beurteilen. Hier spielen im Wesentlichen die gleichen Ursachen eine Rolle wie im Regierungsbezirk Leipzig: Die Ackerschläge werden viel größer und Baumreihen, Hecken und Gehölze werden entfernt, dadurch gehen zahlreiche Saumstrukturen verloren. Zwischen 1984 und 1994 wandeln sich zahlreiche Prozesse der Landschaftsentwicklung zum positiven, was sich auf die Entwicklung der gesamten Lößhügellandschaft auswirkt. Mit fast allen Landschaftsstrukturmaßen lässt sich zwischen 1984 und 1994 eine positive Landschaftsdynamik ausmachen. Die negative Entwicklung der Klasse Baumreihe / Hecken / Gehölze ist nach 1984 weitgehend beendet, kehrt sich aber auch danach nicht in eine positive um.

7.5.3. Bewertung der Entwicklung in der Auenlandschaft

Die Bewertung der Landschaftsentwicklung der Auenlandschaft mit den Landbedeckungsklassen Fließgewässer, Grünland & Garten und Laubwald ist in Abb. 35 dargestellt. Die Landschaftsentwicklung der Auen zwischen 1965 und 1984 kann im wesentlichen als negativ beurteilt werden. Wie bereits in Kap. 7.4.3. beschrieben kam es zu Abholzungen von Auwäldern und deren Umwandlung in Grünland. Dies ist als sehr negativ zu beurteilen, da Auwälder z. B. (im Gegensatz zu Grünland) eine wichtige Funktion im Hochwasserschutz erfüllen. Die Entwicklung der Klasse Laubwald in der Auenlandschaft ist zwischen 1965 und 1984 durchweg als negativ zu beurteilen. Nach 1984 kann nur durch ein Maß (*AREA_MN*) eine sicher positive Entwicklung angezeigt werden. Die Landbedeckungsklasse Fließgewässer zeigt zwischen 1965 und 1984 durchweg eine negative bis neutrale Entwicklung und nach 1984 ausschließlich neutrale Entwicklungen.

8. Ausblick

Die Erfassung und Analyse der strukturellen Vielfalt und der zeitlichen Entwicklung ganzer Landschaften stellt nach Ansicht des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU 1994) eine wichtige Grundlage zur deren Bewertung dar. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte ein methodischer Ansatz des Landschaftsmonitorings vorgestellt werden. Aufbauend auf einer Vielzahl von möglichen Ausgangsdaten (topographische Karten, Geländebegehungen, Luft- und Satellitenbilder, historische Landschaftsbeschreibungen) bieten Landschaftsstrukturmaße eine sehr gute Möglichkeit, Landschaften und deren Entwicklungen räumlich exakt zu beschreiben (MENZ 1997, LAUSCH 2000A, ARES et al. 2002).

Sowohl in der Aufbereitung der Ausgangsdaten, als auch in ihrer Analyse sehen zahlreiche Autoren noch Verbesserungsmöglichkeiten. So beschreiben BLASCHKE (1999) und BLASCHKE & STROBL (2001) die Problematik, dass sich in den letzten Jahren zwar viele Neuerungen (spektrale und räumliche Auflösung) bei der Gewinnung von Luft- und Satellitenbildern gegeben haben, methodische Weiterentwicklungen aber lange auf sich warten ließen. Die Autoren werfen die Frage auf, warum die Rasterzellen bisher als Einzelzellen behandelt werden, wenn doch einzelne Landschaftselemente aus einem charakteristischen (spektralen) Muster von Rasterpixel bestehen. Diese objekt-orientierte Analysemethode wird von dem Programm eCognition umgesetzt, das sich besonders für hochaufgelöste optische Daten eignet. Erfahrungen mit der objekt-orientierten Bildanalyse wurden bisher nur wenig veröffentlicht (BLASCHKE & HAY (2001), HOFMANN (2001), SCHWARZ et al. (2001)).

Neben der Analyse der klassifizierten Landschaft mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen bietet sich auch die Möglichkeit der Modellierung von Landnutzungsveränderungen. BAKER (1989) gibt eine sehr frühe Einteilung der Modelle nach dem Aggregationsniveau an:

- aggregierte Landschaftsmodelle
- Verteilungsmodelle
- Räumliche Modelle

FRITSCH (2002) gibt einen Überblick über existierende Modelltypen, mit denen Landschaften und ihre wesentlichen Einflussfaktoren erfasst werden können:

- nicht räumliche Modelle: *Wirtschaftsmodelle, agrar-ökonomische Modelle und sozio-ökonomische Modelle*

- räumliche Modelle: *statische Modelle* (historische Modelle, deterministische Allokationsmodelle, räumlich-stochastische Modelle) und *dynamische Modelle* (prozessbasierte Modelle, konzeptionelle Modelle, integrierte Modelle)

Neben diesen Ansätzen, das Landschaftsmonitoring methodisch weiterzuentwickeln, darf auch die Berücksichtigung der Ergebnisse im Rahmen der Landschaftsplanung nicht vernachlässigt werden. So zeigen BASTIAN & BERNHARDT (1993), dass die Auswirkungen von Landschaftsveränderungen auf Bioindikatoren in der räumlichen Planung nur selten berücksichtigt werden, da die Ursachen-Wirkungs-Beziehungen oft unklar und aufwendig zu erfassen sind. TAYLOR (2002) gibt zu bedenken, dass menschliches Handeln von der räumlichen Planung häufig als (fälschlicherweise!) natürliches Handeln aufgefasst wird. Landschaftsanalysen können nach seiner Ansicht geeignet sein, dies aufzuzeigen.

9. Zusammenfassung

Die Landschaften des Regierungsbezirkes Leipzig sind, wie alle Kulturlandschaften, sehr dynamische Gebilde.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war eine Analyse und Bewertung der Landschaftsstruktur-entwicklung des Regierungsbezirkes Leipzig und seiner Naturräume zu den Zeitpunkten 1965, 1984 und 1994. Die Ansätze von FORMAN & GODRON (1986), URBAN et al. (1987) und TURNER & GARDNER (1991) zur Erfassung und Analyse der Landschaftsstruktur erwiesen sich hierfür als gut geeignet.

Zur Erfassung der Struktur wurden zunächst für alle drei Zeitschnitte digitale Landschaftsbilder erstellt. Als Datengrundlagen kamen hierbei verschiedene Satellitenbilder (panchromatische CORONA-Aufnahmen von 1965, multispektrale Landsat-TM-Aufnahmen von 1984 und 1994), topographische Karten und die Biotoptypenkartierung des Bundeslandes Sachsen zum Einsatz. Die Analyse der einzelnen Landschaftsbilder erfolgte mit Hilfe von Landschaftsstrukturmaßen, die mit dem Raummusteranalyseprogramm FRAGSTATS 3.3 berechnet wurden. Hierbei wurde ein Set von zehn bis zwölf (je nach Untersuchungsebene) Landschaftsstrukturmaßen (*CA*, *TA*, *%LAND*, *LPI*, *NP*, *PD*, *AREA_MN*, *AREA_CV*, *ED*, *LSI*, *ENN_MN*, *ENN_CV*, *IJI*, *SHDI*) verwendet, die sensibel genug sind, regional bedeutsame Landschaftsveränderungen darzustellen. Um feststellen zu können, ob Teile des Regierungsbezirkes eine andere Landschaftsentwicklung aufweisen als andere bzw. als der Gesamttraum, wurde der Regierungsbezirk Leipzig in die sieben Naturräume Auenlandschaft, Bergbaulandschaft, Heidelandschaft, Lößhügellandschaft, Porphyrhügellandschaft, Sandlöß-Ackerlandschaft und urbane Landschaft aufgeteilt und gesondert berechnet.

Die Berechnung der Landschaftsstruktur erfolgte auf den zwei Ebenen der Landschaft und der Klassen (bis zu 12 Landbedeckungsklassen pro Landschaft) für die Gesamtlandschaft und die 7 Naturräume. Mit den beiden Naturräumen Auenlandschaft und Lößhügellandschaft wurden zwei Räume näher untersucht um Besonderheiten der Landschaftsentwicklung herauszustellen. Für beide Naturräume wurden die drei prägendsten Landbedeckungsklassen untersucht, wodurch für die Lößhügellandschaft gezeigt werden konnte, dass sie sich in weiten Teilen wie die Gesamtlandschaft entwickelt hat. Die Entwicklung der Auenlandschaft wird im wesentlichen durch einen Rückgang der Auwälder charakterisiert.

Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die Landschaftsentwicklung innerhalb des Regierungsbezirkes Leipzig als auch zwischen den einzelnen Landbedeckungsklassen sehr heterogen verlaufen ist. Der Wandel der politischen (und damit auch der landwirtschaftlichen) Rahmenbedingungen der beiden Zeiträume 1965 bis 1984 und 1984 bis 1994 lässt sich anhand einer z. T. sehr gegenläufigen Landschaftsentwicklung gut verfolgen.

Der Regierungsbezirk Leipzig wird zu allen drei Zeitpunkten von der Landwirtschaft (in der Bergbaulandschaft von Braunkohletagebauen) dominiert. Die nach 1965 beginnende starke Industrialisierung der Landwirtschaft führte in erster Linie zu negativen (nicht nur ökologisch) Entwicklungen, die sich anhand der Landschaftsstruktur erkennen lassen. Die Entwicklung der Landschaftsstruktur nach 1984 (bzw. nach der politischen Wende) ist in weiten Teilen als positiv zu bewerten, ohne allerdings die Gegebenheiten von 1965 auch nur annähernd zu erreichen.

