

Extrapolation von Landschaftsveränderungen anhand der
Kombination multitemporaler Untersuchungen von
Landbedeckungsklassen mit einem moving-window-Ansatz

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

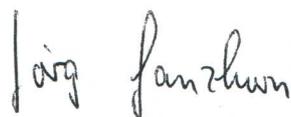
des Departments Biologie
der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
der Universität Hamburg

vorgelegt von
RAUL KÖHLER
aus Dresden

Hamburg, 2009

Genehmigt vom Department Biologie
der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
an der Universität Hamburg
auf Antrag von Professor Dr. M. KÖHL
Weiterer Gutachter der Dissertation:
Professor Dr. E. CSAPLOVICS
Tag der Disputation: 29.Juni 2009

Hamburg, den 28. Mai 2009

A handwritten signature in black ink, reading "Jörg Ganzhorn". The signature is written in a cursive style with a large initial 'J'.

Professor Dr. Jörg Ganzhorn
Leiter des Departments Biologie

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Dr. habil. M. Köhl. Ich möchte mich bei ihm für seine Geduld bezüglich der Fertigstellung bedanken. Aber vor allem danke ich ihm für die Möglichkeit, einen Arbeitstil zu entwickeln, der Familie, Projektarbeit und Dissertation unkompliziert „unter einen Hut“ bringt. Prof. Dr. habil. Csaplovics gebührt mein Dank für die Begutachtung meiner Arbeit.

Für die gute Zusammenarbeit mit den Kollegen des Instituts für Weltforstwirtschaft und die daraus entstandenen Anregungen und Arbeitsideen möchte ich mich auf diesem Weg bedanken. Meinem Kollegen K. Olschofsky danke ich für die gute Zusammenarbeit im Projekt BIOPRESS und die vielen anregenden Debatten. Außerdem möchte ich an dieser Stelle K. Oehmichen für ihre wertvollen Hinweise und Diskussionen bezüglich der Landschaftsstrukturmaße und T. Riedel für die Gespräche über Extrapolationsalgorithmen danken. S. Iost, K. Oehmichen und W. Stümer danke ich für das Lesen und Korrigieren des Manuskripts. Besonderer Dank gebührt A. Iost, der mir den Einstieg in $\text{\LaTeX}2_{\epsilon}$ sehr vereinfachte. Ausserdem opferte er viel Zeit für fachliche Diskussionen, Korrekturlesen und Fragen bezüglich des Layouts und Schriftsatzes.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Frau für das wiederholte Lesen und die konstruktive Kritik, die Hinweise auf „sinnfreie“ Textabschnitte und vor allem für ihr Verständnis während der langen Endphase dieser Arbeit bedanken. Überzeugungskraft und Ausdauer waren nötig, um mich zum Abschluss dieser Arbeit zu bewegen. Groß war die Versuchung, weitere Auswertungen durchzuführen.

Kurzfassung

Der Bedarf an naturräumlichen Ressourcen ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen, was sich u. a. in der Dynamik der Flächennutzung widerspiegelt. Der Wandel von Landbedeckung und Landnutzung ist ein Indikator für großflächige Veränderungen von Ökosystemen. Um natürliche Prozesse besser verstehen zu können und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten zu kontrollieren, sind Informationen über den Zustand der Umwelt und über die Veränderungen dieses Zustandes erforderlich.

In neun Testgebieten wurden Landbedeckungsveränderungen im Zeitraum 1950 bis 2000 mittels der Interpretation historischer Luftbilder untersucht. Die Analyse der Flächenveränderungen auf Basis von modifizierten CORINE-Land-Cover-Klassifizierungsregeln wurde durch Indikatoren erweitert, welche die Zusammensetzung der Landschaft quantitativ beschreiben. Neben Flächenbudgets und klassischen Landschaftsstrukturmaßen kamen dabei Häufigkeitsuntersuchungen zum Einsatz, die die Landschaftsveränderungen in Abhängigkeit von Reliefparametern, Distanzen und der Nachbarschaft von Landbedeckungspatches betrachteten. Da die großflächige Untersuchung von Landbedeckung mit dem Anspruch an einen hohen Detaillierungsgrad aufwendig und kostenintensiv ist, wurde die Möglichkeit der Extrapolation von Landschaftsveränderungen mittels eines moving-window-Ansatzes getestet. Auf die Nutzung von externen Daten und prozess-basierten Modellierungsregeln wurde bewusst verzichtet, um ein Werkzeug für die Extrapolation von Landschaftsveränderungen zu schaffen, das ausschließlich auf quantitative, räumliche Landbedeckungsinformationen angewiesen ist.

Im Mittel veränderten sich 26,12 % (1950 bis 1990) bzw. 10,24 % (1990 bis 2000) der Landbedeckung der Transekte. Flächenverluste wurden vor allem bei den Landbedeckungsklassen *nicht bewässertes Ackerland* und *Abbauflächen* beobachtet. Flächenzunahmen konnten die Klassen *Weideland*, *Laub-* und *Mischwälder* sowie bebaute Flächen verzeichnen. Bebaute Flächen entstanden in beiden Untersuchungszeiträumen vorwiegend aus landwirtschaftlichen Klassen, wohingegen sich die naturnahen Flächen aus Wäldern und anderen semi-natürlichen Gebieten entwickelten.

Die Untersuchungen der Landschaftsstruktur zeigten, dass die Landschaftsveränderung nur mit Hilfe mehrerer Strukturmaße umfassend quantifiziert werden kann. Dabei muss die Art der statistischen Zusammenfassung der einzelnen Indizes beachtet werden, um realistische Trends abzuleiten.

In beiden Untersuchungsperioden waren neue *Siedlungsflächen*, *Abbauflächen* sowie *Laub-* und *Nadelwälder* vorrangig Erweiterungen bereits bestehender Flächen. Neue *Industriegebiete* waren vorwiegend Erschließungen ohne direkt benachbarte *Industrie- und Gewerbeflächen*. Verlagerungen von Flächen in benachbarte Gebiete waren nur bei *Ackerland* und *Weiden* ausgeprägt.

Naturschutzgebiete stellten in den Transekten eine Restriktion für die Zunahme von bebauten Flächen dar. Obwohl die meisten Schutzgebiete erst in den 90er Jahren ausgewiesen wurden, ähnelten sich die Landbedeckungsänderungstypen vor und nach der Schutzgebietsausweisung.

Bei Nutzung eines digitalen Geländemodells (DGM20) konnte in vorliegender Arbeit kein nennenswerter Einfluss des Reliefs auf die Gesamtveränderung der Flächenanteile, die Landschaftsstrukturmaße sowie den Hemerobie-Index beobachtet werden.

Durch die Nutzung des entwickelten Extrapolationsmodells kann eine kostenintensive Vollaufnahme der Landbedeckung vom Zielzeitpunkt vermieden werden bzw. werden Ergebnisse geliefert, die aufgrund finanzieller oder politischer Einschränkungen ansonsten nicht verfügbar sind. Stärken des Modells liegen in der Quantifizierung und Lokalisierung von Landschaftsveränderungen. Die in der Landschaftsökologie verbreitete Theorie, dass die Neigung eines Landschafts-Patches sich zu verändern mit der Form und Komplexität des Patches zusammenhängt, konnte mit Hilfe der erweiterten Validierungsanalyse des Extrapolationsmodells bestätigt werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xv
Verwendete Abkürzungen	xix
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielstellung	2
2 Stand der Kenntnisse	3
2.1 Biodiversität und NATURA2000-Gebiete	3
2.2 Grundlagen der Fernerkundung	4
2.3 Aufnahme und Eigenschaften von Luftbildern	6
2.4 Photogrammetrische Auswertungen und visuelle Bildinterpretation	7
2.5 Geographische Informationssysteme	8
2.6 Landschaft und Veränderung	10
2.6.1 Landbedeckung und Landnutzung	10
2.6.2 Was ist Landschaft?	11
2.6.3 Landschaftsveränderungen	12
2.6.4 Landschaftsuntersuchungen in Projekten	12
2.7 Landschaftsstrukturmaße	14
2.8 Extrapolation von Geo-Daten	17
3 Auswahl der Testgebiete und Datenakquisition	19
3.1 Auswahl der Testgebiete	19
3.2 Kurzcharakteristik der Testgebiete	23
3.3 Untersuchungsmaterial	28
4 Methodik	31
4.1 Vorverarbeitung der Luftbilder	31
4.2 Interpretationsverfahren	32
4.3 Flächensummen und Anteile der Land-Cover-Klassen	37
4.3.1 Kreuztabellen als Kalkulationsgrundlage für Flächenanteile und Veränderungen der Landbedeckung	37
4.3.2 Budgets der Kartenveränderung	37
4.3.3 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit von der neuen bzw. ursprünglichen LC-Klasse	39
4.3.4 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitraum	40
4.3.5 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Interpretationslevel	40

4.4	Landschaftsstruktur	40
4.4.1	Landschaftsstrukturmaße	40
4.4.2	Hemerobie-Index M	42
4.5	Nachbarschaftsanalysen	43
4.5.1	Häufigkeiten von Nachbarflächen derselben LC-Klasse	43
4.5.2	Standortstypisierung neuer Flächen	43
4.6	Distanzanalysen	45
4.6.1	Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu FFH-Gebieten	45
4.6.2	Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu LC-Klassen	46
4.7	Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren	47
4.7.1	Ermittlung von 3D-Flächen und -Längen	47
4.7.2	Zusammenhang zwischen Relief und Landbedeckung	50
4.8	Extrapolationsmodell	51
4.8.1	Aufbau des Extrapolationsmodells	51
4.8.2	Prozedur der Extrapolation	52
4.8.3	Validierung des Extrapolationsmodells	58
4.9	Fehlerbetrachtung der Interpretationsergebnisse	60
4.9.1	Einleitung	60
4.9.2	Methodik	61
4.9.3	Ergebnisse und Diskussion	62
4.10	Verwendete Soft- und Hardware	65
5	Ergebnisse und Diskussion	67
5.1	Flächensummen und Anteile der LC-Klassen	67
5.1.1	Flächenanteile und Veränderungen der Landbedeckung je Transekt	67
5.1.2	Budgets der Kartenveränderung	88
5.1.3	Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit von der neuen bzw. ursprünglichen LC-Klasse	92
5.1.4	Veränderung der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitraum	99
5.1.5	Veränderung der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Interpretationslevel	101
5.2	Landschaftsstruktur	104
5.2.1	Landschaftsstrukturmaße	104
5.2.2	Hemerobie-Index M	109
5.3	Nachbarschaftsanalysen	114
5.3.1	Häufigkeiten von Nachbarflächen derselben LC-Klasse	114
5.3.2	Standortstypisierung neuer Flächen	117
5.4	Distanzanalysen	124
5.4.1	Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu FFH-Gebieten	124
5.4.2	Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu LC-Klassen	131
5.5	Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren	136
5.5.1	Flächen und Veränderungen	136
5.5.2	Zusammenhang zwischen Hangneigung und Landbedeckung	146
5.6	Extrapolation von Landschaftsveränderungen	148
5.6.1	Regelwerk der Landschaftsveränderungen	149
5.6.2	Eignungskarten der potenziellen Landschaftsveränderung	153
5.6.3	Zuordnung des ähnlichsten Testgebietes zum moving window	157
5.6.4	Extrapolationsergebnisse	158
5.6.5	Validierung des Extrapolationsmodells	163
6	Schlussfolgerungen	169

7	Zusammenfassung	171
7.1	Ziel	171
7.2	Fehlerbetrachtung der Interpretationsergebnisse	171
7.3	Flächenveränderung der Landbedeckung	172
7.4	Landschaftsstrukturmaße und Hemerobie-Index M	172
7.5	Nachbarschafts- und Distanzanalysen	173
7.6	Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren	173
7.7	Extrapolation von Landschaftsveränderungen	174
 Literaturverzeichnis		 175
 Anhang A		 189

Abbildungsverzeichnis

2.1	Das elektromagnetische Wellenspektrum	5
2.2	Relative spektrale Empfindlichkeit photographischer Schichten	6
2.3	Darstellung verschiedener Objekte im Vektor- bzw. Rasterformat	9
2.4	Typischer Ablauf einer Extrapolation	18
3.1	Biogeographische Regionen Europas	20
3.2	Schematische Darstellung der zweidimensionalen Ausrichtung der Transekte	21
3.3	Lage der neun ausgewählten Testgebiete DE01 bis DE09	22
3.4	Blick auf eine Landebahn und Flughafengebäude des Flughafens Dresden-Klotzsche	24
3.5	Acker- und Weidelandschaft nordöstlich von Dresden	24
3.6	Recyclinganlage im Industriegebiet Heidenau	24
3.7	Rathener Felsengebiet im Nationalpark Sächsische Schweiz	24
3.8	Festung Königstein, im Vordergrund: SDAG Wismut	25
3.9	Landwirtschaftlich genutzte Flächen im Testgebiet DE03	25
3.10	Kreisverkehr, erbaut im Rahmen des Ausbaus der Autobahn BAB4	25
3.11	Weide am Rand des Nationalparks Hainich	25
3.12	Fluss- und Auwaldlandschaft im Transekt DE05	26
3.13	Laubwald nahe der Gemeinde Ranie	26
3.14	Industriegebiet in Wolfen	26
3.15	„Untere Mulde“ bei der Gemeinde Raghun	26
3.16	Altarm der Mulde	27
3.17	Auslaufbauwerk des Muldestausees	27
3.18	Stubbenkammer im Nationalpark Jasmund (© Thomas, 2006)	27
3.19	Sea-Terminal im Fährhafen Neu-Mukran (© BUSS-GROUP, 2006)	27
3.20	Weiden nahe Neustrelitz	28
3.21	Offenlandschaft im ehemaligen Truppenübungsplatz im Transekt DE09	28
3.22	Beispiele für genutztes Datenmaterial (historisches Luftbild, aktuelle topographische Karte, digitales Geländemodell)	28
4.1	Kriterien für die kleinsten Kartiereinheiten beim Maßstab 1:10 000	34
4.2	Darstellung der „backdating“-Methode der Interpretation von Luftbildern	35
4.3	Detaillierte Darstellung der Dynamik der Landbedeckung, die auf Luftbildern von 1950, 1990 und 2000 im Transekt DE08 aufgenommen wurden	36
4.4	Darstellung desselben Ausschnitts der Landbedeckung mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad (CLC-Level 1 bis 3)	40
4.6	Beispiel für die Erweiterung der urbanen Fläche von 1950 bis 1990 im Rahmen der Nachbarschaftsanalyse	45
4.7	Beispiele für die angewendeten methodischen Ansätze der Distanzanalysen	46
4.8	Einschränkung der Distanzanalyse von LC-Klassen (Teilanalyse 2) aufgrund von Außengrenzen-Fehler	47
4.9	Darstellung der Methode nach JENNESS für die Berechnung der Oberfläche und Umfänge von Patches	49