Landschaftsmonitoring mit Hilfe der Fernerkundung und Geoinformation bietet die Möglichkeit große Landschaften vergleichsweise schnell und mit wenig Personalaufwand zu erfassen. Neben den Landschaftsstrukturmaßen entwickeln sich derzeit weitere Methoden der Landschaftsanalyse (Moving-Window-Technologie, Markov-Modelle, ...) deren Anwendung für zahlreiche ökologische Fragestellungen und raumplanerische Konzepte von Bedeutung sein werden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die derzeitigen Methoden und Techniken der Fernerkundung und Geoinformation geeignet sind, um ein Landschaftsmonitoring und eine Landschaftsbewertung anhand konkreter Indikatoren (Landschaftsstrukturmaße) durchzuführen.

10. Literaturverzeichnis

- AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDESPFLEGE (1984): Begriffe aus Ökologie, Umwelt und Landnutzung. Selbstverlag, Laufen/Salzach.
- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung – Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- ALTMAIER, A. & C. KANY (2002): CORONA - Satellitenbilder als Grundlage zur Erstellung Digitaler Höhenmodelle (DHM). Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation 3, S. 193-204.
- AMLER, K., BAHL, A., HENLE, K., KAULE, G., POSCHLOD, P. & J. SETTELE (Hrsg.) (1999): Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis – Isolation, Flächenbedarf und Biotopansprüche von Pflanzen und Tieren. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- APAN, A. A., RAINE, S. R. & M. S. PATERSON (2002): Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment, Queensland, Australia. Landscape and Urban Planning 59, S. 43-57.
- ARES, J., BERTILLER, M. & H. DEL VALLE (2002): Functional and structural landscape indicators of intensification, resilience and resistance in agroecosystems in southern Argentina based on remotely sensed data. Landscape Ecology 16, S. 221-234.
- BAKER, W. L. (1989): A review of models of landscape change. Landscape Ecology 2, S. 111-133.
- BASTIAN, O. & A. BERNHARDT (1993): Anthropogenic landscapes changes in Central Europe and the role of bioindication. Landscape Ecology 8, S. 139-151.
- BASTIAN, O. & K.-F. SCHREIBER (1999): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Spektrum-Verlag, Berlin.
- BERKNER, A. (1998): Naturraum und ausgewählte Geofaktoren im Mitteldeutschen Förderraum - Ausgangszustand, bergbaubedingte Veränderungen, Zielvorstellungen. In: PFLUG, W. (Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung: Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz. S. 767-779. Springer-Verlag, Heidelberg.
- BERNHARDT, A., HAASE, G., MANNSFELD, K., RICHTER, H. & R. SCHMIDT (1986): Naturräume der sächsischen Bezirke. Teil I. In: KULTURBUND DER DDR (Hrsg.): Sächsische Heimatblätter – Wissenschaftliche Zeitschrift der Bezirksvorstände Dresden, Karl-Marx-Stadt und Leipzig der Gesellschaft für Heimatgeschichte, für Denkmalpflege und Natur und Umwelt. Heft 3, S. 145-192.
- BLASCHKE, T. (1997): Landschaftsanalyse und –bewertung mit GIS – Methodische Untersuchungen zu Ökosystemforschung und Naturschutz am Beispiel der bayrischen Salzachauen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 243. Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag, Trier.
- BLASCHKE, T. (1998): Quantifizierung der Struktur einer Landschaft mit GIS: Potential und Probleme. URL: <http://www.geo.sbg.ac.at/staff/tblaschk/publications/dresden98.pdf>. Online am: 24.04.2002.
- BLASCHKE, T. (1999): Quantifizierung von Fragmentierung, Konnektivität und Biotopverbund mit GIS. URL: http://www.agit.at/papers/1999/blaschke_t_FP_14.pdf. Online am: 18.05.2002.

- BLASCHKE, T., CONRADI, M. & S. LANG (2001): Multi-scale analysis for ecological monitoring of heterogeneous, small structured landscapes. URL: http://www.geo.sbg.ac.at/staff/tblaschke/publications/Blaschke_et_al_Toulouse2001.pdf. Online am 24.04.2002.
- BLASCHKE, T. & G. J. HAY (2001): Object-oriented Image Analysis and Scale-space: Theory and Methods for Modeling and Evaluating Multiscale Landscape Structures. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 34, S. 22-29.
- BLASCHKE, T. & S. LANG (2000): GIS in Landschaftsökologie und Landschaftsplanung. UNIGIS MAS – UNIGIS professional. URL: <http://www.geo.sbg.ac.at/staff/lang/lv/GisLoek2000/091000.htm>. Online am: 09.04.2002.
- BLASCHKE, T. & J. STROBL (2001): What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. URL: <http://www.definiens-imaging.com/down/GIS200106012.pdf>. Online am 24.04.2002.
- CAIN, D. H., RITERS, K. & K. ORVIS (1997): A multi-scale analysis of landscape statistics. Landscape Ecology 122, S. 199-212.
- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (CCRS) (1998): CCRS Remote Sensing Tutorial. URL: <http://www.ccrs.nrcan.ca/ccrs/eduref/tutorial/indexe.html>. Online am 13.07.2002.
- DER BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (o. J.): Umweltpolitik. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro: Dokumente: Klimakonventionen, Konventionen über die biologische Vielfalt, Rio-Deklaration, Walderklärung. Bonn.
- DRAMSTAD, W. E., FJELLSTAD, W. J. & G. L. A. FRY (1998): Landscape indices - useful or misleading numbers? In: IALE (UK) (Hrsg.): Key Concepts in Landscape Ecology. S. 63-68.
- DRAMSTAD, W. E., FRY, G. L. A., FJELLSTAD, W. J., SKAR, B., HELLIKSEN, W., SOLLUND, M.-L. B., TVEIT, M. S., GEELMUYDEN, A. K. & E. FRAMSTAD (2001): Integrating landscape-based values - Norwegian monitoring of agricultural landscapes. Landscape And Urban Planning 57, S. 257-268.
- ECKART, K. & H.-F. WOLLKOPF (1994): Landwirtschaft in Deutschland - Veränderungen der regionalen Agrarstruktur in Deutschland zwischen 1960 und 1992. BUCHHOLZ, H. J., GRIMM, F. & INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE (Hrsg.): Beiträge zur regionalen Geographie, 36. Selbstverlag, Leipzig.
- EHRIG, A. (1998): Landschaftsmonitoring im Südraum Leipzig. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock.
- ENGEL, H. & M. MÜRLEBACH (1986): Hochwasserretention am Rhein – mögliche Maßnahmen und deren Auswirkungen. BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg.): Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 2 / 3, Koblenz.
- FORMAN, R. T. T. (1995): Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge.
- FORMAN, R. T. T. & M. GODRON (1986): Landscape Ecology. John Willey and Sons, New York & Chichester.
- FRANKLIN, S. E., DICKSON, E. E., FARR, D. R., HANSEN, M. J. & L. M. MOSKAL (2000): The Forestry Chronicle 76, S. 877-886.

- FRITSCH, U. (2002): Entwicklung von Landnutzungsszenarien für landschaftsökologische Fragestellungen. Brandenburgische Umweltberichte 12, Potsdam.
- GARDNER, H. R., O'NEILL, R. V. & M. G. TURNER (1993): Ecological implications of landscape fragmentation. In: PICKETT, S. T. A. & M. J. MCDONNELL (Hrsg.): Humans as components of ecosystems: Subtle human effects and the ecology of populated areas. S. 208-226. Fischer-Verlag, New York.
- GRIFFITH, J. A., MARTINKO, E. A. & K. P. PRICE (2000): Landscape structure analysis of Kansas at three scales. *Landscape and Urban Planning* 52, S. 45-61.
- GUSTAFSON, E. J. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* 1, S. 143-156.
- GUSTAFSON, E. J. & G. R. PARKER (1992): Relationship between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* 7, S. 101-110.
- HABER, W. (1995): Landschaft. In: AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (Hrsg.): Handwörterbuch der Raumordnung. S. 597-620. Verlag der ARL, Hannover.
- HAHN-HERSE, G. & M. BÄUERLE (1979a): Landschaftswandel durch Agrarstrukturwandel. Teil 1: Die Dezimierung der schleswig-holsteinischen Wallhecken durch Flurbereinigung. *Garten und Landschaft* 8, S. 606-614.
- HAHN-HERSE, G. & M. BÄUERLE (1979b): Landschaftswandel durch Agrarstrukturwandel. Teil 2: Wie kann die Dezimierung der schleswig-holsteinischen Wallhecken aufgehalten werden? *Garten und Landschaft* 10, S. 772-780.
- HAINES-YOUNG, R. & M. CHOPPING (1996): Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress in Physical Geography* 20 (4), S. 418-445.
- HANSEN, A. J., RISSER, P. G. & F. DI CASTRI (1992): Epilogue: Biodiversity and Ecological Flows across Ecotones. In: HANSEN, A. J. & F. DI CASTRI (Hrsg.) (1992): *Landscape Boundaries - Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. S. 423-438. Springer-Verlag, Heidelberg.
- HARGIS, C. D., BISSONETTE, J. A. & J. L. DAVID (1998): The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology* 13, S. 167-186.
- HATHOUT, S. (1988): Land use change analysis and prediction of the suburban corridor of Winnipeg, Manitoba. *Journal of Environmental Management* 27, S. 325-335.
- HEINZ, V. (1998): Ausgewählte Fernerkundungsmethoden zur Erfassung von Urbanisierungsprozessen. In: BANZAF, E. & H. D. KASPERDIUS (Hrsg.): *Erfassung und Bewertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationsverarbeitung im Raum Leipzig*. UFZ-Bericht 2 / 98, S. 113-126.
- HERZOG, F. & A. LAUSCH (1999): Prospects and limitations of the application of landscape metrics for landscape monitoring. In: MAUDSLEY, M. & J. MARSHALL (Hrsg.) (1999): *Heterogeneity in landscape ecology: Pattern and Scale*. S. 41-50. Aberdeen.
- HERZOG, F. & A. LAUSCH (2001): Supplementing land-use statistics with landscape metrics: some methodological considerations. *Environmental Monitoring and Assessment* 72, S. 37-50.

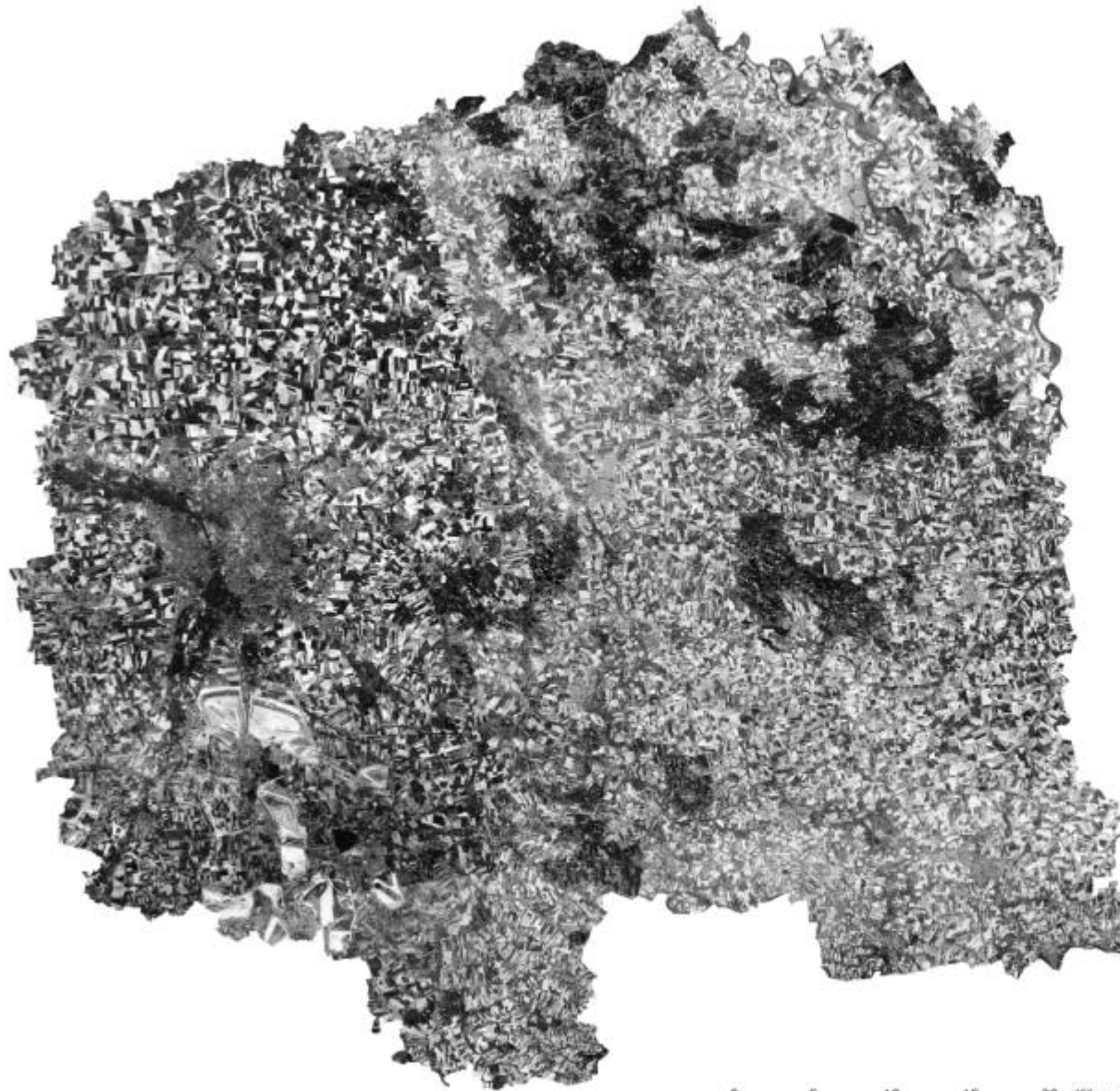
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- HOFMANN, P. (2001): Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis - an example from Cape Town (South Africa). In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): Remote Sensing of Urban Areas / Fernerkundung in urbanen Räumen. = Regensburger Geographische Schriften, Heft 35, S. 41-42. Regensburg.
- HULSHOFF, R. M. (1995): Landscape indices describing a dutch landscape. *Landscape Ecology* 10, S. 101-111.
- JEDICKE, E. (1990): Biotpverbund. Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- JENTSCH, A. (2002): Einfluss der Landschaftsstruktur auf das Vorkommen von ausgewählten Vogelarten in Sachsen. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Landespflege der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.
- JONGMAN, R. H. G. (2002): Homogenisation and fragmentation of the european landscape: ecological consequences and solutions. *Landscape and Urban Planning* 58, S. 211-221.
- KOWALKE, H. (2000): Staatsentwicklung und Verwaltungsgliederung Sachsens. In: KOWALKE, H. (Hrsg.): Sachsen - Perthes Länderprofile: geographische Strukturen, Entwicklungen, Probleme. S. 31-48. Klett-Perthes Verlag, Gotha.
- KRUMMEL, J. R., GARDNER, R. H., O'NEILL, R. V. & P. R. COLEMAN (1987): Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* 48, S. 321-324.
- KÜSTER, S. (2003): Untersuchungen raum-zeitlicher Veränderungen der Landschaftsstruktur und deren Einfluss auf die Verbreitung ausgewählter Vogelarten im Regierungsbezirk Leipzig. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Leipzig.
- LAUSCH, A. (1999a): Flächenmonitoring in der Bergbaufolgelandschaft "Südraum Leipzig" als Grundlage raum-zeitlicher Änderungsanalysen von Biotop- und Flächennutzungsstrukturen. URL: http://www.ufz.de/spb/aloe/lausch/Veroffentlichung_limn_2000_lausch.pdf Online am 24.04.2002.
- LAUSCH, A. (1999b): Möglichkeiten und Grenzen der Einbeziehung von Fernerkundungsdaten zur Analyse von Indikatoren der Landschaftsstruktur – Beispielregion Südraum Leipzig. In: STEINHARDT, U. & M. VOLK (1999): Regionalisierung in der Landschaftsökologie – Forschung – Planung – Praxis. S. 162-179. Stuttgart.
- LAUSCH, A. (2000a): Raum-zeitliches Monitoring von Landschaftsstrukturen in der Tagebauregion Südraum Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation. UFZ-Bericht, 12 / 2000. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig, Selbstverlag.
- LAUSCH, A. (2000b): Erfassung und Analyse von Landschaftsstrukturmustern und deren Veränderungen in der Tagebaufolgelandschaft des Südraumes Leipzig mit Methoden der Geoinformation und der Fernerkundung. URL: http://www.ioer.de/IALE/t00_v03.htm. Online am 08.05.2002.
- Lausch, A. & G. Menz (1999): Bedeutung der Integration linearer Elemente in Fernerkundungsdaten zur Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation* 3, S. 185-194.

- LAUSCH, A. & H. H. THULKE (2001): The analysis of spatio-temporal dynamics of landscape structures. In: KRÖNERT, R., STEINHARDT, U. & M. VOLK (Hrsg.) (2001): Landscape Balance and Landscape Assessment. S. 113-136. Springer-Verlag, Heidelberg.
- LESER, H., HAAS, H.-D., MOSIMANN, T. & R. PAESLER (1993): Diercke – Wörterbuch der allgemeinen Geographie. Deutscher Taschenbuch Verlag, München.
- LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER (1994): Remote sensing and image interpretation. Wiley & Sons Inc., United States of America.
- MANNFELD, K. & H. RICHTER (1995): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 238. Zentralausschuß für deutsche Landeskunde. Selbstverlag, Trier.
- MCDONALD R. A. (1995a): Opening the Cold War sky to the public: declassifying satellite reconnaissance imagery. Photogrammetric engineering and remote sensing 61, S. 385-390.
- MCDONALD R. A. (1995b): CORONA: Success for space reconnaissance, a look into the Cold War and a revolution for intelligence. Photogrammetric engineering and remote sensing 61, S. 689-719.
- MCGARIGAL, K. & B. J. MARKS (1994): FRAGSTATS-Spatial pattern Analysis Program for quantifying landscape structure. Version 2.0. Corvallis.
- MCGARIGAL, K. & C. HOLMES (2000): FRAGSTATS-Spatial pattern Analysis Program for Categorical Maps. Version 3.3. Corvallis.
- MENZ, G. (1997): Landschaftsmaße und Fernerkundung - neue Instrumente für die Umweltforschung. Geographische Rundschau 49, S. 1-7.
- MILLER, J. N. BROOKS, R. P. & M. J. CROONQUIST (1997): Effects of landscape pattern on biotic communities. Landscape Ecology, 12, S. 137-153.
- NEUBERT, M. (1999): GIS-gestützte Untersuchung des Landschaftswandels. Auswertung von ATKIS-Daten und historischen topographischen Karten in einem Beispielraum der TK 25 Pirna. URL: <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/%7Emneubert/beleg.htm>. Online am 22.07.2002.
- O'NEILL, R. V. KRUMMEL, J. R., GARDNER, R. H., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DEANGELIS, D. L., MILNE, B. T., TURNER, M. G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S. W., DALE, V. H. & R. L. GRAHAM (1988): Indices of landscape pattern. Landscape Ecology 1, S. 153-162.
- PRINZ, T. (1999): Einführung in die digitale Fernerkundungsmethodik in den Geowissenschaften. Vorlesung der IVV Geowissenschaften der WWU Münster. URL: http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE_Script/Start.html. Online am 11.09.2001.
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (1999) (Hrsg.): Landschaftsrahmenplanung in Westsachsen. Selbstverlag, Leipzig.
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (RPW) (2001) (Hrsg.): Regionalplan Westsachsen. Selbstverlag, Leipzig.
- RIITERS, K. H., O'NEILL, R. V., HUNSACKER, C. T., WICKHAM, J. D., YANKEE, D. H., TIMMINS, S. P., JONES, K. B. & B. L. JACKSON (1995): A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. Landscape Ecology 10, S. 23-39.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (1994): Umweltgutachten 1994 - Kurzfassung. URL: <http://www.umweltrat.de/gutach94.htm>. Online am 13.05.2002.