4.10	Darstellung der Oberfläche eines Bereichs des Transekts DE03 mittels einer Komposition von TIN und Relief	50
4.11	Übersicht des Extrapolationsmodells	53
4.12	Beispiel für ein moving window	54
4.13	Darstellung der Nadelwaldverteilung mit Hilfe eines moving windows im Extrapolationsgebiet	55
4.14	Ausschnitt der Eignungskarte für <i>nicht durchgängig städtische Prägung</i> (112) . . .	59
4.15	Ausschnitt der Eignungskarte für <i>Nadelwald</i> (312)	59
4.16	Beispiele für künstlich generierte Testgebiete durch einen Zufallsgenerator für die Validierung des Extrapolationsmodells	60
5.1	Statistik der Landbedeckung in % für neun Transekte in der Bundesrepublik Deutschland (CLC Level 1 — Jahr 2000)	69
5.2	Interpretationsergebnisse für Transekt DE01	71
5.3	Interpretationsergebnisse für Transekt DE02	73
5.4	Interpretationsergebnisse für Transekt DE03	75
5.5	Interpretationsergebnisse für Transekt DE04	77
5.6	Interpretationsergebnisse für Transekt DE05	79
5.7	Interpretationsergebnisse für Transekt DE06	81
5.8	Interpretationsergebnisse für Transekt DE07	83
5.9	Interpretationsergebnisse für Transekt DE08	85
5.10	Interpretationsergebnisse für Transekt DE09	87
5.11	Quotienten aus den beobachteten Veränderungen in CLC-Level 2 und Level 3 . . .	102
5.12	Quotienten aus den beobachteten Veränderungen in CLC-Level 1 und Level 3 . . .	103
5.13	Das Braunkohle-Kraftwerk Boxberg grenzt an den Tagebau Nochten.	111
5.14	Vordergrund: renaturierte Fläche des Tagebaus Nochten; Hintergrund: aktives Braunkohleförderungsgebiet des Tagebaus	111
5.15	Darstellung des Hemerobie-Indexes M für das Bundesgebiet für 1990, 2000 sowie ein Differenzbild der Ergebnisse beider Zeitpunkte	112
5.16	Summierte Flächenanteile der Veränderungen, deren LC-Klasse im Jahr 1990 (bzw. 2000) identisch mit der LC-Klasse eines stabilen Nachbarn im Jahr 1950 und 1990 (bzw. 1990 und 2000) ist	115
5.17	Summierte Flächenanteile der Veränderungen, deren LC-Klasse im Jahr 1990 (bzw. 2000) identisch mit der LC-Klasse eines <i>nicht</i> stabilen Nachbarn im Jahr 1950 (bzw. 1990) ist	116
5.18	Typisierung des Flächengewinns von <i>Siedlungsflächen</i> (112) für die Periode 1950 bis 1990 bzw. 1990 bis 2000	118
5.19	Typisierung des Flächengewinns von <i>Industriegebieten</i> (121) für die Periode 1950 bis 1990 bzw. 1990 bis 2000	119
5.20	Typisierung des Flächengewinns von Wäldern (31) für die Periode 1950 bis 1990 bzw. 1990 bis 2000	120
5.21	Flächenanteil der Gesamtveränderungen in den Perioden 1950 bis 1990 bzw. 1990 bis 2000 innerhalb und außerhalb der NATURA2000-Gebiete	125
5.22	Flächenanteil der Typen der LC-Veränderungen in den Perioden 1950 bis 1990 bzw. 1990 bis 2000 innerhalb und außerhalb der NATURA2000-Gebiete	127
5.23	Flächenanteile der Gesamtveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 in multiplen Pufferzonen in und um NATURA2000-Gebiete	128
5.24	Flächenanteile der LC-Veränderungstypen zwischen 1950 und 1990 in multiplen Pufferzonen in und um NATURA2000-Gebiete	129
5.25	Flächenanteile der LC-Veränderungstypen zwischen 1990 und 2000 in multiplen Pufferzonen in und um NATURA2000-Gebiete	130
5.26	Flächenanteile des Gewinns bzw. Verlusts 1950–1990 bzw. 1990–2000 in Pufferzonen in und um bestehende Patches der LC-Klassen 112, 121 und 312	132
5.27	Beispiel der unterschiedlichen Pufferzonenfläche in und um Nadelwald	133

5.28	Kumulierte Flächenanteile des Gewinns 1950–1990 bzw. 1990–2000 in Abhängigkeit von der minimalen euklidischen Distanz zwischen Grenzlinien neuer und bestehender Patches der LC-Klassen 112, 121 und 31	134
5.29	Einschränkung der Analysemethode aufgrund des nicht exakt bestimmaren Entstehungszeitpunkts neuer Flächen	135
5.30	Vergleich der 3D-/2D-Flächenquotienten für die LC-Klassen auf Basis verschiedener Berechnungsmethoden	138
5.31	Vergleich der 3D-/2D-Flächenquotienten für die LC-Klassen auf Basis verschiedener DGMs (Methode: TIN)	138
5.32	Gegenüberstellung von LC-Klassen und Hangneigung im Jahr 2000 in DE03	139
5.33	Boxplot-Darstellung der Hangneigung der LC-Klassen im Jahr 2000 in DE03 . . .	147
5.34	Boxplot-Darstellung der Hangneigung des Gewinns der LC-Klassen zwischen 1990 und 2000 in DE03	147
5.35	Boxplot-Darstellung der Hangneigung des Verlusts der LC-Klassen zwischen 1990 und 2000 in DE03	148
5.36	Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–1950 (Teil 1)	155
5.37	Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–1950 (Teil 2)	156
5.38	Räumliche Verteilung der Zuordnung der Transekte zum moving window für das Extrapolationsgebiet	157
5.39	Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 112 und 121	158
5.40	Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 131, 211 und 231	159
5.41	Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 311, 312 und 313	160
5.42	Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 324, 333 und 512	161
5.43	Verteilung der dominanten LC-Klassen im Extrapolationsgebiet in den Jahren 1990 und 1950	162
5.44	Räumliche Verteilung der Übereinstimmung von Flächenanteilen zwischen Extrapolationsergebnissen und CLC2000-Daten.	163
5.45	Beispiel der vollständigen Änderung von Landbedeckung in einem moving window zwischen 1990 und 2000	167
A.1	Offizielle Farblegende der CLC-Nomenklatur (Level 3)	190
A.2	Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–2000 (Teil 1)	191
A.3	Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–2000 (Teil 2)	192

Tabellenverzeichnis

2.1	Vor- und Nachteile von Vektor- und Rasterdaten	9
2.2	Häufig angewendete Operationen der Verarbeitung von Vektordaten	10
3.1	Kurzcharakteristik der Testgebiete	23
3.2	Untersuchungsmaterial als Grundlage für die Interpretation der Landbedeckung . .	30
4.1	Parameter der geodätischen Referenzsysteme der Testgebiete	32
4.2	Kreuztabelle für den Vergleich von Karten zu zwei Zeitpunkten für drei thematische Klassen	37
4.3	Budgets der Kartenveränderung abgeleitet aus einer Kreuztabelle	38
4.4	Flächenanteile der Veränderungen bezogen auf den Gewinn der LC-Klasse	39
4.5	Flächenanteile der Veränderungen bezogen auf den Verlust der LC-Klasse	39
4.6	Landschaftsstrukturmaße der Landschafts- bzw. Klassenebene	41
4.7	Zuordnung der Hemerobiestufen zu Landbedeckung bzw. Landnutzung	42
4.8	Standortstypisierung neuer Landbedeckungsflächen	44
4.9	Beispiel einer Veränderungsmatrix des Testgebiets	56
4.10	Beispiel einer Übertragungstabelle für die Extrapolation von Veränderungen	56
4.11	Beispiel der Statustabelle eines moving windows	57
4.12	Beispiel einer extrapolierten Veränderungsmatrix	57
4.13	Layout einer Fehlermatrix für die Veränderungsdetektierung (t_0 bis t_1) mit drei LC-Klassen	63
4.14	Gesamtgenauigkeit (bzw. Übereinstimmung) für CLC-Level 3, 2 und 1	64
4.15	Gegenüberstellung der Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen $G1$ und der Gesamtgenauigkeit der Veränderung $G2$ für CLC-Level 3	66
4.16	Gegenüberstellung der Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen $G1$ und der Gesamtgenauigkeit der Veränderung $G2$ für CLC-Level 2	66
4.17	Gegenüberstellung der Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen $G1$ und der Gesamtgenauigkeit der Veränderung $G2$ für CLC-Level 1	66
5.1	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE01	70
5.2	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE02	72
5.3	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE03	74
5.4	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE04	76
5.5	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE05	78
5.6	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE06	80

5.7	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE07	82
5.8	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE08	84
5.9	Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE09	86
5.10	Budgettabelle für das Transekt DE01 im Zeitraum 1950–1990 in CLC-Level 1	88
5.11	Budgettabelle für alle neun Transekte im Zeitraum 1950–1990 in CLC-Level 3	89
5.12	Budgettabelle für alle neun Transekte im Zeitraum 1990–2000 in CLC-Level 3	91
5.13	Flächenanteile der Veränderungen von 1950 bis 1990 bezogen auf den Gewinn der LC-Klasse	93
5.14	Flächenanteile der Veränderungen von 1990 bis 2000 bezogen auf den Gewinn der LC-Klasse	94
5.15	Flächenanteile der Veränderungen von 1950 bis 1990 bezogen auf den Verlust der LC-Klasse	97
5.16	Flächenanteile der Veränderungen von 1990 bis 2000 bezogen auf den Verlust der LC-Klasse	98
5.17	Gesamtveränderungen der Landbedeckung in den Transekten auf Grundlage von Interpretationen nach CLC-Level 3	100
5.18	Gesamtveränderungen der Landbedeckung in den Transekten auf Grundlage von Interpretationen nach CLC-Level 2	100
5.19	Gesamtveränderungen der Landbedeckung in den Transekten auf Grundlage von Interpretationen nach CLC-Level 1	100
5.20	Ausgewählte Landschaftsstrukturmaße auf Testgebieteebene	105
5.21	Ausgewählte Landschaftsstrukturmaße auf LC-Klassenebene	107
5.22	Hemerobie-Index M der Transekte (Grundlage: 2D-Flächenanteile basierend auf CLC-Level 3)	109
5.23	Regionen mit bedeutenden Veränderungen des Hemerobie-Indexes M zwischen 1990 und 2000 in der Bundesrepublik	113
5.24	Teststatistik für die Typen der Standortstypisierung für <i>Flächen mit nicht durchgängig städtischer Prägung</i> (112)	121
5.25	Teststatistik für die Typen der Standortstypisierung für <i>Industrie- und Gewerbegebiete</i> (121)	121
5.26	Teststatistik für die Typen der Standortstypisierung für Waldflächen (31)	122
5.27	Flächengröße der NATURA2000-Gebiete und der umliegenden Regionen in den Transekten	124
5.28	Typen von Veränderungen der LC-Klasse eines Initialzeitpunkts t_0 und Zielpunkt t_1 , zusammengefasst auf CLC-Level 1	126
5.29	Differenzen zwischen raster- und vektorbasierter Berechnung der Gesamtfläche (2D) des Transekts DE03 in Abhängigkeit von der Auflösung des DGM	136
5.30	3D-/2D-Gesamtflächenquotienten für das Transekt DE03 nach den Methoden SLOPE, JENNESS und TIN in Abhängigkeit von der Auflösung des DGM	137
5.31	Vergleich der Gesamtveränderungen von 2D-Fläche und 3D-Oberflächen in CLC-Level 3 im Transekt DE03	140
5.32	Vergleich der Flächenanteile der LC-Veränderungen von 2D- und 3D-Flächen im Transekt DE03	141
5.33	Vergleich der LSM auf Landschaftsebene basierend auf 2D- und 3D-Flächeninformationen des Transekts DE03	142
5.34	Vergleich der LSM (Teil 1: urbane Klassen) auf Klassenebene basierend auf 2D- bzw. 3D-Flächeninformationen des Transekts DE03	143
5.35	Vergleich der LSM auf Klassenebene (Teil 2: landwirtschaftliche-, semi-natürliche und Wasserklassen) basierend auf 2D- bzw. 3D-Flächeninformationen des Transekts DE03	144

5.36 Vergleich des Hemerobie-Indexes M auf Landschaftsebene basierend auf 2D- und 3D-Flächeninformationen des Transekts DE03	145
5.37 Veränderungsprozesse zwischen zwei Zeitpunkten ($t_0 - t_1$)	149
5.38 Anzahl der Testgebiete für die Sensitivitätsanalyse und deren prozentuale Abdeckung des Extrapolationsgebiets	164
5.39 Mittlere Übereinstimmung der Flächenanteile von Extrapolationsergebnis und CLC-2000- bzw. N50-Daten in % in Abhängigkeit vom Zuordnungsalgorithmus	165
A.1 Hierarchischer Aufbau der CLC-Nomenklatur	193
A.2 Zuweisung der Hemerobiestufen zu einer CLC-Klasse (Level 3)	194
A.3 Formeln für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße auf Vektorbasis: Landschaftsebene	195
A.4 Formeln für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße auf Vektorbasis: Klassenebene	196
A.5 Formeln für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße für den statistischen Vergleich der Standortstypen	197
A.6 Formeln für die Bewertung der Übereinstimmung der Flächenanteile und ausgewählter Landschaftsstrukturmaße von moving window und Testgebiet	198
A.7 Tabellenverzeichnis des Anhangs D	199
A.7 Tabellenverzeichnis des Anhangs D (<i>weiterführend</i>)	200
A.7 Tabellenverzeichnis des Anhangs D (<i>weiterführend</i>)	201
A.7 Tabellenverzeichnis des Anhangs D (<i>weiterführend</i>)	202

Verwendete Abkürzungen

A	Area
AML	Arc Macro Language
AOI	Area of Interest
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AWMPAR	Area Weighted Mean Perimeter Area Ratio
AWMSI	Area Weighted Mean Shape Index
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BRME	Biogeographical Region Maps of Europe
CCD	Charge-Coupled Device
CLC	CORINE Land Cover
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DGM	Digitales Geländemodell
DI	Dominance Index
DOP	Digitales Orthophoto
dpi	dots per inch
DTK	Digitale Topographische Karte
EC	European Commission
ED	Edge Density
ESRI®	Environmental Systems Research Institute
EU	Europäische Union
FD	Fractal Dimension
FE	Fernerkundung
FFH	Flora, Fauna, Habitat
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographisches Informationssystem

Verwendete Abkürzungen

GLC	Global Land Cover
GMES	Global Monitoring for the Environment and Security
GPS	Global Positioning System
IGBP	International Geosphere and Biosphere Programme
IHDP	International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change
IJI	Interspersion and Juxtaposition Index
JRC	Joint Research Centre
LACOAST	Land Cover Changes in Coastal Zones
LC	Land Cover
LCMGB	Land Cover Map of Great Britain (1990)
LCM2000	Land Cover Map 2000
LIDAR	Light Detection and Ranging
LPG	landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaft
LPI	Largest Patch Index
LSI	Landscape Shape Index
LSM	Landschaftsstrukturmaß
LUCC	Land Use and Land Cover Change
MB	Megabyte
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MMU	Minimum Mapping Unit
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOLAND	Monitoring Land Cover/Use Dynamics
MPAR	Mean Perimeter Area Ratio
MPS	Mean Patch Size
MS	Microsoft®
MSI	Mean Shape Index
MSS	Multi Spectral Scanner (Landsat-Satelliten)
MURBANDY	Monitoring Urban Dynamics
MW	Moving Window
n/v	nicht verfügbar bzw. nicht vorhanden
NHN	Normalhöhennull (Höhenbezug im DHHN92)
NLP	Nationalpark
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

NP	Number of Patches
NSG	Naturschutzgebiet
PAR	Perimeter Area Ratio
PD	Patch Density
PELCOM	Pan-European Land Cover Monitoring
PR	Patch Richness
PRD	Patch Richness Density
RADAR	Radio Detection and Ranging
RBINS	Royal Belgian Institute of Natural Sciences
RPR	Relative Patch Richness
S/W	Schwarz-Weiss
SAI	Space Applications Institute
SDAG	Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (Wismut)
SHDI	Shannon's Diversity Index
SHEI	Shannon's Evenness Index
SI	Shape Index
SIDI	Simpson's Diversity Index
SIEI	Simpson's Evenness Index
SPOT	Système Probatoire d'Observation de la Terre (Satellitenserie)
SPSS®	Statistical Package for the Social Sciences (Markenname)
SQL	Structured Query Language
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TA	Total Area
TAC	Total Area of Class
TE	Total Edge
TG	Testgebiet
TIN	Triangular Irregular Network
TK	Topographische Karte
TM	Thematic Mapper (Landsat-Satelliten)
TU	Technische Universität
TÜP	Truppenübungsplatz
UK	United Kingdom
VEGA	Vegetation Data for Global Assessment
XS	multispektraler Modus (SPOT-Satelliten)

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Beeinflussung der Umwelt durch den Menschen hat in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen. Durch das stetige Wachstum der Weltbevölkerung, die regionale Industrialisierung und landwirtschaftliche Intensivierung sowie durch die regional begrenzte Erhöhung des Lebensstandards steigt der Bedarf an Ressourcen und die Flächennutzung. Die Erschließung von Flächen umfasst neben der industriellen und gewerblichen Nutzung, der Infrastruktur und den Siedlungen auch Erholungs- und Schutzgebiete. Diese Entwicklung spiegelt sich in Veränderungen der Umwelt wider, die zumeist nur dann bewusst wahrgenommen werden, wenn sie sich durch abrupte Ausprägungen manifestieren. Der Wandel von Landbedeckung und Landnutzung ist ein Indikator für großflächige Veränderungen von Ökosystemen und wird in den meisten Fällen durch eine Kombination von sozialen, ökonomischen und natürlichen Prozessen hervorgerufen (GERARD ET AL., 2006). Diese Landschaftsveränderungen weisen jedoch regionsspezifische Ursachen und Ausprägungen auf. Selbst innerhalb von Europa wird der Landschaftswandel von unterschiedlichen politischen und wirtschaftlichen Faktoren beeinflusst. So können z. B. Entwaldungen durch forstliche oder landwirtschaftliche Nutzung, durch die Errichtung von Stauseen (z. B. im slowakischen Teil der Beskiden), durch Bergbautätigkeiten (z. B. in der Lausitz), aber auch durch Immissionen (z. B. im Erzgebirge) auftreten.

Um natürliche Prozesse besser verstehen zu können und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten zu kontrollieren, sind Informationen über den Zustand der Umwelt und über die Veränderungen dieses Zustandes erforderlich (ALBERTZ, 2001). Die gezielte Beobachtung und Überwachung von Naturräumen ist ein wichtiges Werkzeug für den modernen Landschafts- und Naturschutz, um frühzeitig die Gefährdung von bedrohten Arten und Habitaten erkennen zu können. Mit Hilfe von abbildenden Fernerkundungsdaten, wie z. B. Satellitendaten oder Luftbildern, können flächendeckend charakteristische Merkmale der Landbedeckung beziehungsweise der Landnutzung objektiv und kostengünstig gemessen werden (ALBERTZ, 2001). Die rasante technische Weiterentwicklung der verschiedenen flugzeug- und satellitengestützten Aufnahmesysteme stellt jedoch hohe Anforderungen an die Verfahren zur Nutzung und Analyse der umfangreichen Bilddaten. Die Entwicklung

von Methoden zur Analyse der Veränderungen von Landbedeckung und Landnutzung ist notwendig, um gezielt Aussagen zum Gefährdungspotenzial anthropogener Maßnahmen hinsichtlich der Beeinflussung von Ökosystemen treffen zu können. Für die Verarbeitung, Analyse und Speicherung raumbezogener Daten stehen seit einigen Jahren geographische Informationssysteme (GIS) und relationale Datenbanksysteme zur Verfügung.

Durch den Einsatz von Luftbildauswertung, GIS und Methoden der Regionalisierung bzw. Extrapolation soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag zum verbesserten Monitoring der Dynamik von Landschaftsstrukturen leisten.

1.2 Zielstellung

Umweltveränderungen können positive oder negative Effekte auf die Biodiversität haben, z. B. durch die Schaffung bzw. die Zerstörung von Lebensräumen oder durch das Verändern von Stoff- und Energieflüssen. Entscheidungen des Menschen wirken oft als Katalysator der Landschaftsveränderungen (FORMAN und GODRON, 1986). Im Rahmen dieser Arbeit werden die Veränderungen von Landbedeckung und Landnutzung in den letzten 50 Jahren in neun Testgebieten Ostdeutschlands untersucht. Die Analyse der Flächenveränderungen wird durch den Einsatz von Indikatoren erweitert, welche die Landschaftsstruktur sowie Nachbarschaftsbeziehungen von Landschaftsklassen beschreiben.

Da die großflächige Untersuchung von Landbedeckung mit dem Anspruch an einen hohen Detaillierungsgrad aufwendig und kostenintensiv ist, soll zusätzlich die Möglichkeit der Extrapolation von Landschaftsveränderungen auf Basis von quantitativen Faktoren getestet werden. Hierbei wird bewusst auf die Nutzung von externen Daten und Modellierungsregeln, z. B. aus sozioökonomischen Quellen, verzichtet. Somit soll ein Werkzeug für die Extrapolation von Landschaftsveränderungen geschaffen werden, das ausschließlich auf räumliche Landbedeckungsinformationen angewiesen ist.

Die wichtigsten Ziele dieser Arbeit sind (siehe auch Tabelle A.7 auf Seite 199):

- die quantitative und qualitative Beschreibung der Landschaft innerhalb der Testgebiete mit Bezug auf Flächenanteile und Landschaftsstruktur,
- die Entwicklung von Regeln bezüglich der Landschaftsveränderung aus der Kombination von Landschaftsstruktur-, Distanz- und Nachbarschaftsanalysen,
- die Quantifizierung und Lokalisation von potentiellen Landschaftsveränderungen mit Hilfe der entwickelten Regeln
- sowie die Prüfung der Extrapolationsmodellierung von Landschaftsveränderungen auf Grundlage empirisch erhobener Daten wie Flächenanteilen, Landschaftsstruktur-, Nachbarschafts- und Distanzmaßen.

Kapitel 2

Stand der Kenntnisse

2.1 Biodiversität und NATURA2000-Gebiete

„Biodiversität ist ein Maß für die qualitative, quantitative oder funktionelle Vielfalt biotischer Objekte aller Organisationsebenen in einem konkreten oder abstrakten, räumlichen oder zeitlichen Bezugsraum.“ Mit diesem Zitat fasst BEIERKUHNEIN (2003) die Aspekte aktueller Definitionen der Biodiversität zusammen. Die häufigste Verwendung des Begriffs Biodiversität schließt heute die drei Aspekte Artenvielfalt, genetische Vielfalt und Vielfalt der Ökosysteme sowie zusätzlich die biologischen Interaktionen ein (LARSSON ET AL., 2001). KÖHL und ZINGG (1996) beziehen sich mit ihrer Definition der Biodiversität auf die Gesamtheit aller Formen von Leben; das bedeutet, auf die Genetik, das Artenspektrum und das Ökosystem in einer Vielzahl von räumlichen und zeitlichen Dimensionen. Gleichzeitig weisen sie auf die Notwendigkeit einer klaren Definition von Elementen und Dimensionen der Biodiversität hin.

Als Werkzeuge für die Messung der Biodiversität dienen so genannte Biodiversitätsindikatoren, zum Beispiel die Anzahl der Arten pro Fläche, Evenness¹ oder das Vorkommen von Totholz (LARSSON ET AL., 2001).

Um die Biodiversität langfristig zu erhalten, wurden Schutzgebiete eingerichtet. So wurde z. B. im Rahmen länderübergreifender Schutzmaßnahmen für Flora, Fauna und Habitate (FFH) auf Ebene der Europäischen Union (EU) das NATURA2000-Netzwerk geschaffen. Dieses Verbundsystem von Schutzgebieten beinhaltet FFH-Gebiete gemäß Richtlinie 92/42/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 (EUROPÄISCHE UNION, 1992) und Vogelschutzgebiete gemäß Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 (EUROPÄISCHE UNION, 1979). Um die Erhaltung und Wiederherstellung von Lebensräumen zu gewährleisten und die Artenvielfalt² innerhalb der EU dauerhaft nach einheitlichen Kriterien zu schützen, ist es Ziel der FFH-Richtlinie, ein idealerweise zusammenhängendes Netz an Schutzgebieten zu schaffen. Die aktuellen FFH-Gebietsmeldungen (letztes Update: 1. Dezember 2006) umfassen etwa 12,2 % der terrestrischen Fläche der Mitgliedsstaaten der EU (einschließlich Zypern), jedoch ist der Stand der Schutzgebietsausweisung in den einzelnen

¹ Gleichverteilung einer Art in einem definierten Gebiet

² Die Lebensraumtypen und Arten sind in den Anhängen der Richtlinie aufgeführt.

Ländern sehr unterschiedlich vorangeschritten. Die Flächenanteile der gemeldeten Schutzgebiete variieren zwischen 6,5 % in Großbritannien und 31,4 % in Slowenien (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2006). Innerhalb des Gesetzes über Naturschutz und Landschaftspflege vom 21. September 1998 (Bundesnaturschutzgesetz 1998) setzte die Bundesrepublik Deutschland die FFH-Richtlinie in nationales Recht um. Bereits im September 2001 wurde die Bundesrepublik Deutschland wegen nicht ausreichender FFH-Gebietsmeldung vom Europäischen Gerichtshof schuldig gesprochen, und ein zusätzliches Strafverfahren wurde durch die EU-Kommission eingeleitet (SSYMANK, 2005). Im Jahr 2002 wurde das bestehende Gesetz durch ein aktualisiertes neues Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG 2002 (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ, 2002), ersetzt. Trotzdem verurteilte die Zweite Kammer des Gerichtshofes am 10. Januar 2006 die Bundesrepublik Deutschland (EUROPÄISCHER GERICHTSHOF, 2006) und formulierte sechs Verurteilungsgründe. Da am 17.02.2006 die letzten fehlenden FFH-Flächen gemeldet wurden, stellte die EU-Kommission das Zwangsgeldverfahren gegen Deutschland am 13.10.2006 ein (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007).

Gegenüber den klassischen Schutzgebietskategorien hat die Ausweisung von NATURA2000-Flächen aus forstlicher Sicht den Vorteil, dass die Flächen keinem Pauschalschutz unterliegen, sondern eine Nutzung bei Wahrung des Erhaltungszustandes unter Naturschutzgesichtspunkten zulassen (SSYMANK, 2005). Allerdings bewirkt die Ausweisung eines Gebiets als NATURA2000-Fläche trotzdem eine Einschränkung der wirtschaftlichen Handlungsfreiheit im Wald (FÜRST, 2005). Ein konservierender Naturschutzansatz kann Konflikte bei der forstlichen Nutzung nach sich ziehen (BECK und LAPPE, 2005).

Im Hinblick auf das Monitoring, z. B. des Schutzstatus der Fläche, und der daraus entstehenden Berichtspflichten an die Europäische Kommission, kann die vorliegende Arbeit einen Beitrag durch die Entwicklung von Methoden der Veränderungsanalyse leisten.

2.2 Grundlagen der Fernerkundung

Die Umweltwissenschaften stützen sich auf das Beobachten sowie das Messen von Prozessen in der Natur, um Hypothesen bezüglich betrachteter Phänomene abzuleiten. Die Fernerkundung (FE) bietet dabei eine effiziente Alternative zu den in-situ-Verfahren des Umweltmonitorings, vor allem, wenn Informationen über große oder schwer zugängliche Flächen gesammelt werden, die mit ausreichender Genauigkeit aus der Ferne gewonnen werden können.