- SCHALLENBERG, K. (2001): Monitoring von Stadtstrukturen unter Anwendung der Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaßen. Unveröffentlichte Diplomarbeit des Geographischen Instituts der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- SCHLÜTER, H. (1991): Der Natürlichkeitsgrad der Vegetation als Indikator der ökologischen Stabilität. In: Institut für Geographie und Geoökologie Leipzig (Hrsg.): Ausgewählte geoökologische Entwicklungsbedingungen Nordwestsachsens - (ehemaliger Bezirk Leipzig). S. 51-68. Selbstverlag, Leipzig.
- SCHMIDT, R. & M. RICKMANN (1998): Naturräumliche Grundlagen des Landschaftsmonitorings. Eberswalder wissenschaftliche Schriften 2, S. 27-34, Eberswalde.
- SCHÖPFER, E. (2001): Die Analyse der Siedlungsentwicklung südlich der Stadt Salzburg anhand multitemporaler Fernerkundungsdaten von 1953 bis 1995. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn. URL: http://www.definiens-imaging.com/down/diplomarbeit_schoepfer.pdf. Online am 23.07.2002.
- SCHWARZ, M., STEINMEIER, C. H. & L. WASER (2001): Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodic approaches using high-resolution satellite data. URL: <http://www.definiens-imaging.com/down/storm%20loss%20detection.pdf>. Online am: 23.07.2002.
- STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2001): Sächsische Gemeindestatistik - ausgewählte Strukturdaten Ausgabe 2001. Selbstverlag, Kamenz.
- STEFFENS, R., SAEMANN, D. & K. GRÖSSLER (1998) (Hrsg.): Die Vogelwelt Sachsens. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- SYRBE, R.-U. (2000): Forschungsschwerpunkt Landschaftsmonitoring. URL: <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~syrbe/jbmonit.htm>. Online am 22.07.2002.
- TAYLOR, P. D. (2002): Fragmentation and cultural landscapes: tightening the relationship between human beings and the environment. *Landscape and Urban Planning*, 58, S. 93-99.
- TISCHENDORF, L. (2001): Can landscape indices predict ecological processes consistently? *Landscape Ecology* 16, S. 235-254.
- THOMASIU, H. & U. HÄFKER (1998): Forstwirtschaftliche Rekultivierung. In: PFLUG, W.(Hrsg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung: Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz. S. 839-872. Springer-Verlag, Heidelberg.
- TRAUB, B. & C. KLEINN (1999): Zur Erfassung von Flächenfragmentierung und struktureller Diversität - measuring Fragmentation and structural Diversity. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt (German Journal of Forest Science)* 118, S. 39-50.
- TRAXLER, A. (1998): Handbuch des Vegetationsökologischen Monitorings. Teil A: Methoden. Umweltbundesamt Wien.
- TURNER, M. G. (1989): Landscape ecology: the effect of pattern and process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20, S. 171-197.
- TURNER, M. G. (1990): Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 4 (1), S. 21-30.
- TURNER, M. G. & R. H. GARDNER (1991): Quantitative methods in landscape ecology. Springer-Verlag, New York.

-
- TURNER, M. G., R. H. GARDNER & R. V. O'NEILL (2001): *Landscape Ecology in Theory and Practice – Pattern and Process*. Springer-Verlag, New York.
- TURNER, M. G., O'NEILL, R. V., GARDNER, R. H. & B. T. MILNE (1989): Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology* 3 (3), S. 153-162.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS) (2002): CORONA Satellite Photography. URL: <http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/giude/disp>. Online am 02.05.2002.
- URBAN, D. L., O'NEILL, V. O. & H. H. SHUGART (1987): Landscape ecology: A hierarchical perspective can help scientist understand spatial pattern. *BioScience* 37, S. 119-127.
- VOGLER, E., SCHMIDT, M. & G. SAUPE (1998): Landwirtschaftliche Rekultivierung. In: PFLUG, W. (Hrsg.): *Braunkohlentagebau und Rekultivierung: Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*. S. 828-838. Springer-Verlag, Heidelberg.
- WALZ, U. (2001): *Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satelliten-Fernerkundung und der Geoinformation*. Logos-Verlag, Berlin.
- WICKHAM, J. D., O'NEILL, R. V., RITERS, K. H., WADE, T. G. & K. B. JONES (1997): Sensitivity of selected landscape pattern metrics to land-cover misclassification and differences in land-cover composition. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 63, S. 397-402.
- WIENS, J. (1989): *The ecology of bird communities*. Vol. 2 – processes and variations. Cambridge.

..... **ANHANG A: KARTEN**



0 5 10 15 20 Kilometer

Regierungsbezirk Leipzig

CORONA - Aufnahme vom 03.05.1965

- panchromatisch -

Beispiele für Landnutzungstypen:



Wald



Siedlung



Tagebau



landwirtschaftliche Nutzflächen



Karte 1

Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirks Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation

Bearbeitung: Johannes Horstkötter

Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie



Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle
Sektion: Angewandte Landschaftsökologie



Maßstab: 1 : 600.000 (Übersichtskarte)

Quelle: CORONA vom 03.05.1965
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle GmbH

Regierungsbezirk Leipzig

Landsat - TM vom 20.04.1984

Kanalkombination: Kanal 1: rot
Kanal 2: grün
Kanal 3: blau

Beispiele für Landnutzungstypen:



Wald



Siedlung



Tagebau



landwirtschaftliche Nutzf

Karte 2

Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirkes Leipzig mit Methoden der Fern- und Geoinformation

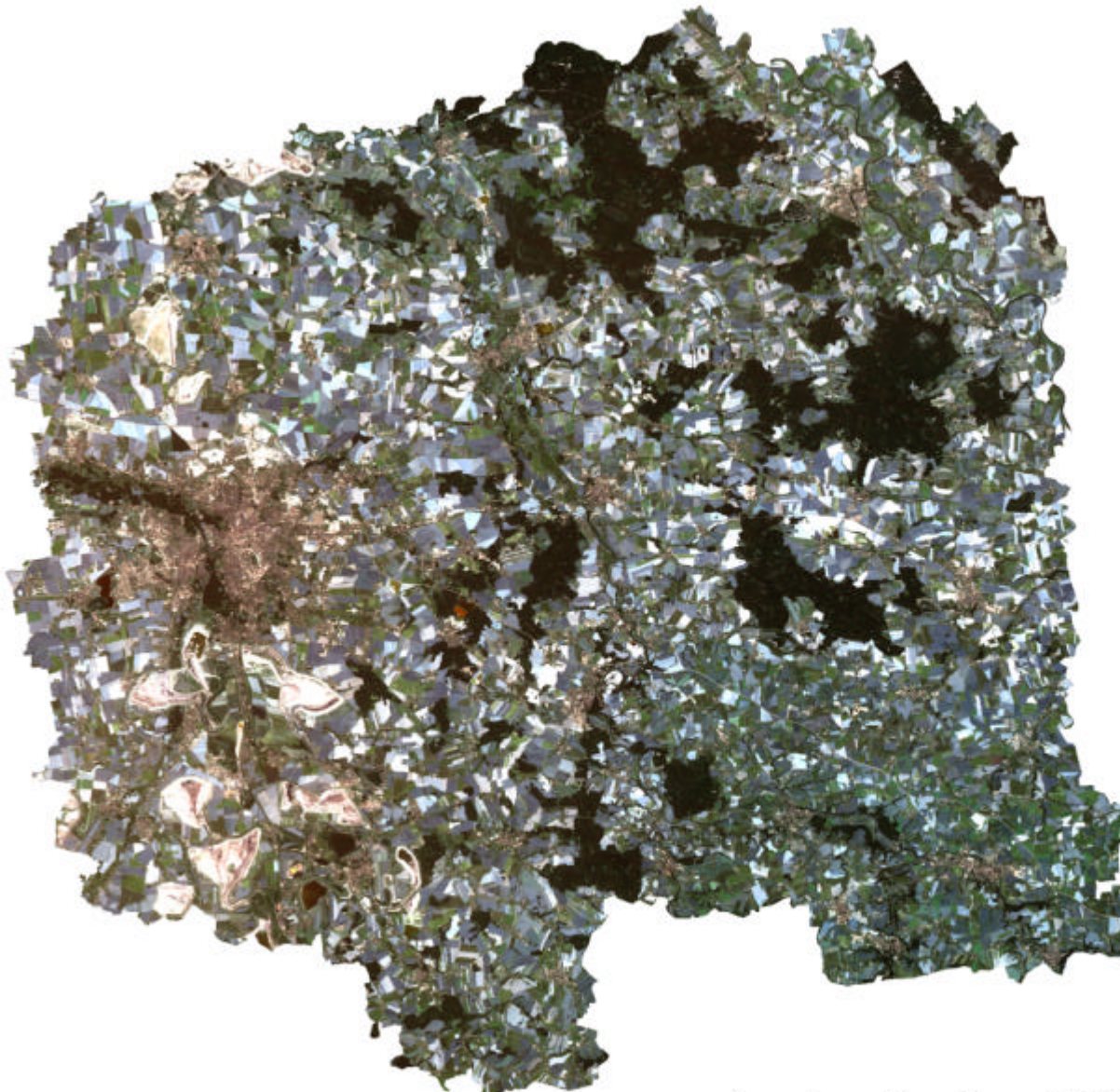
Bearbeitung: Johannes Horstkötter

Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie

Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle
Sektion: Angewandte Landschaftsökologie