Im Folgenden soll eine kurze Einführung zum Thema Fernerkundung mit dem Schwerpunkt Luftbilder und ihrer Auswertung gegeben werden. Die Fernerkundung ist ein indirektes Beobachtungsverfahren, bei dem die zu messenden Größen aus der vom Messobjekt reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung abgeleitet werden (ALBERTZ, 2001). Einige weitere Definitionen des Begriffs „Fernerkundung“ sowie Vorteile und Limitationen der Fernerkundung werden in JENSEN (2000) diskutiert.

Für die Wiedergabe der Erdoberfläche in Fernerkundungsdaten ist neben den Eigenschaften des Sensors sowohl die Intensität als auch die spektrale Zusammensetzung der Strahlung von Bedeu-

tung. Abbildung 2.1 zeigt das elektromagnetische Spektrum geordnet nach den Wellenlängenbereichen. In der Fernerkundung ist von Interesse, inwiefern spezielle Wellenlängen Objekteigenschaften unter Beachtung ihrer Emissions- bzw. Absorptionscharakteristik abbilden.

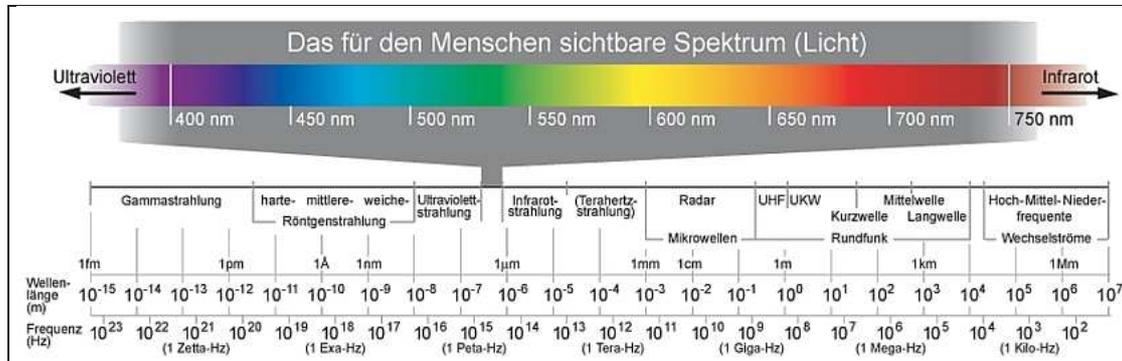


Abbildung 2.1: Das elektromagnetische Wellenspektrum (Quelle: WIKIPEDIA, 2007)

Aktive Fernerkundungssysteme, z. B. RADAR³ oder LIDAR⁴, senden elektromagnetische Wellen wie Mikrowellen bzw. Laser aus und empfangen die Reflexionen der Objekte auf der Erdoberfläche. Im Gegensatz dazu nehmen passive Fernerkundungssensoren nur die elektromagnetische Energie auf, die von einem Objekt oder einer Fläche reflektiert oder emittiert wird. So wird eine Störung des Untersuchungsobjekts vermieden. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der systematischen Aufnahme von sehr großen geographischen Gebieten im Vergleich zu Punktuntersuchungen bei in-situ-Aufnahmen (JENSEN, 2000).

Die unterschiedlichen Reflexionseigenschaften der Objekte, welche vom Material des beobachteten Objektes, seinem physikalischen Zustand, der Oberflächenrauigkeit sowie dem Einfallswinkel der Strahlung und des Betrachters abhängen, sind für die Differenzierung der Geländeobjekte in den Fernerkundungsdaten verantwortlich. Nachteilig kann sich die Atmosphäre auf die Beleuchtung der Geländefläche auswirken, die neben der Sonnenhöhe, der Exposition und der Höhe über Normalhöhennull (NHN) von dem Trübungszustand der Atmosphäre abhängt. Ferner werden Aufnahmen im Bereich des sichtbaren Lichts, im nahen Infrarot und im Thermal-Infrarot durch Bewölkung gravierend beeinträchtigt.

Weiterführende Informationen zu den physikalischen Grundlagen der Entstehung von Fernerkundungsdaten können in JENSEN (2000), ALBERTZ (2001) und LILLESAND ET AL. (2004) gefunden werden.

Fernerkundungsdaten werden heute in den unterschiedlichsten wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Bereichen genutzt, so z. B. in der Kartographie, Geodäsie, Meteorologie, Geologie, Landschaftsplanung, Archäologie, Forstwirtschaft etc. bis hin zum Umweltmonitoring. In ZIMMERMANN ET AL. (2007) sind einige Beispiele für die Anwendung der modernen Fernerkundung in der aktuellen Landschaftsforschung dargestellt. Militärische Fernerkundungsdaten spielen in der Umweltforschung ebenfalls eine bedeutende Rolle, da sie in manchen Regionen die einzige historische Datenquelle für Veränderungsanalysen der Landbedeckung sind.

³ Radio Detection and Ranging

⁴ Light Detection and Ranging

2.3 Aufnahme und Eigenschaften von Luftbildern

In Abhängigkeit von der Trägereinheit des Sensors wird vom Luftbild bzw. Satellitenbild gesprochen, solange es sich um die bildhafte Darstellung der Erdoberfläche handelt. Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit dem Auswerten von historischen Luftbilddaten. Deshalb werden im Folgenden kurz die Aufnahmetechnik sowie geometrische und radiometrische Eigenschaften von Luftbildern umrissen. Neben der Aufnahme von Fernerkundungsdaten mit photographischen Systemen können Daten mit Hilfe von Abtastsystemen, so genannten Scannern, und RADAR-Systemen gewonnen werden.

Der photographische Aufnahmeprozess von Luftbildern beruht auf dem Prinzip der Photographie, bei dem ein Bild des aufzunehmenden Objekts auf eine strahlungsempfindliche Schicht projiziert wird. Diese photographische Schicht fungiert in Verbindung mit dem Schichtträger gleichzeitig als Datenträger. Durch die Veränderung des Kristallgefüges der Silberhalide in der Schicht während der Belichtung entsteht ein dauerhaftes Abbild des beobachteten Objektes. Photographische Schichten werden sensibilisiert, damit die Hell-Dunkel-Verteilung im Bild der subjektiven Helligkeitswahrnehmung nicht völlig widerspricht. Neben unsensibilisierten und orthochromatischen Schichten werden in der Photographie panchromatische und infrarotempfindliche Schichten verwendet (ALBERTZ, 2001). In Abbildung 2.2 sind die spektralen Empfindlichkeitsbereiche verschiedener photographischer Schichten sowie des menschlichen Auges dargestellt.

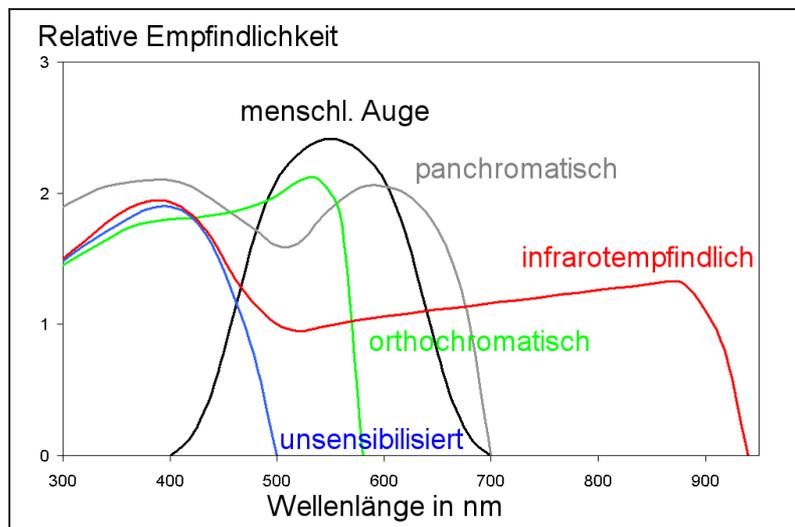


Abbildung 2.2: Relative spektrale Empfindlichkeit photographischer Schichten (nach ALBERTZ, 2001)

Für die Farbphotographie müssen die Filme aus drei photographischen Schichten aufgebaut sein, die jeweils für unterschiedliche spektrale Bereiche des Spektrums empfindlich sind. Ein Gelbfilter unter der obersten Schicht, welche für blaues Licht empfindlich ist, absorbiert die blauen Anteile des Lichts, das auf die unteren Schichten (2. Schicht: grünempfindlich, 3. Schicht: rot empfindlich) trifft. Das Filmmaterial für Luftbildaufnahmen muss hohen Anforderungen im Bereich der Empfindlichkeit und des Auflösungsvermögens gerecht werden.

Reihenmesskameras ermöglichen eine flächenhafte Aufnahme von Senkrecht-Luftbildern, indem

die Bilder in parallelen Flugstreifen mit einer Querüberdeckung von 20 % und einer Längsüberdeckung von 60 % aufgenommen werden. Heute werden vermehrt digitale Kameras genutzt, da sie gegenüber der analogen Filmtechnik mehrere Vorteile aufweisen. So ist z. B. die radiometrische Auflösung gegenüber herkömmlichen Filmen wesentlich höher. Digitalkameras versprechen verbesserte Bildqualität, Genauigkeit und Geschwindigkeit durch die Verwendung flächenhafter CCD⁵-Sensoren sowie Kostenersparnis durch wirtschaftlichere Bildfluganordnung und den Wegfall von Filmentwicklung (HANSA LUFTBILD, 2007).

Viele Landbedeckungstypen, vor allem Vegetation, verändern im Laufe eines Jahres ihre radiometrischen Eigenschaften. Für die Kartierung der Landnutzung ist der Frühsommer aufgrund der einfacheren Identifikation der Landnutzungsklassen am besten geeignet. Die regionalen Vermessungsämter bevorzugen aufgrund der Bodensicht jedoch die Frühjahrszeit vor dem Beginn der Vegetationszeit.

2.4 Photogrammetrische Auswertungen und visuelle Bildinterpretation

Der Vorgang der visuellen Interpretation wird durch das Messen einzelner Größen, wie z. B. von Objektlängen und Objektflächen oder auch Distanzen, unterstützt. Dies ist für das Einhalten der Interpretationsregeln, z. B. der minimalen Kartiereinheit, unumgänglich. Ebenso sind lage- und maßstabsgetreue Abbildungen für die Kartierung von Landschaften wichtig. Bei der photogrammetrischen Auswertung von Luftbildern steht die Bestimmung geometrischer Größen im Vordergrund. Dazu müssen jedoch die Luftbilder geometrisch transformiert werden, um die Verzerrungen durch das Aufnahme-System und das Geländereief zu eliminieren.

Ferner werden die Daten in ein bestimmtes geodätisches Referenzsystem eingepasst. Dafür müssen die geometrischen Beziehungen zwischen den Bildkoordinaten und den Geländekoordinaten mit Hilfe von Passpunkten bestimmt werden. Der Einsatz von GPS (Global Positioning System) gewinnt bei der Georeferenzierung immer mehr an Bedeutung.

Zu den radiometrischen Eigenschaften eines Bildes gehören u. a. das sensorspezifische Rauschen, der Helligkeitsabfall in der Bildebene und die spektrale Auflösung. Neben der Kornstruktur der photographischen Schicht schränken vor allem die Abbildungsleistung des Objektivs und die spektralen Eigenschaften der Objekte und ihrer Umgebung selbst die Erkennbarkeit von Objekten ein. Weiterführende Beschreibungen lassen sich in Büchern zum Thema digitale Bildverarbeitung und Photogrammetrie finden (z. B. in JENSEN, 2000; MIKHAIL ET AL., 2001; JÄHNE, 2002; LILLESAND ET AL., 2004; JENSEN, 2005).

Aus der Sicht der Fernerkundung kann man den komplexen Gesamtprozess der visuellen Bildinterpretation in zwei Stufen unterteilen (ALBERTZ, 2001). Die erste Stufe betrifft das Erkennen von Objekten, was im Wesentlichen von der Erfahrung des Beobachters auf dem Gebiet der visuellen Wahrnehmung abhängt. Daran schließt sich in der zweiten Stufe die eigentliche Interpretation an, bei der aufgrund der erkannten Objekte und dem bewussten Kombinieren mit fachspezifi-

⁵ Charge-Coupled Device

schen Kenntnissen Schlussfolgerungen über die Landbedeckung bzw. Landnutzung gezogen werden. Verschiedene einzelne Faktoren tragen zum Erkennen von Objekten in Fernerkundungsdaten bei (JENSEN, 2000; ALBERTZ, 2001; LILLESAND ET AL., 2004; KÖHL ET AL., 2006). Dazu zählen die Helligkeit einer Fläche bzw. Helligkeitsunterschiede, der Farbton und die Sättigung, die Form, Größe und Muster der Objekte sowie die Textur einer Oberfläche. Schattierungen der Oberflächenformen und Schlagschatten spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle beim Erkennen von Objekten in Fernerkundungsdaten. Die relative Lage der Objekte bzw. räumliche Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten geben dem Interpreten Hinweise zu deren Identifizierung. In KÖHL ET AL. (2006) (Seiten 222–223) sind die wichtigsten Parameter für die Identifikation von ausgewählten Landbedeckungsklassen zusammengefasst. Der Ablauf der Bildinterpretation hängt stark von der Zielsetzung, dem Untersuchungsgebiet und dem Datenmaterial sowie der Erfahrung des Interpreten ab. Zum Datenmaterial gehören neben den Fernerkundungsdaten auch topographische und thematische Karten oder Inventurdatenbanken. Mit Hilfe eines Interpretationsschlüssels kann mehr Objektivität in den Interpretationsvorgang gebracht werden, indem das Vorgehen bei der Interpretation durch ein festgelegtes Schema vereinheitlicht wird (z. B. in ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN, 2003).

2.5 Geographische Informationssysteme

Der Begriff Geoinformationssystem (GIS) kennzeichnet Systeme zur Datenverarbeitung, in denen raumbezogene Daten erfasst, verarbeitet und visualisiert werden. Räumliche Beziehungen, Muster und Trends werden identifiziert. Neben der Hardware besteht ein GIS aus den Komponenten Software und Datenbestand. Der Datenbestand besteht aus raumbezogenen Daten verschiedener Art, die in einzelnen Ebenen strukturiert sind. In einem GIS werden dabei den thematischen Sachdaten, die in einer Datenbank abgelegt sind, die Geometriedaten gegenübergestellt. Die raumbezogenen Daten beschreiben die geographische Lage sowie die Form und Größe von Objekten. Die räumliche Beziehung von Objekten wird als Topologie bezeichnet und ist für Nachbarschaftsanalysen von herausragender Bedeutung.

Dabei kann es sich um Daten in Vektorform oder um Rasterdaten handeln (Abbildung 2.3 auf der nächsten Seite), wie sie in der Fernerkundung und Bildverarbeitung üblich sind (ALBERTZ, 2001). Rasterdaten weisen gegenüber Vektordaten einige Vor- aber auch Nachteile auf (Tabelle 2.1 auf der nächsten Seite). Vektoren sind durch einen Startpunkt (xy-Koordinate), die Richtung (Winkel) und die Länge definiert. Die Geometrie von Objekten wird im Vektorformat anhand von Punkten, Linien und Polygonen beschrieben. Im Gegensatz dazu sind die Grundeinheiten von Rasterdaten Pixel (picture elements), die in Zeilen und Spalten angeordnet sind und abhängig von ihrer Größe einen bestimmten Ausschnitt der Erdoberfläche repräsentieren.

Die Verarbeitung von Geodaten stellt eine der mächtigsten Nutzungsmöglichkeiten eines GIS dar und beinhaltet geographische, statistische und geo-statistische Analysen sowie Modellierungsansätze. Neben der Abfrage von Objekteigenschaften und der Selektion der Ergebnisse in einer Karte werden häufig das Erstellen von Pufferzonen, die Verschneidungen und das Verschmelzen von verschiedenen Informationsebenen, Topologie-, Netzwerk- und Oberflächenanalysen sowie Re-

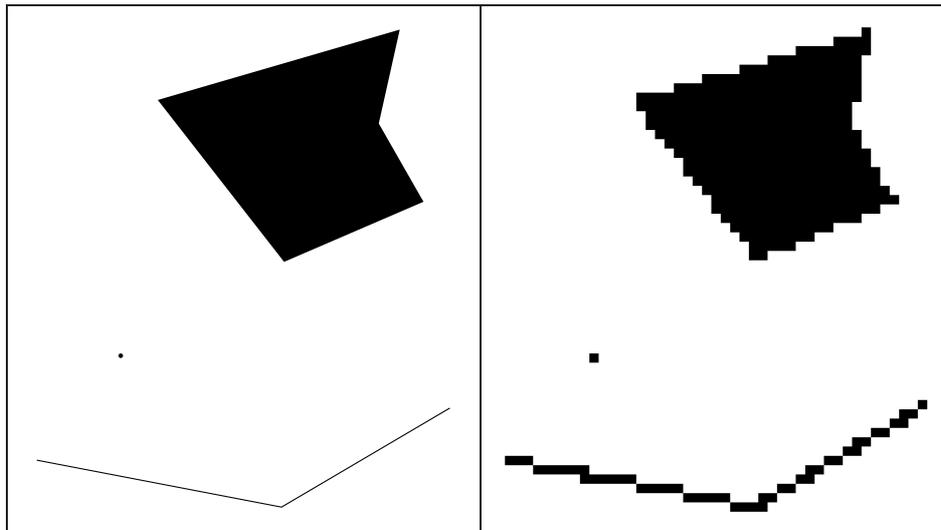


Abbildung 2.3: Darstellung verschiedener Objekte im Vektor- (links) bzw. Rasterformat (rechts)

gionalisierungen durchgeführt.

In Tabelle 2.2 auf der nächsten Seite sind häufig angewendete Operationen der Geo-Datenverarbeitung von Vektordaten zusammengefasst.

Geographische Informationssysteme sind mittlerweile in vielen Bereichen der Verwaltung, Planung und Forschung fest integriert, was jedoch nicht automatisch eine Garantie für akzeptable Problemlösungen ist. Das Know-how des Anwenders spielt eine elementare Rolle bei der effektiven

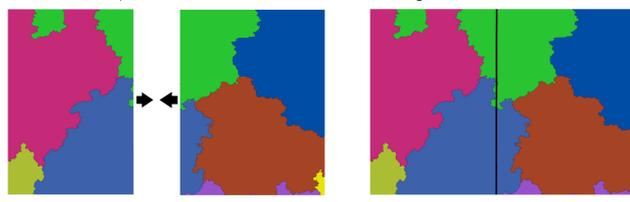
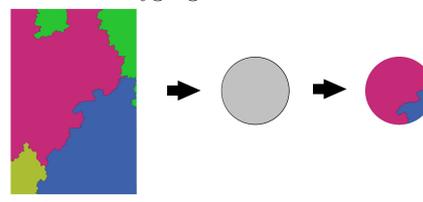
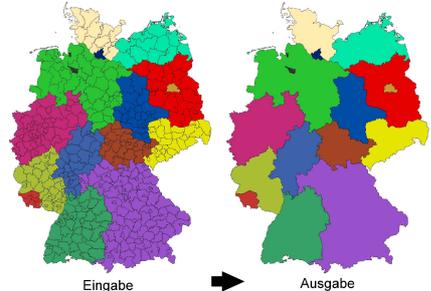
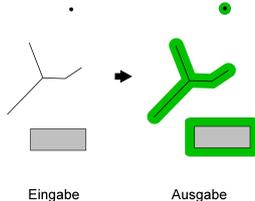
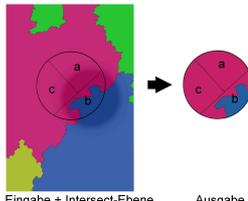
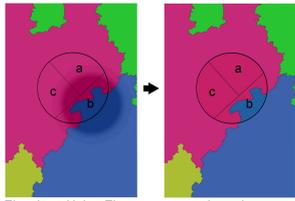
Tabelle 2.1: Vor- und Nachteile von Vektor- und Rasterdaten

Vektordaten	
Vorteile	Nachteile
geringere Redundanz	Überlagerung von Karten ist komplex
klar strukturierte Topologie, gute Eignung für die Analyse thematischer Beziehungen	Analyse geometrischer Beziehungen ist komplex
geringer Speicherbedarf bei gleichzeitig hoher Kartengenauigkeit	
Rasterdaten	
Vorteile	Nachteile
einfache Verarbeitung durch regelmäßige Einheiten (Rasterelemente)	Datenredundanz
einfache Analyse von Nachbarschaftsbeziehungen	Genauigkeit hängt von Pixelgröße ab
Abbildung kontinuierlicher Oberflächen	hoher Speicherbedarf bei hoher Genauigkeit
einfache Kombination verschiedener Ebenen	topologische Beziehungen sind schwer erfassbar
Verfügbarkeit	

Quellen: KASPERIDUS und LAUSCH (1998), KÖHL ET AL. (2006)

2 Stand der Kenntnisse

Tabelle 2.2: Häufig angewendete Operationen der Verarbeitung von Vektordaten

<p>Append</p> <p>Kombinieren von multiplen Vektordaten in einer großen Datenebene, welche alle unveränderten Inputdaten enthält</p>  <p>Eingabe Ausgabe</p>	<p>Clip</p> <p>Ausschneiden von Vektorelementen mit Hilfe von Polygongrenzen</p>  <p>Eingabe Clip-Polygon Ausgabe</p>
<p>Dissolve</p> <p>Kombinieren von Elementen basierend auf spezifischen Attributen (hier: Zugehörigkeit zum Bundesland)</p>  <p>Eingabe Ausgabe</p>	<p>Buffer</p> <p>Erstellen von neuen Puffer-Polygonen um Polygon-, Linien- oder Punktelemente</p>  <p>Eingabe Ausgabe</p>
<p>Intersect</p> <p>Verschneiden von Elementen verschiedener Vektorebenen, die den selben geographischen Ort einnehmen</p>  <p>Eingabe + Intersect-Ebene Ausgabe</p>	<p>Union</p> <p>Kombinieren von Elementen aus verschiedenen Vektorebenen</p>  <p>Eingabe + Union-Ebene Ausgabe</p>

Quelle: ESRI (2004b)

und fehlerfreien Bedienung der Komponenten eines geographischen Informationssystems.

2.6 Landschaft und Veränderung

2.6.1 Landbedeckung und Landnutzung

Die Begriffe Landbedeckung und Landnutzung werden fälschlicherweise oft als Synonyme verwendet. Tatsächlich beschreibt der Terminus Landbedeckung die biophysikalischen Materialien, die an der Landoberfläche gefunden werden (z. B. Wasser, Sand, Wald). Der Begriff Landnutzung hinge-

gen bezieht sich auf die Nutzungsart der Landschaft durch den Menschen (JENSEN, 2000; LAMBIN ET AL., 2006). Auch in der CORINE-Land-Cover-Klassifizierung lassen sich Beispiele für Landbedeckung und Landnutzung finden, z. B. *Nadelwald* (312) als Landbedeckungstyp und *Weiden* (231) als Landnutzungstyp.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Landbedeckungs- und Landnutzungsklassen unter dem Begriff Landbedeckung bzw. Landoberfläche zusammengefasst. Das bedeutet, dass in der vorliegenden Arbeit alle Aussagen bezüglich Landbedeckungsklassen auch immer die Landnutzungsklassen (und vice versa) mit in die Betrachtung einschließen.

2.6.2 Was ist Landschaft?

Landschaft kann im weitesten Sinne als ein Territorium, eine geographische Fläche, oder die Umwelt um einen Beobachter interpretiert werden (AGUILÓ und IGLESIAS, 1995). FORMAN und GODRON (1986) definierten die Landschaft als Mosaik von Ökosystemen. Sie wird durch die Struktur und Funktionen des ökologischen Mosaiks und deren Veränderungen über die Zeit charakterisiert (FORMAN und GODRON, 1986; URBAN ET AL., 1987; GUSTAFSON, 1998). Die meisten Landschaften sind durch menschliche Landnutzung beeinflusst. Die resultierende Landschaft ist eine Mischung von natürlichen und bewirtschafteten Teilflächen (Patches), die in Größe, Form und räumlicher Verteilung variieren (TURNER, 1989). Die Landschaft verändert sich aufgrund natürlicher Prozesse (z. B. Feuer, Blitzschlag, Sukzession usw.) und der Beeinflussung durch den Menschen (z. B. urbanes Wachstum, Rohstoffgewinnung). So muss sie eher als dynamische, zeitabhängige Größe verstanden werden anstatt als statische Assoziation von biotischen und abiotischen Elementen.

Das Interesse an der Untersuchung der Vergangenheit der Landschaft ist groß, da zum einen diese Studien die Lokalisation von historischen gesellschaftlichen und individuellen Spuren ermöglichen, z. B. die touristische Nutzung von historischen Verkehrswegen. Zum anderen sind die Informationen über die frühere Landschaft für Planungsprozesse in der Landnutzungsplanung (inklusive der Stadtentwicklung, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Infrastruktur) sowie auf den Gebieten der nachhaltigen Entwicklung und der Biodiversität relevant (BÜRGI ET AL., 2007). Die Analyse der verschiedenen Antriebskräfte (driving forces) von Landschaftsveränderungen in der Vergangenheit führt zudem zu einem besseren Verständnis der Beziehungen zwischen Gesellschaft und Landschaft und kann die Entwicklung neuer Politikinstrumente unterstützen. Informationen über frühere Landnutzung und Bewirtschaftungsformen fördern das Verständnis von aktuellen Ökosystemfunktionen, Mustern und Prozessen in der Landschaft (BÜRGI ET AL., 2007).

Es können mündliche, schriftliche, kartographische und ökologische Quellen genutzt werden, um die historische Landschaft umfassend zu beschreiben (BÜRGI ET AL., 2007). Neben Jahrring-Chronologie und geologischen Untersuchungen spielt die Fernerkundung (FE) aufgrund der Möglichkeit der effizienten Untersuchung von großen Flächen eine bedeutende Rolle bei der Analyse von Langzeitveränderungen. So nimmt ein einzelnes Luftbild die Erdoberfläche und die Atmosphäre zum jeweiligen Moment in Raum und Zeit auf. Diese Photographien sind wertvolle historische Aufnahmen der räumlichen Verteilung von natürlichen und menschengeschaffenen Phänomenen (JENSEN, 2000). Wenn man historische mit aktuellen Luftbildern vergleicht, können subtile bzw.

dramatische Veränderungen bestimmt werden. In der Veröffentlichung von GALEGO (2004) sind Methoden für die Bestimmung der Landbedeckungsfläche mit Hilfe von Fernerkundungsdaten dargestellt.

2.6.3 Landschaftsveränderungen

Veränderungsanalysen erhöhen das Verständnis über die räumliche und zeitliche Dynamik von natürlichen und anthropogenen Prozessen, die in der Landschaft wirken. Mit Hilfe der Regelwerke, die aus der Untersuchung der historischen Veränderungen entstanden sind, können bei definierten Rahmenbedingungen Prognosen über zukünftige Entwicklungen erstellt werden (JENSEN, 2000).

Diese Prognosemodelle sind eines der wichtigsten Ziele in der Forschung auf dem Gebiet der Landschaftsökologie, bei denen die Fernerkundung und Bildinterpretation verstärkt an Bedeutung gewinnen.

Es wurden bereits viele Untersuchungen mit dem Ziel, Veränderungen von Landbedeckung zu erfassen, durchgeführt. Dabei wurden verschiedene FE-Daten als Grundlage genutzt, so z. B. historische topographische Karten (TK) für die Erfassung von Waldflächenveränderungen (WULF und GROSS, 2004; SCHWARTZ, 2005). Eine große Anzahl von Autoren beschäftigte sich mit der Analyse von Landschaftsveränderungen mit Hilfe von Satellitendaten (z. B. MAS, 1999; JONES ET AL., 2001; MCCUSKER, 2001; SERNEELS und LAMBIN, 2001; MÜLLER und ZELLER, 2002; YUE ET AL., 2003; DONOGHUE ET AL., 2004; YEN ET AL., 2005). Für die Untersuchung von kleineren Gebieten mit höherem Detailierungsgrad wurde vorwiegend auf historische Luftbilder zurückgegriffen (z. B. CARMEL und KADMON, 1998; COMBER ET AL., 2003; CALVO-IGLESIAS ET AL., 2006; HYVÖNEN und ANTTILA, 2006). Zum Zweck der Veränderungsanalyse wurden thematische Karten auch aus unterschiedlichen Datenquellen abgeleitet (z. B. STEINHARDT ET AL., 1999; REDER, 2002). In einigen Untersuchungen von Landschaftsveränderungen, z. B. in IVERSON (1988), konnte auf bereits digitalisierte Daten, wie Boden- und Landnutzungsparameter, zurückgegriffen werden.