Maßstab: 1 : 600.000 (Übersichtskarte)

0 5 10 15 20 Kilometer



0 5 10 15 20 Kilometer

Regierungsbezirk Leipzig

Landsat - TM vom 21.07.1994

Kanalkombination: Kanal 1: rot
Kanal 2: grün
Kanal 3: blau

Beispiele für Landnutzungstypen:



Wald



Siedlung



Tagebau



landwirtschaftliche Nutzflächen



Karte 3

Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirks Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation

Bearbeitung: Johannes Horstkötter

Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie



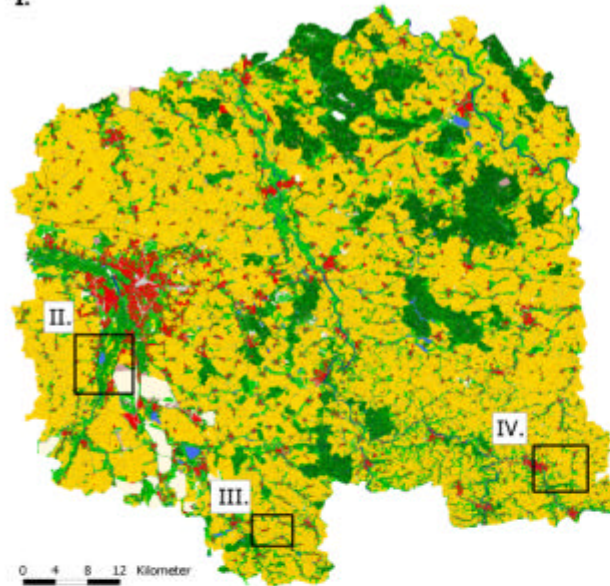
Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle
Sektion: Angewandte Landschaftsökologie



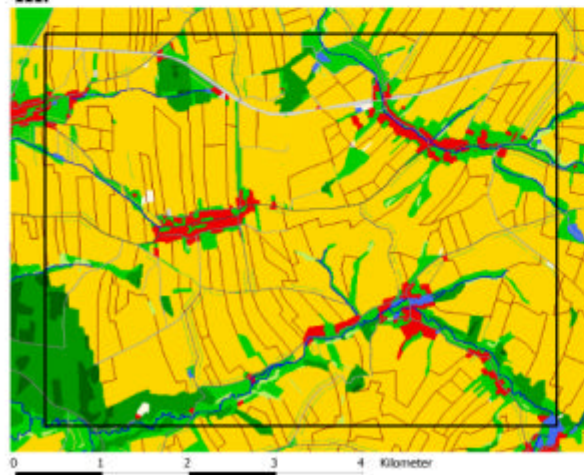
Maßstab: 1 : 600.000 (Übersichtskarte)

Quelle: Landsat-TM 21.07.1994
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle GmbH

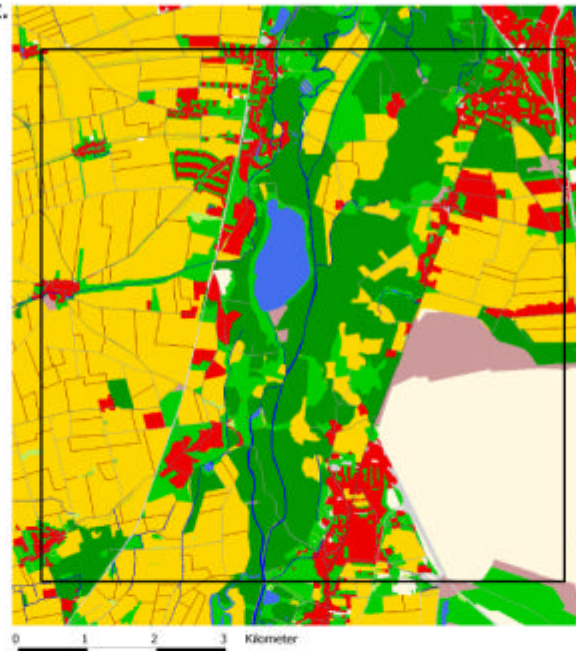
I.



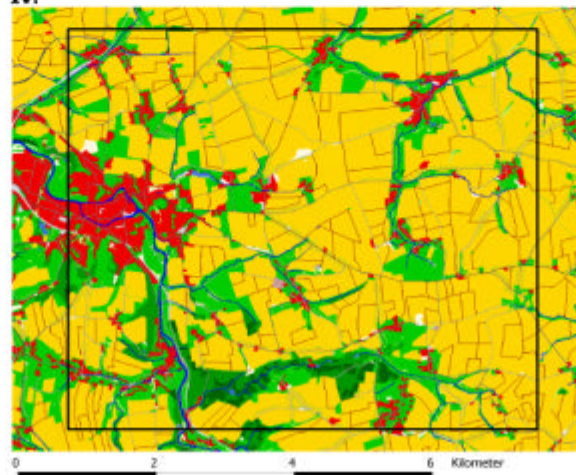
III.



II.



IV.



Regierungsbezirk Leipzig

Biotoptypen und Landnutzung 1965

Biotoptypen und Landnutzungsklassen

- Fließgewässer
- Stillgewässer
- Hoch- & Niedermoor
- Wirtschaftsgrünland / Grünflächen
- offene Fläche / Heide
- Gehölz / Einzelbaum
- Baumreihe / Hecke
- laubbaumdominierter Wald
- nadelbaumdominierter Wald
- Acker
- Bebauungsfläche
- anthropogen genutzte Sonderfläche
- Autobahn
- Bundes- & Landstraße
- sonstige Straße
- Wirtschaftsweg
- sonstige Verkehrsfläche
- Ackergrenze
- Grünlandgrenze

Karte 4



Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirkes Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation

Bearbeitung: Johannes Horstkötter (Layout)
Silvia Küster & Angelika Jentsch (inhaltlich)

Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität Münster
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie

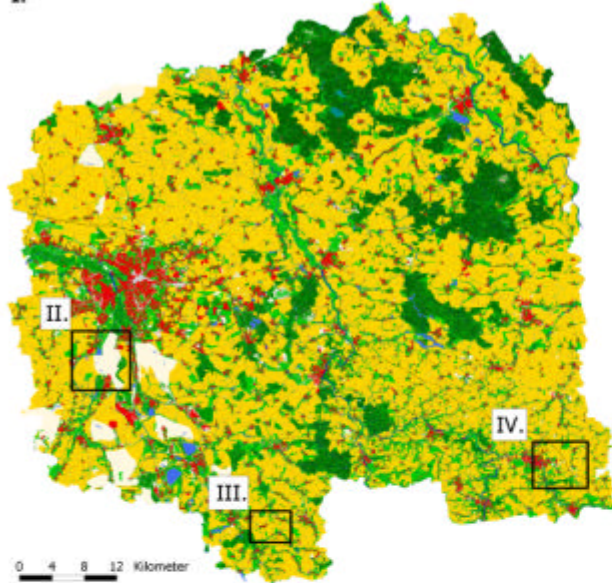


Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle GmbH
Sektion: Angewandte Landschaftsökologie

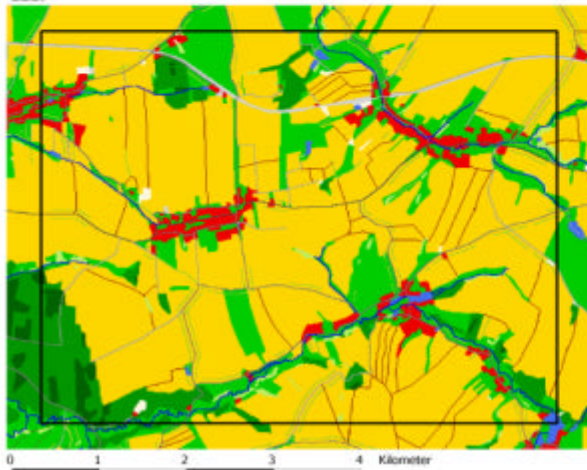


Quelle: - Regierungsbezirk Leipzig - Biotoptypen und Landnutzungsklassen 1964 (eigene Bearbeitung)
- CORONA - Aufnahmen vom 03.05.1965

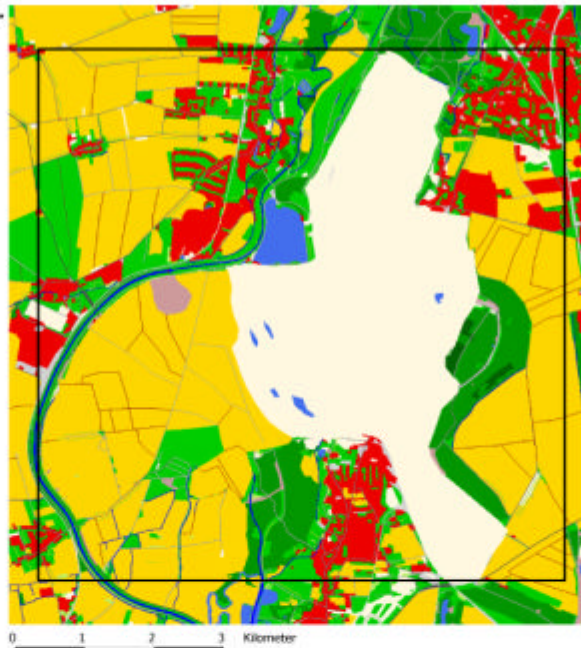
I.