2.6.4 Landschaftsuntersuchungen in Projekten

Das Interesse an der Analyse von Landbedeckung und Veränderungen spiegelt sich auch in der großen Anzahl verschiedener Projekte und Programme wider, von denen hier nur eine Auswahl vorgestellt werden kann.

Global

Das Lucc⁶-Projekt ist ein Element des IGBP⁷ und der IHDP⁸. Das Projekt zielt auf ein verbessertes Verständnis der Dynamiken der Landnutzungs- und Landbedeckungsveränderungen sowie ihrer Beziehungen zu den globalen Umweltveränderungen (LUCC, 2002).

⁶ Land Use and Land Cover Change

⁷ International Geosphere and Biosphere Programme

⁸ International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change

Landbedeckungskarten liegen auch im globalen Maßstab vor, z. B. in Form der GLC2000⁹-Daten. Diese globale LC-Datenbank für das Jahr 2000 besitzt eine räumliche Auflösung von 1 km und wird in einer internationalen Partnerschaft von mehr als 30 Forschungsgruppen produziert (BARTHOLOMÉ ET AL., 2002). Das Projekt wird vom Joint Research Centre (JRC) der europäischen Kommission (EC) koordiniert. Der Hauptteil der Datengrundlage für das GLC2000-Projekt besteht aus VEGA2000¹⁰-Daten. Die Daten wurden mit Hilfe des VEGETATION-Instruments an Bord des SPOT4-Satelliten für den Zeitraum 1.11.1999 bis 31.12.2000 aufgenommen (BARTHOLOMÉ ET AL., 2002; JRC, 2006).

Ein anderes globales Landbedeckungsprodukt mit einer räumlichen Auflösung von 1 km, die IGBP-global-land-cover-Datenbank, genannt „DISCover“, wurde unter der Koordination des IGBP-DIS¹¹ produziert (LOVELAND und BELWARD, 1997). Die zugrunde liegende Klassifikation beinhaltet jedoch komplexe Klassen, z. B. Mosaik aus Getreideflächen und natürliche Vegetation, was die Nutzung der Daten für Umweltstudien einschränkt (CHAMPEAUX ET AL., 1998).

Pan-Europa

Auf der pan-europäischen Ebene ist besonders das CORINE¹²-Land-Cover-(CLC)-Projekt hervorzuheben, in dem ein großer Teil der Landbedeckung Europas in einheitlicher hierarchischer Klassifizierung mit 44 Klassen kartiert wurde. Die CORINE-Land-Cover-Datenbank für das Referenzjahr 1990 (CLC90) wurde durch visuelle Interpretation von hoch auflösenden Satellitenbildern, z. B. Landsat-TM und SPOT-XS, in einem Maßstab von 1:100 000 unter Zuhilfenahme von Zusatzinformationen über die Landbedeckung bzw. Landnutzung erstellt (HEYMANN ET AL., 1994). Das Update der CLC-Datenbank erfolgte etwa 10 Jahre später im Rahmen des CORINE-Land-Cover-2000-(CLC2000)-Projekts. Hierbei wurden 4,5 Mio. km² der Erdoberfläche mit einer minimalen Kartiereinheit von 25 ha aufgenommen (BÜTTNER ET AL., 2004). Besonderes Augenmerk wurde auf die einheitliche Umsetzung der Interpretationsregeln in den einzelnen europäischen Staaten und eine verbesserte Genauigkeit gegenüber CLC90 gelegt (KEIL ET AL., 2002). Das Ergebnis ist eine Geo-Datenbank mit bis dato nicht erreichtem Detailierungsgrad bezüglich der geometrischen Auflösung und Anzahl der thematischen Klassen, die flächendeckend Informationen über die Landbedeckung in Europa liefert. Jedoch sind die CLC-Daten nicht für jede Fragestellung hinreichend geeignet.

So war z. B. das Ziel des Projekts PELCOM (Pan-European Land Cover Monitoring) die lückenlose Kartierung der pan-europäischen Landoberfläche in 1-km-Auflösung für die speziellen Anforderungen der Umwelt- und Klimamodellierungen (MÜCHER ET AL., 2000). Die europäische Landbedeckungskarte wurde aus NOAA¹³-AVHRR¹⁴-Satellitendaten abgeleitet, um eine einfache Aktualisierung zu gewährleisten.

Im Projekt LACOAST (Land Cover Changes in Coastal Zones) wurde die Veränderung der

⁹ Global Land Cover

¹⁰ Vegetation data for Global Assessment

¹¹ International Geosphere and Biosphere Programme Data and Information System

¹² Coordination of Information on the Environment

¹³ National Oceanic and Atmospheric Administration

¹⁴ Advanced Very High Resolution Radiometer

Landbedeckung der europäischen Küstenregionen (10-km-Streifen) zwischen 1975 und den 90ern mit Hinblick auf sozioökonomische Aspekte untersucht (PERDIGAO und CHRISTENSEN, 2000; JRC, 2001a). Hierbei wurde dieselbe harmonisierte Methodik wie für die Produktion der CLC-Datenbank angewendet. Die Referenz für die 90er Jahre war CLC90, und für 1975 wurden die Landbedeckungsveränderung anhand von Landsat-MSS-Bildern und Luftbildern interpretiert.

Das Projekt MURBANDY (Monitoring Urban Dynamics) ist ein Forschungsprojekt am Space Applications Institute (SAI) des JRC, welches sich mit den Entwicklungstrends von 25 europäischen Stadtgebieten in den letzten 50 Jahren beschäftigt (HERMES und SEMPFHUBER, 2002). Ein Ziel ist die Entwicklung eines computergestützten Modells, mit dem zukünftige Entwicklungen der Landnutzung in urbanen Bereichen simuliert werden können. Dieses Modell kann Entscheidungsträger auf lokaler und europäischer Ebene bei Fragen einer nachhaltigen und umweltverträglichen Stadtplanung unterstützen (GESIS, 2006).

Im Nachfolgeprojekt MOLAND (Monitoring Land Cover/Use Dynamics) werden Planungswerkzeuge zur Verfügung gestellt, die u. a. für das Monitoring und Modellieren der Entwicklung von städtischer und regionaler Umwelt genutzt werden können und den quantitativen und qualitativen Vergleich auf pan-europäischer Ebene ermöglichen (JRC, 2001b).

Die vorliegende Arbeit entstand auf der Grundlage von Geodaten, die während des Projekts BIOPRESS (Linking pan-european landcover change to pressures on biodiversity) erhoben wurden. Das Hauptziel des Projekts war die Analyse des Landschaftswandels (1950 – 1990 – 2000) innerhalb und in unmittelbarer Umgebung von ausgewählten NATURA2000-Gebieten in Europa sowie die Untersuchung der Beziehungen zwischen den beobachteten Landschaftsveränderungen und der durch den Menschen verursachten Einflussfaktoren auf die Biodiversität (GERARD ET AL., 2006). Weitere Informationen zum Projekt befinden sich im Kapitel 3 auf Seite 19.

2.7 Landschaftsstrukturmaße

Die Landschaftsökologie untersucht die Interaktionen zwischen räumlichen Mustern von Landschaftselementen und ökologischen Prozessen in der Landschaft (FORMAN und GODRON, 1986; TURNER, 1989; GUSTAFSON, 1998; TURNER, 2005). Um im Rahmen von Landschaftsanalysen Zusammenhänge zwischen dem Landschaftsmuster und landschaftlichen Funktionen und Prozessen herstellen zu können, ist es nötig, die Eigenschaften des Landschaftsmusters zu beschreiben. Die Landschaft wird durch die Zusammensetzung, d. h. durch die Anzahl und Art, sowie die Anordnung einzelner Landschaftselemente in ihrer Größe und Lage zueinander charakterisiert (WALZ, 2004).

Der Zustand, aber auch die Veränderung der räumlichen Muster der Landschaft, kann mit Hilfe von statistischen Messgrößen — so genannten Landschaftsstrukturindizes bzw. Landschaftsstrukturmaßen (LSM) — quantifiziert werden (O'NEILL ET AL., 1988; MCGARIGAL und MARKS, 1995; OEHMICHEN und KÖHL, 2006). Komfortable Softwarelösungen, wie z. B. FRAGSTATS oder PatchAnalyst (Erweiterung für ESRI® ArcView), haben zur weit verbreiteten Nutzung von Landschaftsstrukturmaßen beigetragen. Die Berechnung der Messgrößen erfolgt auf der Basis von klas-

sifizierten Daten (z. B. Landbedeckungskarten, Biotoptypenkarten), deren Grundeinheit das Patch darstellt.

Landschaftsstrukturmaße können auf drei Ebenen bestimmt werden (MCGARIGAL, 2002):

1. Patchebene: Untersuchung des räumlichen Charakters und des Kontextes eines einzelnen Landschaftselements (Patches);
2. Klassenebene: aggregierte Bewertung aller Patches einer Klasse (z. B. Landbedeckungsklasse);
3. Landschaftsebene: aggregierte Bewertung aller Klassen.

Die Indizes auf der Klassen- bzw. Landschaftsebene können durch einfache oder gewichtete Mittelwertbildung berechnet werden. Zusätzlich können Strukturmaße ermittelt werden, die auf den jeweils hierarchisch untergeordneten Ebenen nicht kalkulierbar sind (u. a. Indizes mit Aussagen über Vielfalt wie z. B. die Klassenanzahl). Es existieren heute über 100 verschiedene Landschaftsstrukturmaße und unzählige Arbeiten, die teilweise auch die Limitationen der Strukturmaße aufzeigen.

Viele Indizes korrelieren eng miteinander. So zeigte eine Untersuchung von RIITERS ET AL. (1995), dass durch nur sechs univariate Parameter 87 % der Varianz der untersuchten Strukturmaße erklärt werden konnten. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen GRIFFITH ET AL. (2000), die in ihrer Untersuchung mit fünf Indikatoren 81–89 % der Variationen von 27 Landschaftsmaßen erklären. O'NEILL ET AL. (1999) empfehlen für die Analyse der Landschaftsstruktur ebenfalls nur fünf klassische Strukturindizes, die einfach zu berechnen und interpretieren sind.

Ebenso ist es unerlässlich, den richtigen Maßstab für die Untersuchung der Landschaftselemente (Patches) unter Beachtung des Maßstabs der ökologischen Prozesse zu wählen (GUSTAFSON, 1998). Die Messungen von räumlichen Mustern und Heterogenität in der Landschaft sind vom Betrachtungsmaßstab abhängig (TURNER, 1989). So konnten z. B. GRIFFITH ET AL. (2000) in ihren Untersuchungen zwar ähnliche Tendenzen der Landschaftsmaße in drei unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäben feststellen, die Maße selbst waren jedoch nicht mehr vergleichbar. ZURLINI ET AL. (2006) weisen darauf hin, dass Landschaftsanalysen auf mehreren Maßstabsebenen gleichzeitig durchgeführt werden sollten, damit Hypothesen über Regelmechanismen im ökologischen System abgeleitet werden können.

Die unkritische Übertragung von Landschaftsstrukturmaßen von einer Landschaft auf eine andere kann problematisch sein. So kam HULSHOFF (1995) zu dem Ergebnis, dass nicht alle in Nordamerika entwickelten Landschaftsstrukturmaße anwendbare Werte für eine niederländische Landschaft liefern. CAIN ET AL. (1997) testeten die Stabilität der von RIITERS ET AL. (1995) ausgewählten Parameter anhand eines Sets von Landbedeckungskarten, die sich in Auflösung, Anzahl der thematischen Klassen und Methode der Delinierung der Grenzlinien unterschieden. Dabei zeigten die Strukturmaße für die Landbedeckungsklassen-Diversität, die Textur und die fraktale Dimension konsistentere Ergebnisse als für die durchschnittliche Patch-Form und die Kompaktheit.

Nur wenige Landschaftsmaße produzieren Werte, die allein stehend eine ausreichende Aussagekraft besitzen. Den größten Nutzen kann man durch den Vergleich von alternativen Landschafts-

konfigurationen oder derselben Landschaft zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhalten (GUSTAFSON, 1998).

Wenn Landschaftsmuster ökologische Prozesse beeinflussen, dann können die abgeleiteten Landschaftsindizes mit den Prozessen korreliert sein und somit als Mittel für das Monitoring von ökologischen Veränderungen genutzt werden. LI und WU (2004) kritisieren, dass viele Landschaftsanalysen die räumlichen Muster nur quantitativ beschreiben, aber nicht die Beziehung zwischen Muster und Prozess untersuchen. TISCHENDORF (2001) zeigt, dass viele der untersuchten Strukturindizes ein Potenzial für inkonsistente und zufällige statistische Beziehungen mit den (Response-)Variablen von ökologischen Prozessen besitzen, wobei auf der Klassenebene generell stärkere statistische Beziehungen zu erkennen waren als auf der Landschaftsebene. WICKHAM und NORTON (1994) stellten dagegen signifikant positive Beziehungen zwischen Straßensegmentdichte und urbanen Landschaftsmustern fest. Das Modellieren von Landbedeckungsänderungen mit ausschließlicher Nutzung von Landbedeckungsinformationen ist über einen langen Zeitraum nicht sinnvoll, da die veränderte Landbedeckung mehr als einen anthropogenen Einfluss reflektiert (z. B. Extensivierung der Landwirtschaft und Bevölkerungswachstum) (WEAR und BOLSTAD, 1998).

Ein spezielles Aufgabengebiet der Landschaftsökologie ist die Untersuchung der Fragmentierung bzw. der Zerschneidung der Landschaft. Die Fragmentierung einer Landschaft stellt die räumliche Zerteilung eines Habitats, Ökosystems oder eines Landbedeckungs- bzw. Landnutzungstyps in kleinere Einheiten dar (FORMAN, 1995; RUTLEDGE, 2003). JAEGER (2003) beschreibt die Zerschneidung oder Fragmentierung als den Prozess im Hinblick auf die Veränderung der Landschaftsstruktur, während der Zerschneidungsgrad bzw. Fragmentierungsgrad den Zustand einer Landschaft darstellt. Mit Hilfe der Landschaftsindizes wird somit also nur der Zustand der Landschaft abgebildet und nicht der Prozess oder die Ursache eines Prozesses. RUTLEDGE (2003) untersuchte verschiedene Landschaftsstrukturmaße, und kam zu dem Schluss, dass LSM keine sinnvollen Indikatoren für die Effekte der Landschaftszerschneidung auf die Umwelt sind, sondern ihre Stärken in der quantitativen Beschreibung der Landschaftsmuster haben.

AGUILÓ und IGLESIAS (1995) stellen verschiedene Techniken vor, mit denen die räumliche Struktur der Landnutzung analysiert werden kann, z. B. klassische Methoden zur Bestimmung der Fragmentierung (Autokorrelation, Kantenbestimmung, Formmaße), der fraktalen Geometrie oder der Perkulations- und Informationstheorie (Dominanzindizes). BOLLINGER ET AL. (2007) stellt statische und dynamische Landschaftsindizes vor, die auf diskreter oder kontinuierlicher Datengrundlage basieren. Neben den allgemein bekannten Landschaftsstrukturmaßen, die auf der Komposition und Konfiguration einzelner Patches von thematischen Klassen (z. B. Landbedeckung) beruhen, werden Indikatoren beschrieben, die mit Hilfe von geostatistischen Methoden, Spektralanalysen, Fraktal- und Lakunaritätsanalysen, Wavelet-Analysen und der surface metrology bestimmt werden.

Ein gegenwärtiger Trend in der Analyse von Landschaftsstrukturen ist die zusätzliche Betrachtung der Topographie bei der Bestimmung von Strukturmaßen (DORNER ET AL., 2002; HOECHSTETTER ET AL., 2006).

JONES (2005) gibt eine Übersicht über ausgewählte aktuelle Landschaftsmodelle, die zukünftige Landschaftsentwicklungen abbilden. Die Vorhersage zukünftiger Landschaftsmuster bleibt jedoch

weiterhin eine Herausforderung in der Landschaftsökologie (TURNER, 2005). Weiterer Forschungsbedarf besteht auch bei der Anwendung von Fuzzy-Klassifizierungen, mit deren Hilfe nicht abrupte Grenzen zwischen Landbedeckungsklassen oder auch Gradienten in semi-natürlichen Landschaften besser und realitätsnaher abgebildet werden könnten (ARNOT ET AL., 2004).

2.8 Extrapolation von Geo-Daten

Aktuelle Herausforderungen wie die Verschmutzung der Umwelt, die Erwärmung der Atmosphäre, der Artenrückgang, Landnutzungskonflikte u. a. gewinnen zunehmend an globaler Bedeutung. Die zugrunde liegenden Prozesse laufen großflächig und über längere Zeitperioden ab. Dagegen werden in der ökologischen Forschung aufgrund finanzieller und technischer Restriktionen meist nur relativ kleine Gebiete zu einem Zeitpunkt untersucht. Die Übertragung von Ergebnissen und Erkenntnissen von Testgebieten auf andere Flächen bzw. derselben Region zu unterschiedlichen Zeitpunkten ist heute eine der größten Herausforderungen in der Landschaftsökologie. Wenn die Vorhersagen auf aktuellem Wissen basieren, wird dieses Verfahren Extrapolation genannt (MILLER ET AL., 2004). So extrapolierte beispielsweise MULLER ET AL. (1999) eine Vegetationskarte eines Testgebiets (9 000 km²) auf den Norden Alaskas (200 000 km²).

Um Vorhersagen in unterschiedlichen räumlichen Maßstäben machen zu können, müssen Prozesse und damit verbundene Parameter identifiziert, Regeln für die Übertragung der Informationen aufgestellt und Testmöglichkeiten geschaffen werden (TURNER, 1989). Die Extrapolation zu anderen Zeitpunkten basiert auf Szenarien, z. B. der Fortsetzung historischer Trends (PONTIUS JR. ET AL., 2006). Die Szenarienbildung für Landnutzung-Veränderungsmodelle erlaubt das Testen der Stabilität von sozialen und ökologischen Systemen (VELDKAMP und LAMBIN, 2001).

In Abbildung 2.4 auf der nächsten Seite ist der Ablauf eines typischen Verfahrens der Extrapolation in der Ökologie dargestellt.

Der typische erste Schritt ist die Definition des Ziels, z. B. die Übertragung von bekannten ökologischen Beziehungen auf einen anderen Maßstab. In einem konzeptionellen Modell sind die bekannten Erkenntnisse (entweder aus der Literatur oder statistische Beziehungen zwischen Antwort- und Vorhersage-Variablen) zusammengefasst, und Vorhersage-Variablen werden abgeleitet. Da Prozesse und Muster abhängig vom Maßstab sind, sollten Skalierungsfunktionen, z. B. direkte lineare Skalierung, genutzt werden. Mit Hilfe des eigentlichen Extrapolationsmodells werden Vorhersagen entwickelt, für die eine Analyse der Genauigkeit und eine Evaluierung empfohlen werden. So kann beispielsweise die Genauigkeit von Simulationsmodellen von Landbedeckungsänderungen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeiten der Vorhersage je Rasterzelle visualisiert werden (PONTIUS JR. ET AL., 2006).

Zu den Limitationen der Extrapolation gehören das geringe Verständnis der Mechanismen, welche die Basis vieler ökologischer Prozesse bilden, sowie die meist unzureichende Datengrundlage der Zielregion (MILLER ET AL., 2004). Die akkuratesten Extrapolationen basieren häufig auf einfachen Skalierungen auf der Grundlage gut erforschter Beziehungen zwischen räumlicher Struktur und Prozessen.

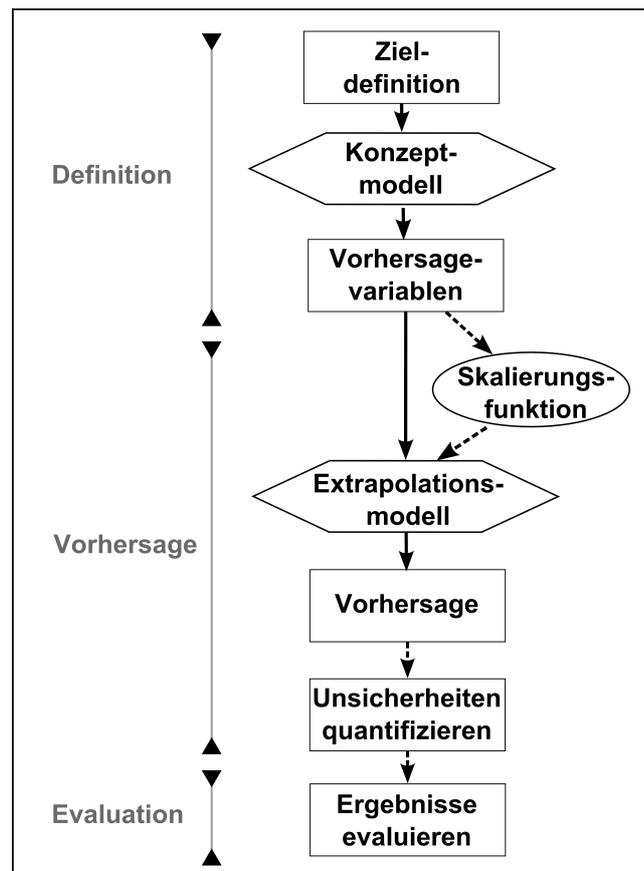


Abbildung 2.4: Typischer Ablauf einer Extrapolation (nach MILLER ET AL., 2004). Unterbrochene Pfeile markieren Schritte, die seltener angewendet werden, wohingegen durchgezogene Pfeile typische Prozesse markieren.

Kapitel 3

Auswahl der Testgebiete und Datenakquisition

Die vorliegende Arbeit entstand auf der Grundlage von Geodaten, die während des Projekts *Linking pan-european landcover change to pressures on biodiversity* (Projektkronym: BIOPRESS; Projektreferenz: EVK2-CT-2002-00178) (CORDIS, 2006) erhoben wurden. BIOPRESS wurde im Rahmen der Initialphase des GMES¹-Programms und des 5. Rahmenprogramms der Europäischen Gemeinschaft im Bereich der Forschung, technologischen Entwicklung und Demonstration (1998–2002) gefördert, um Veränderungen von pan-europäischen Landschaftsbedeckungen zwischen den Zeitpunkten 1950, 1990 und 2000 zu untersuchen. Das Hauptziel war dabei die Analyse des Landschaftswandels innerhalb und in unmittelbarer Umgebung von ausgewählten NATURA2000-Gebieten in Europa sowie die Untersuchung der Beziehungen zwischen den beobachteten Landschaftsveränderungen und der durch den Menschen verursachten Einflussfaktoren auf die Biodiversität. Für weitere Informationen zum Projekt BIOPRESS wird auf die Internetseiten <http://www.creaf.uab.es/biopress/> bzw. <http://www.biopress.ceh.ac.uk/> verwiesen (Stand: 01/2009).

3.1 Auswahl der Testgebiete

Die finanziellen Rahmenbedingungen und die begrenzte Projektlaufzeit von drei Jahren verhinderten eine flächendeckende Analyse der gesamten pan-europäischen historischen Landbedeckung innerhalb des Projekts BIOPRESS. Deshalb wurden Fallstudien mit einheitlicher Interpretationsmethodik durchgeführt. Die Auswahl der Testgebiete sollte die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Studien gewährleisten und die Möglichkeit der Extrapolation bzw. Regionalisierung sicherstellen. Da der politische Fokus des Projekts BIOPRESS auf NATURA2000-Gebieten und deren unmittelbarer Umgebung lag, konnte keine zufällige Auswahl von Testgebieten innerhalb Europas durchgeführt werden. Eine Vorauswahl der im Projekt bearbeiteten pan-europäischen

¹ Global Monitoring for the Environment and Security

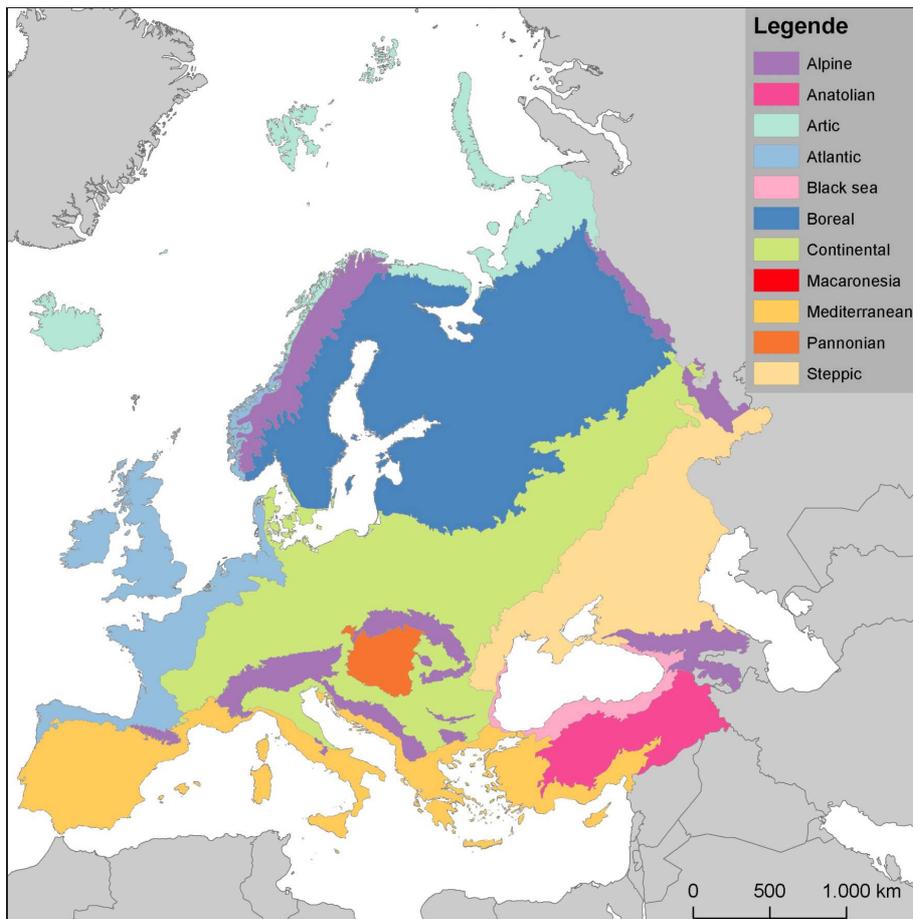


Abbildung 3.1: Biogeographische Regionen Europas (BRME, Quelle: EEA, 2001)

Testgebiete wurde durch das RBINS², Section of Conservation Biology, vorgenommen. Anschließend wurden die Untersuchungsgebiete mit Hilfe eines Verfahrens zur Stichprobenauswahl mittels Stratifizierung selektiert (OLSCHOFSKY, 2004). Die biogeographischen Regionen Europas (BRME, siehe Abbildung 3.1) sowie das Vorkommen der Lebensraumtypen Fließgewässer, naturnahes feuchtes Grasland mit hohen Gräsern, kalkreiche Niedermoore sowie Wälder des gemäßigten Europas des Anhangs 1 der FFH-Richtlinie (EUROPÄISCHE UNION, 1992) wurden als Stratifizierungsschema genutzt (OLSCHOFSKY, 2004; SMITH, 2004). Die endgültige Entscheidung für die Testgebiete wurde durch die Verfügbarkeit von historischen Daten in den einzelnen europäischen Ländern bestimmt.

Im Projekt BIOPRESS wurden 59 Transekte aus den europäischen Staaten Vereinigtes Königreich (UK), Spanien (ES), Belgien (BE), den Niederlanden (NL), Finnland (FI), der Slowakei (SK) und Deutschland (DE) untersucht. Die Nomenklatur für jedes Testgebiet setzt sich aus der 2-stelligen Kennung für den jeweiligen europäischen Staat und einer Nummer zusammen.