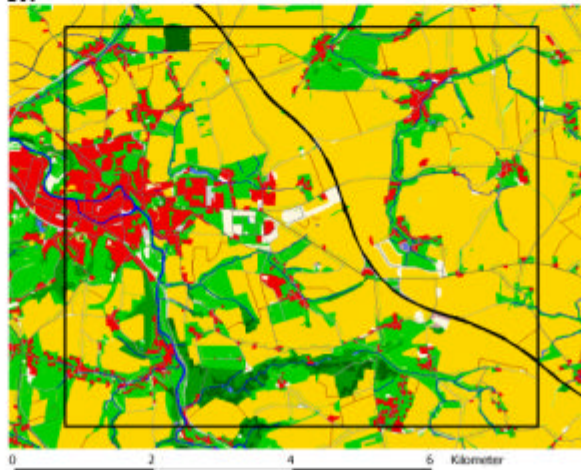
III.



II.



IV.



Regierungsbezirk Leipzig

Biotoptypen und Landnutzung 1984

Biotoptypen und Landnutzungsklassen

- Fließgewässer
- Stillgewässer
- Hoch- & Niedermoor
- Wirtschaftsgrünland / Grünflächen
- offene Fläche / Heide
- Gehölz / Einzelbaum
- Baumreihe / Hecke
- laubbaumdominierter Wald
- nadelbaumdominierter Wald
- Acker
- Bebauungsfläche
- anthropogen genutzte Sonderfläche
- Autobahn
- Bundes- & Landstraße
- sonstige Straße
- Wirtschaftsweg
- sonstige Verkehrsfläche
- Ackergrenze
- Grünlandgrenze

Karte 5



Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirkes Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation

Bearbeitung: Johannes Horstkötter

Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität Münster
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie

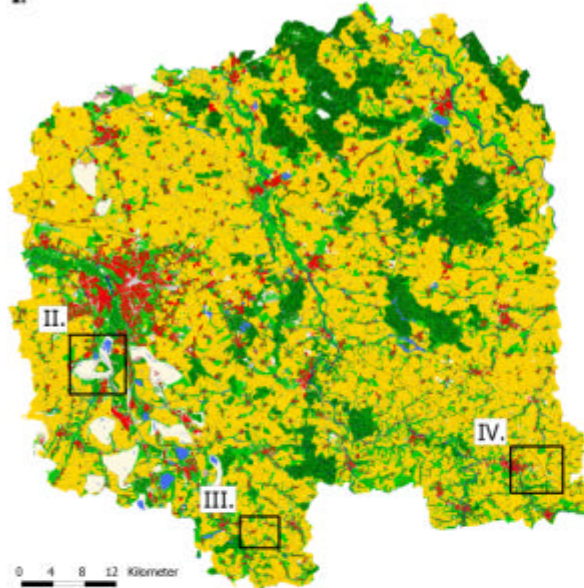


Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle GmbH
Sektion: Angewandte Landschaftsökologie



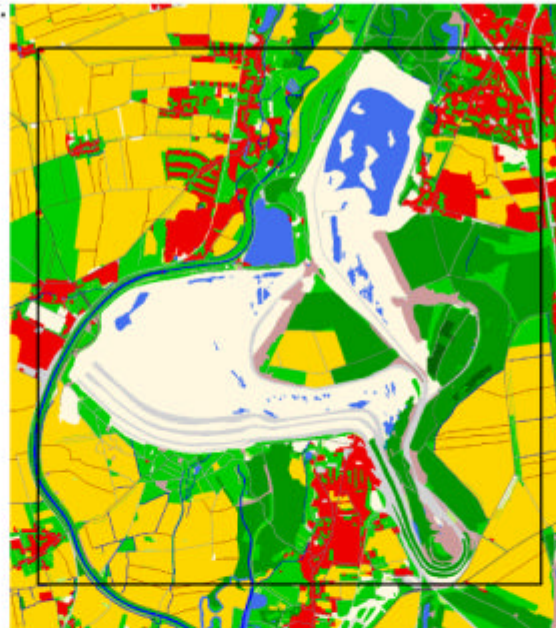
Quelle: - Regierungsbezirk Leipzig - Biotoptypen und Landnutzungsklassen 1994 (Karte 6)

I.



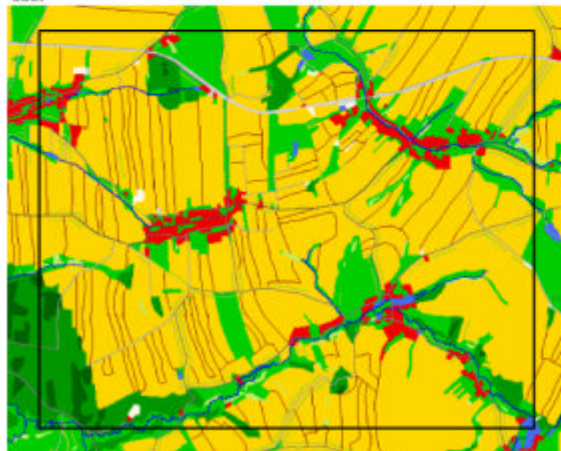
0 4 8 12 Kilometer

II.



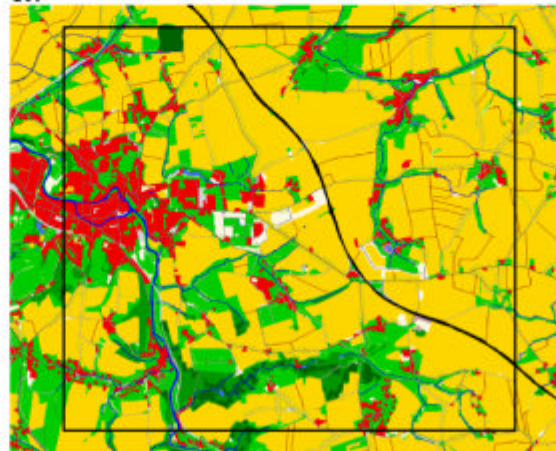
0 1 2 3 Kilometer

III.



0 1 2 3 4 Kilometer

IV.



0 2 4 6 Kilometer

Regierungsbezirk Leipzig

Biotypen und Landnutzung 1994

- I.: Übersichtskarte
- II.: Detailkarte Tagebau
- III.: Detailkarte Acker
- IV.: Detailkarte Siedlung

Biotypen und Landnutzungsklassen

- Fließgewässer
- Stillgewässer
- Hoch- & Niedermoor
- Wirtschaftsgrünland / Grünflächen
- offene Fläche / Heide
- Gehölz / Einzelbaum
- Baumreihe / Hecke
- laubbaumdominierter Wald
- nadelbaumdominierter Wald
- Acker
- Bebauungsfläche
- anthropogen genutzte Sonderfläche
- Autobahn
- Bundes- & Landstraße
- sonstige Straße
- Wirtschaftsweg
- sonstige Verkehrsfläche
- Ackergrenze
- Grünlandgrenze



Karte 6

Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirks Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation

Bearbeitung: Johannes Horstkötter

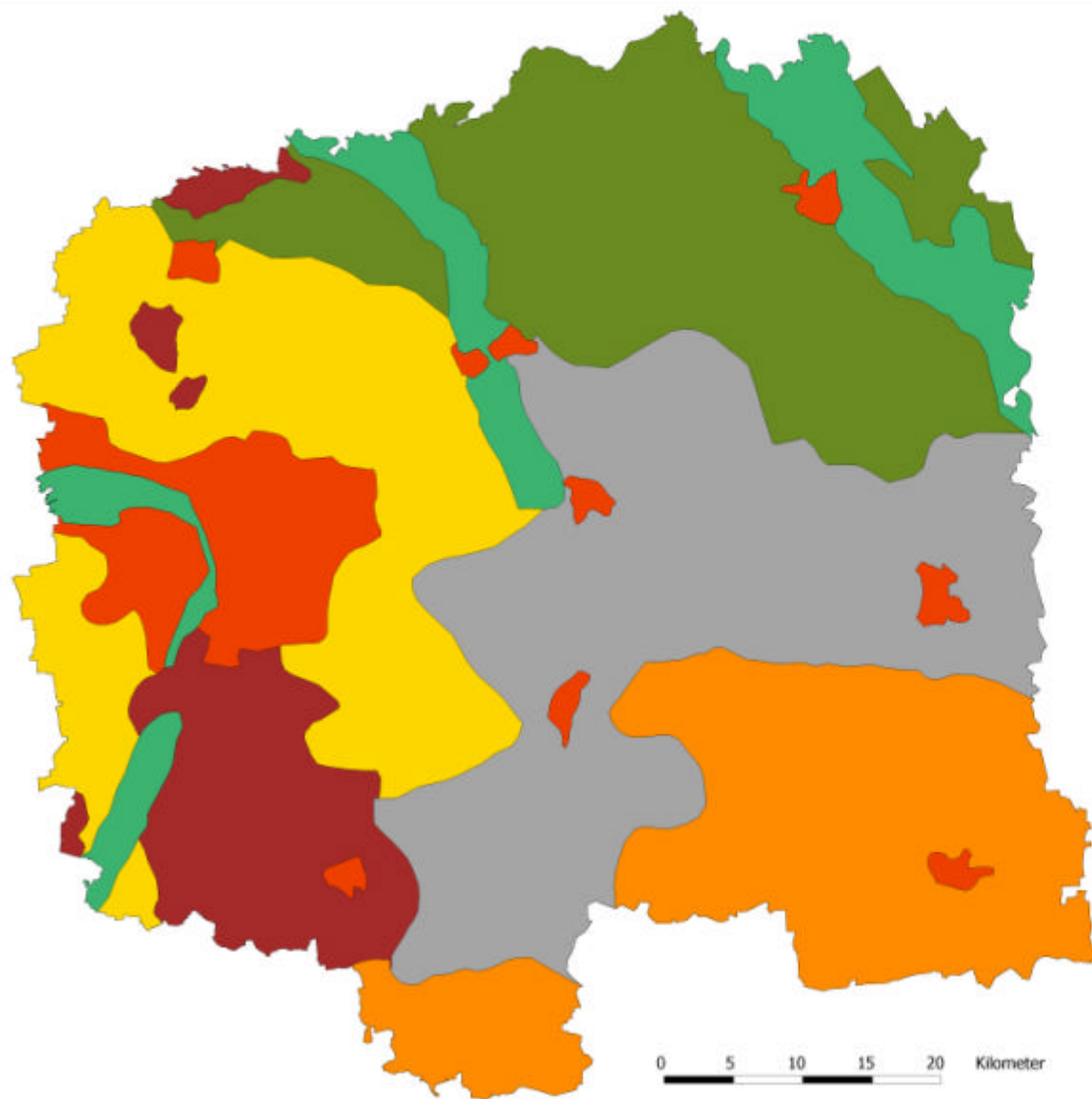
Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie



Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle
Sektion: Angewandte Landschaftsökologie



Datengrundlage: - Biotypenkartierung Sachsen 1993, 1 : 10.000
Landesamt für Umwelt und Geologie, Radbeul
- Landsat-TM vom 21.07.1994



Regierungsbezirk Leipzig

Naturräume

- Naturräume
- Auenlandschaft
 - Bergbaulandschaft
 - Heidelandschaft
 - Lößhügellandschaft
 - Porphyrhügellandschaft
 - Sandlöß-Ackerlandschaft
 - urbane Landschaft



Karte 7

Diplomarbeit: Untersuchungen zur Landschaftsstruktur des Regierungsbezirkes Leipzig mit Methoden der Fernerkundung und Geoinformation

Bearbeitung: Johannes Horstkötter

Betreuung: Prof. Dr. G. Schulte
Westfälische Wilhelms - Universität
Münster
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Landschaftsökologie



Dr. A. Lausch
Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle
GmbH
Sektion Angewandte Landschaftsökologie



Maßstab: 1 : 550.000

Quelle: Regionaler Planungsverband Westsachsen
Regionale Planungsstelle Leipzig (2002)

..... **ANHANG B: FRAGSTATS – FORMELN**

FLÄCHEN- UND DICHTEMAßE

Formelnummer	Klassenebene	Landschaftsebene
Formel 1	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right) [\text{ha}]$	
Formel 2		$TA = A \left(\frac{1}{10.000} \right) [\text{ha}]$
Formel 3	$\% \text{ LAND} = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100) [\%]$	
Formel 4 & 5	$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100) [\%]$	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100) [\%]$
Formel 6 & 7	$NP = n_i [\#]$	$NP = N [\#]$
Formel 8 & 9	$PD = \frac{n_i}{A} (10.000)(100) [\# / 100 \text{ ha}]$	$PD = \frac{N}{A} (10.000)(100) [\# / 100 \text{ ha}]$
Formel 10 & 11	$AREA_MN = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} [\text{ha}]$	$AREA_MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{N} [\text{ha}]$
Formel 12 & 13	$AREA_CV = \frac{\frac{a_{ij} - a_i}{s_i}}{\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}} (100) [\%]$	$AREA_CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[a_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{N} \right]^2}}{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{N}} (100) [\%]$

KANTENMAßE

Formelnummer	Klassenebene	Landschaftsebene
Formel 14 & 15	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (100.000) \text{ [m / ha]}$	$ED = \frac{E}{A} (100.000) \text{ [m / ha]}$

MAßE DER FORM UND GESTALT

Formelnummer	Klassenebene	Landschaftsebene
Formel 16 & 17	$LSI = \frac{0,25 \sum_{k=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}} \text{ [#]}$	$LSI = \frac{0,25E}{\sqrt{A}} \text{ [#]}$

MAßE DER NÄCHSTEN NACHBARSCHAFT

Formelnummer	Klassenebene	Landschaftsebene
Formel 18 & 19	$ENN_MN = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n_i} \text{ [m]}$	$ENN_MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N} \text{ [m]}$
Formel 20 & 21	$ENN_CV = \frac{\frac{h_{ij} - h_i}{s_i}}{\frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n_i}} (100) \text{ [%]}$	$ENN_CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[h_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N} \right]^2}{N}}}{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N}} (100) \text{ [%]}$

MAßE DER DIVERSITÄT UND VERTEILUNG

Formelnummer	Klassenebene	Landschaftsebene
Formel 24 & 25	$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} (100) [\%]$	$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(0,5[m(m-1)])} (100) [\%]$
Formel 26		$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) [\#]$

MAßE DER TRENNUNG

Formelnummer	Klassenebene	Landschaftsebene
Formel 27 & 28	$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2} [\#]$	$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2} [\#]$
Formel 29 & 30	$MESH = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} [\text{ha}]$	$MESH = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} [\text{ha}]$

Verwendete Symbole:

- A = Gesamtfläche der Landschaft [m²]
- a_{ij} = Fläche eines Patches ij [m²]
- e_{ik} = Gesamtlänge [m] der Kanten zwischen den Patchtypen (Klassen) i und k
- E = Gesamtlänge der Kanten in der Landschaft [m]
- h_{ij} = Distanz [m] zwischen Patch ij zum nächsten Nachbarschaftspatch gleicher Klasse
- m = Anzahl der Patchtypen (Klassen), die in der Klasse vorhanden sind
- N = Gesamtzahl der Patches in der Landschaft
- n_i = Anzahl der Patches in der Landschaft vom Patchtyp (Klasse) i
- i = m Patchtypen (Klassen)
- j = n Patchtyp
- k = Patchtyp

..... **ANHANG C: SCRIPT**

AML-Script zum automatischen Ausschneiden der 31 Teilflächen der Naturraumeinheiten der drei Untersuchungszeitschnitte:

verändert nach WALZ (2001)

```
&type
&sv input = [response 'Name des auszuwertenden Raster-Files']
&type %input%
&sv landscape = [response 'File mit Landschaftseinheiten']
&sv l_item = [response 'items das Landschaften beschreibt']
&sv xa = [response 'Anfangsloop']
&sv xe = [response 'maximale Anzahl der Landschaften']
&type %landscape%
&do i = %xa% &to %xe%
&stat 9999
arcplot
reselect %landscape% poly %l_item% = %i%
mapex %landscape%
polys %landscape%
writeselect seltemp%i%.tab
quit
reselect %landscape% temp%i% # seltemp%i%.tab
grid
setwindow temp%i%
temp_grid%i% = selectpolygon (%input%, temp%i%, inside)
q
gridimage temp_grid%i% # erdas%i% erdas
kill temp%i%
kill temp_grid%i%
&end
&return
```

/* Name des auszuwertenden Rasterfiles:	Landnutzungskarten von 1965, 1984 & 1994 im GRID – Format
/* File mit Landschaftseinheiten:	Vektordatensatz der Naturraumgrenzen
/* items, das Landschaften beschreibt:	Spalte in der Attributtabelle des Vektordatensatzes, die die laufende Nummer der Naturräume enthält (1 – 31)
/* Anfangsloop:	1
/* maximale Anzahl der Landschaften:	31

„ausschn.aml“

..... **ANHANG D: LANDSCHAFTSSTRUKTURMAßE**

Tab. 10: Landschaftsstrukturmaße der Gesamtlandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Landschaftsebene.

Jahr	Flächenmaße						Kantenmaß ED	Formmaß LSI	Diversitäts- u. Verteilungsmaße	
	TA	LPI	NP	PD	AREA_MN	AREA_CV			IJI	SHDI
1965	440985,94	2,47	433763	98,36	1,02	1716,85	196,01	327,44	69,74	1,61
1984	440975,39	3,56	218878	49,64	2,01	1761,16	169,16	282,86	73,60	1,63
1994	440976,08	3,73	267900	60,75	1,65	2006,85	181,00	302,52	73,72	1,67

Tab. 11: Landschaftsstrukturmaße der Naturräume des Regierungsbezirkes Leipzig auf Landschaftsebene [Naturraum 1 = Lößhügellandschaft, Naturraum 2 = Bergbaulandschaft, Naturraum 3 = Porphyrhügellandschaft, Naturraum 4 = Auenlandschaft, Naturraum 5 = Heidelandschaft, Naturraum 6 = Sandlöß-Ackerlandschaft, Naturraum 7 = urbane Landschaft].

Jahr	Naturraum	Flächenmaße						Kantenmaß ED	Formmaß LSI	Nachbarschaftsmaße		Diversitäts- u. Verteilungsmaße	
		TA	LPI	NP	PD	AREA_MN	AREA_CV			ENN_MN	ENN_CV	IJI	SHDI
1965	1	12487,75	1,96	29971	126,44	0,80	568,87	234,27	92,29	29,34	298,49	64,33	1,31
1965	2	421,39	19,92	7017	119,55	0,91	952,07	124,83	22,15	21,96	260,22	60,18	1,16
1965	3	31200,40	1,86	33694	98,95	1,02	553,21	212,05	99,70	30,58	300,16	68,44	1,54
1965	4	3689,79	2,36	10733	118,30	0,86	560,83	210,19	48,92	32,78	348,89	68,06	1,51
1965	5	6793,57	1,49	24171	92,30	1,09	537,67	173,10	67,13	30,19	386,20	67,90	1,52
1965	6	1499,88	1,99	19001	107,41	0,94	500,03	177,22	57,07	28,84	413,65	56,99	0,97
1965	7	388,93	7,79	2248	85,85	1,19	413,81	210,76	22,79	46,46	277,23	64,06	1,56
1984	1	12485,22	3,68	16941	67,98	1,47	677,81	198,92	79,27	42,40	274,01	68,52	1,34
1984	2	421,39	31,95	3528	49,38	2,38	983,02	93,22	19,29	42,09	399,58	59,49	1,22
1984	3	31200,40	3,72	17183	50,66	2,01	644,91	181,44	85,52	47,04	272,94	71,63	1,54
1984	4	3688,00	2,29	5242	60,83	1,65	456,68	192,26	43,79	52,70	380,42	69,07	1,48
1984	5	6790,82	2,65	11007	34,22	3,34	479,07	144,96	57,07	73,69	323,32	70,79	1,47
1984	6	1499,29	5,36	8669	46,48	2,23	593,43	138,73	45,67	52,59	343,53	64,92	1,03
1984	7	388,62	10,42	1450	61,22	1,68	399,13	211,97	22,89	59,31	264,93	64,14	1,52
1994	1	12485,85	3,71	20527	88,10	1,16	708,32	215,06	84,67	36,91	282,77	67,57	1,36
1994	2	421,32	43,68	3165	30,88	3,70	881,99	106,06	21,82	46,90	312,07	68,95	1,33
1994	3	31200,40	3,75	21854	64,46	1,59	690,56	192,65	90,70	40,15	284,75	71,57	1,56
1994	4	3688,01	2,36	6516	71,12	1,42	457,55	200,68	45,88	48,11	390,33	69,13	1,50
1994	5	6790,82	2,52	14976	53,77	1,86	531,35	154,87	60,78	42,37	370,89	70,35	1,51
1994	6	1499,49	4,87	11293	59,34	1,77	565,73	152,52	50,44	45,50	354,72	64,71	1,02
1994	7	388,92	10,44	1558	62,53	1,64	406,89	213,17	23,10	59,53	267,22	63,48	1,52

Tab. 12: Landschaftsstrukturmaße der Gesamtlandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Klassenebene [Klasse 1 = Fließgewässer, Klasse 2 = Stillgewässer, Klasse 3 = offene Flächen / Ruderalflächen, Klasse 4 = Wirtschaftsgrünland & Garten, Klasse 5 = Acker, Klasse 6 = Baumreihe / Hecken / Gehölze, Klasse 7 = Laubwald, Klasse 8 = Nadelwald, Klasse 9 = Bebauung, Klasse 10 = Tagebau / anthropogene Sonderflächen, Klasse 11 = Verkehr, Klasse 12 = landwirtschaftliche Grenzen].

Jahr	Klasse	Flächenmaße							Kantenmaß ED	Formmaß LSI	Verteilungsmaß IJI
		CA	%LAND	LPI	NP	PD	AREA_MN	AREA_CV			
1965	1	5799,61	1,32	0,05	6508	1,48	0,89	514,12	21,15	307,49	68,04
1965	2	2947,19	0,67	0,05	3701	0,84	0,80	715,42	2,95	60,08	75,63
1965	3	2058,27	0,47	0,03	1733	0,39	1,19	467,11	1,69	41,48	85,09
1965	4	60627,47	13,75	0,07	50802	11,52	1,19	426,96	58,08	260,85	81,58
1965	5	238118,90	54,00	0,04	35676	8,09	6,67	160,60	107,53	244,16	70,54
1965	6	6446,09	1,46	0,00	40378	9,16	0,16	150,63	26,31	361,54	47,97
1965	7	33500,60	7,60	0,07	14495	3,29	2,31	330,14	24,37	147,53	76,69
1965	8	33917,32	7,69	0,04	6186	1,40	5,48	246,12	16,37	98,63	59,81
1965	9	24946,44	5,66	0,04	19516	4,43	1,28	400,22	24,65	172,13	61,14
1965	10	9438,69	2,14	0,26	5687	1,29	1,66	1603,43	4,16	47,67	83,08
1965	11	16711,06	3,79	3,62	2132	0,48	7,84	4414,79	67,26	573,91	67,73
1965	12	6474,27	1,47	0,00	8832	2,00	0,73	126,07	37,49	513,63	7,06
1984	1	5788,92	1,31	0,05	6123	1,39	0,95	497,87	20,65	300,73	68,01
1984	2	3931,39	0,89	0,06	3736	0,85	1,05	713,71	3,29	58,26	76,80
1984	3	1103,34	0,25	0,02	1615	0,37	0,68	439,67	1,56	51,81	85,32
1984	4	64219,82	14,56	0,05	43257	9,81	1,48	342,52	60,88	265,58	83,25
1984	5	230302,20	52,23	0,08	15202	3,45	15,15	172,28	75,05	173,65	74,05
1984	6	6886,58	1,56	0,00	36569	8,29	0,19	147,28	28,30	376,10	47,73
1984	7	31636,47	7,17	0,07	13382	3,03	2,36	293,13	24,51	152,62	76,34
1984	8	34055,28	7,72	0,04	5527	1,25	6,16	233,48	16,22	97,54	57,88
1984	9	28290,28	6,42	0,06	16927	3,84	1,67	386,16	25,91	169,90	61,54
1984	10	15753,75	3,57	0,41	5307	1,20	2,97	1625,71	6,05	53,84	81,85
1984	11	17443,01	3,96	3,78	1410	0,32	12,37	3585,90	66,64	556,53	69,29
1984	12	1564,35	0,35	0,00	2475	0,56	0,63	96,70	9,26	257,76	18,99
1994	1	5864,69	1,33	0,05	6152	1,40	0,95	493,03	20,96	303,18	68,54
1994	2	4651,04	1,05	0,06	3938	0,89	1,18	687,10	3,60	58,52	79,32
1994	3	1975,67	0,45	0,04	1792	0,41	1,10	552,86	2,08	51,94	85,70
1994	4	65380,86	14,83	0,05	43674	9,90	1,50	336,62	62,03	268,25	83,70
1994	5	225549,80	51,15	0,06	18460	4,19	12,22	156,90	84,17	196,64	74,43
1994	6	6979,90	1,58	0,00	36032	8,17	0,19	148,82	28,61	377,75	48,62
1994	7	32302,32	7,33	0,05	13381	3,03	2,41	268,71	24,97	153,92	76,65
1994	8	34084,17	7,73	0,04	5519	1,25	6,18	233,09	16,24	97,56	58,01
1994	9	28301,67	6,42	0,06	16919	3,84	1,67	384,95	25,96	170,20	61,62
1994	10	14682,83	3,33	0,32	5352	1,21	2,74	1394,84	6,81	62,32	83,63
1994	11	17974,18	4,08	3,92	1221	0,28	14,72	3360,73	67,58	556,01	70,59
1994	12	3228,95	0,73	0,00	4929	1,12	0,66	107,50	18,99	368,48	14,44

Tab. 13: Landschaftsstrukturmaße der Lößhügellandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Klassenebene.

Jahr	Klasse	Flächenmaße								Kantenmaß ED	Formmaß LSI	Nachbarschaftsmaße		Verteilungsmaß IJI
		CA	%LAND	LPI	NP	PD	AREA_MN	AREA_CV	ENN_MN			ENN_CV		
1965	Grünland	11467,51	15,25	0,20	4352	16,69	0,93	265,35	82,71	83,64	24,14	127,34	77,14	
1965	Acker	47395,12	63,46	0,45	2251	9,16	6,93	141,81	140,93	69,06	17,43	91,98	67,45	
1965	Baumreihe	1685,33	2,18	0,02	3810	14,70	0,15	147,33	39,87	105,48	44,94	122,80	45,11	
1984	Grünland	13410,17	17,80	0,47	3816	14,52	1,26	301,62	85,34	79,73	24,80	132,61	79,34	
1984	Acker	45438,31	60,93	0,95	1277	5,05	12,10	174,29	99,41	50,70	20,88	124,43	71,04	
1984	Baumreihe	1745,51	2,26	0,02	3428	12,90	0,18	136,94	41,47	107,72	51,88	111,68	44,99	
1994	Grünland	13471,35	17,88	0,46	3807	14,48	1,27	296,19	85,72	79,87	24,97	132,93	79,72	
1994	Acker	45020,57	60,26	0,81	1495	6,20	9,77	160,26	114,70	57,59	19,69	120,37	70,16	
1994	Baumreihe	1753,24	2,28	0,02	3362	12,58	0,19	137,13	41,69	107,82	52,82	111,17	45,81	

Tab. 14: Landschaftsstrukturmaße der Auenlandschaft des Regierungsbezirkes Leipzig auf Klassenebene.

Jahr	Klasse	Flächenmaße								Kantenmaß ED	Formmaß LSI	Nachbarschaftsmaße		Verteilungsmaß IJI
		CA	%LAND	LPI	NP	PD	AREA_MN	AREA_CV	ENN_MN			ENN_CV		
1965	Fließgewässer	1328,82	3,88	0,95	184	2,64	1,66	434,24	43,77	46,79	56,07	149,77	57,67	
1965	Grünland	9085,46	25,85	1,79	1453	21,62	1,45	506,64	95,40	41,02	23,68	144,90	78,56	
1965	Laubwald	3413,68	17,14	1,38	237	3,65	3,84	217,73	36,86	19,90	66,22	177,50	74,23	
1984	Fließgewässer	1322,85	3,94	0,94	158	2,20	1,95	403,32	42,29	44,44	64,17	155,29	55,03	
1984	Grünland	9368,29	28,88	1,51	1104	15,23	2,00	362,70	106,86	43,14	24,07	141,20	80,22	
1984	Laubwald	2338,33	11,06	0,84	199	2,97	2,87	202,43	27,41	18,74	110,24	194,13	73,89	
1994	Fließgewässer	1324,26	3,95	0,94	159	2,22	1,95	404,05	42,47	44,54	64,53	155,39	55,05	
1994	Grünland	9419,80	29,13	1,35	1097	15,18	2,03	351,79	107,50	43,09	24,09	141,07	80,35	
1994	Laubwald	2353,15	11,12	0,84	191	2,89	2,98	196,04	27,60	18,78	112,78	190,96	73,75	

Erklärung:

Ich versichere, dass ich diese Arbeit einschließlich der beigefügten Abbildungen, Tabellen und Karten, soweit nicht anders gekennzeichnet, selbst angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle Textstellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach aus anderen Werken entstammen, sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Münster, den 01.04.2003

Johannes Horstkötter