In der vorliegenden Arbeit wurden nur die Testgebiete auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland betrachtet. Im Bundesgebiet wurden neun Testgebiete mit den Bezeichnungen DE01

² Royal Belgian Institute of Natural Sciences

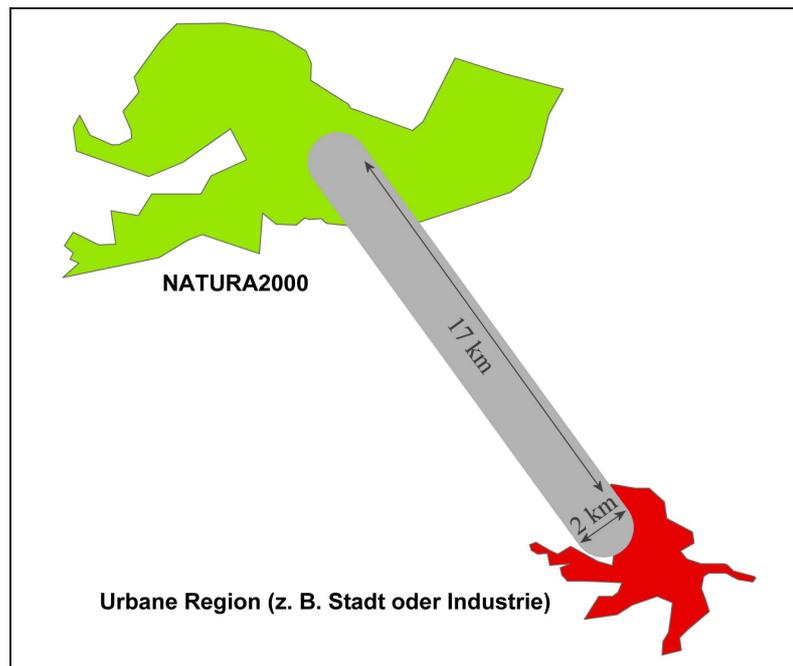


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung der zweidimensionalen Ausrichtung der Transekte (grau)

bis DE09 ausgewählt (Abbildung 3.3 auf der nächsten Seite).

Die Selektion der Untersuchungsgebiete beschränkte sich auf die neuen Bundesländer, da die Akquirierung von historischen Daten in anderen Regionen Deutschlands mit einem signifikant größeren zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden gewesen wäre. So liegen historische Luftbilddaten von Militärbefliegungen in westdeutschen Regionen z. T. nur in britischen und amerikanischen Archiven vor (mündliche Mitteilung von France Gerard, CEH³, Projektkoordinator von BIOPRESS). Dagegen sind historische analoge Luftbilder und topographische Karten für die ostdeutschen Bundesländer zentral im Bundesarchiv Berlin (Abteilung DDR) archiviert und nach der Beantragung einer Nutzungsgenehmigung unkompliziert zugänglich.

Die ausgewählten Testgebiete, so genannte Transekte, decken mit einer maximalen Breite von 2 km und einer maximalen Länge von 17 km jeweils eine Fläche von etwa 33 km² ab. In Abbildung 3.2 ist die Methodik der zweidimensionalen Orientierung und die typische Form der Testgebiete dargestellt. Die individuelle lokale Ausrichtung der Transekte erfolgte von einer NATURA2000-Fläche zu dem nächstgelegenen Zentrum des erwarteten anthropogenen Einflusses, z. B. der nächstliegenden Siedlung oder Industrieanlage. Diese Anordnung wurde gewählt, um mögliche Veränderung entlang eines Gradienten (naturnah vs. anthropogen beeinflusst) beobachten zu können. Die Ausrichtung der Testgebiete basierte auf der Hypothese, dass der spezifische Druck, z. B. landwirtschaftliche Intensivierung oder Urbanisierung, am geringsten im Zentrum der NATURA2000-Fläche und am höchsten in der Umgebung von urbanen Gebieten ist.

³ Centre for Ecology and Hydrology

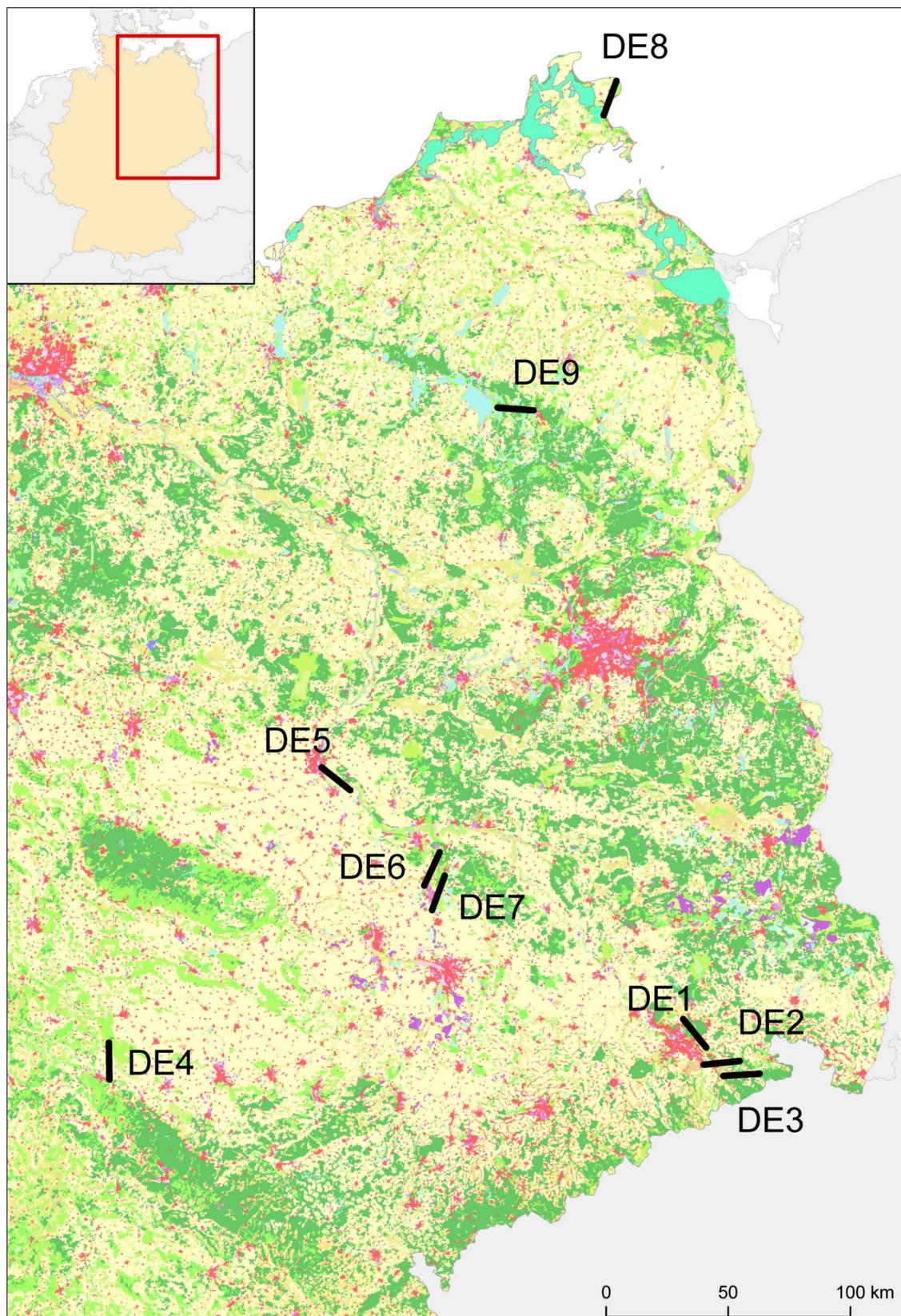


Abbildung 3.3: Lage der neun ausgewählten Testgebiete DE01 bis DE09. Hintergrund: CORINE Land Cover 2000 (CLC2000, Quelle: Projekt BIOPRESS), Farbkodierung siehe Abbildung A.1 auf Seite 190 (Anhang A)

3.2 Kurzcharakteristik der Testgebiete

Die Transekte wurden unter Berücksichtigung des jeweiligen NATURA2000-Schutzgebiets, d. h. des Vorkommens bestimmter Habitattypen, der Gefährdung durch nahe gelegene anthropogene Einflussfaktoren und dem daraus resultierenden Potenzial von großflächigen Veränderungen der Landbedeckung in den letzten 50 Jahren ausgewählt.

In Tabelle 3.1 sind die Testgebiete, das zugehörige Bundesland, in dem sich das jeweilige Transekt befindet, sowie die Auswahlkriterien „NATURA2000-Gebiet“ und „urbane Region“ zusammengefasst.

Tabelle 3.1: Kurzcharakteristik der Testgebiete

Testgebiet	Bundesland	NATURA2000-Gebiet	urbane Region
DE01	Sachsen	Prießnitzgrund	Dresden
DE02	Sachsen	NLP* Sächsische Schweiz	Pirna/Heidenau
DE03	Sachsen	NLP* Sächsische Schweiz	Königstein
DE04	Thüringen	Hainich	Eisenach
DE05	Sachsen-Anhalt	Elbaue zwischen Saalemündung und Magdeburg	Magdeburg
DE06	Sachsen-Anhalt	Mittlere Oranienbaumer Heide, Untere Muldeaue	Wolfen
DE07	Sachsen-Anhalt	Untere Muldeaue, Schlauch Burgkennitz	Muldestausee, ehem. Tagebau
DE08	Mecklenburg-Vorpommern	NLP* Jasmund	Sassnitz
DE09	Mecklenburg-Vorpommern	NLP* Müritz	Neustrelitz

* Nationalpark

Nachfolgend werden die geographische Lage bzw. Ausrichtung, die aktuellen dominanten Flächennutzungen der Transekte sowie die im Testgebiet befindlichen NATURA2000-Gebiete kurz vorgestellt.

Das Testgebiet DE01 verläuft im Norden von Dresden durch das Landschaftsschutzgebiet Dresdner Heide. Im nordwestlichen Bereich des Transekts befinden sich Bereiche des Flughafens Dresden-Klotzsche (Abbildung 3.4 auf der nächsten Seite), Industrieanlagen und Siedlungen. Nordöstlich des Untersuchungsgebietes dominieren landwirtschaftlich genutzte Flächen im Dresdener Umland (Abbildung 3.5 auf der nächsten Seite). Das NATURA2000-Gebiet „Prießnitzgrund“ befindet sich im Zentrum des Transekts. Das flache bis stärker eingeschnittene Kerbsohlental liegt im Waldgebiet der Dresdener Heide im sächsischen Hügelland und ist durch naturnahe Fließgewässerabschnitte, Altwässer, Nieder- und Zwischenmoorstandorte sowie Hangbereiche mit Buchenwäldern charakterisiert. Das insgesamt 224 ha große FFH-Gebiet ist aufgrund von überwiegend naturnahen Fließgewässerabschnitten mit Staudenfluren und Auwaldvegetation sowie gut ausgeprägtem Schwingrasenmoor schutzwürdig (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN, 2006). Im Südosten des Transekts befindet sich ein weiteres NATURA2000-Gebiet, die „Elbtalhänge zwischen Loschwitz und Bonnewitz.“

3 Auswahl der Testgebiete und Datenakquisition



Abbildung 3.4: Blick auf eine Landebahn und Flughafengebäude des Flughafens Dresden-Klotzsche



Abbildung 3.5: Acker- und Weidelandschaft nordöstlich von Dresden

Das Testgebiet DE02 erstreckt sich parallel der Elbe vom touristisch gut erschlossenen Rathener Felsengebiet in der Kernzone des Nationalparks Sächsische Schweiz (Abbildung 3.7) bis zu dem Industrie- und Gewerbegebiet an der Bundesstraße B172 in Heidenau (Abbildung 3.6). Der Nationalpark Sächsische Schweiz ist ein FFH-Gebiet mit einer in Mitteleuropa bedeutenden Felslandschaft von großer Ausdehnung mit Sandsteinplatten, Tafelbergen, Tälern, Schluchten und Gründen sowie einzelnen Basaltkuppen. Die über 9 200 ha große Region ist durch ein Mosaik aus verschiedenen Waldgesellschaften und naturnahen Fließgewässern gekennzeichnet (LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN, 2006). Weitere NATURA2000-Gebiete, z. B. „Elbtal zwischen Schöna und Mühlberg“, „Wesenitz unterhalb Buschmühle“, „Barockgarten Großsedlitz“ sowie das „Gottleubatal und angrenzende Laubwälder“, befinden sich in diesem Transekt.



Abbildung 3.6: Recyclinganlage im Industriegebiet Heidenau



Abbildung 3.7: Rathener Felsengebiet im Nationalpark Sächsische Schweiz

Der östliche Teil des Transekts DE03 deckt Regionen des ebenfalls in der Kernzone des Nationalparks Sächsische Schweiz befindlichen Schrammsteingebietes sowie der Stadt Bad Schandau ab. Im westlichen Bereich befinden sich landwirtschaftlich genutzte Flächen (Abbildung 3.9 auf der nächsten Seite) und der Uranbergbau Leupoldishain (SDAG Wismut). Im zentralen Teil des Testgebietes liegen der Ort und die Festung Königstein (Abbildung 3.8 auf der nächsten Seite). Die NATURA2000-Gebiete „Nationalpark Sächsische Schweiz“, „Elbtal zwischen Schöna und Mühlberg“, „Tafelberge und Felsreviere der linkselbischen Sächsischen Schweiz“ sowie das „Gottleubatal



Abbildung 3.8: Festung Königstein, im Vordergrund: SDAG Wismut



Abbildung 3.9: Landwirtschaftlich genutzte Flächen im Testgebiet DE03

und angrenzende Laubwälder“ nehmen Teile des Transekts DE03 ein.

Das Testgebiet DE04 verläuft in Nord-Süd-Richtung. Im Norden befindet sich der Nationalpark Hainich mit dem ehemaligen Truppenübungsplatz (TÜP) „Kindel“ (1935 – 1991) und im Süden die Autobahn (BAB4) nahe Eisenach (Abbildungen 3.10 und 3.11). Den flächenmäßig größten Anteil des Transekts nehmen heute landwirtschaftliche Nutzungsflächen ein. Im NATURA2000-Gebiet „Hainich“ dominieren Laubmischwälder auf einem Muschelkalkhöhenzug, die durch naturnahe Waldwirtschaft in angrenzenden Plenterwäldern bewirtschaftet werden (FRITZLAR und BIEHL, 2006)



Abbildung 3.10: Kreisverkehr, erbaut im Rahmen des Ausbaus der Autobahn BAB4



Abbildung 3.11: Weide am Rand des Nationalparks Hainich

Das nordwestliche Ende des Transekts DE05 befindet sich am südöstlichen Stadtrand von Magdeburg. Das Testgebiet verläuft in südöstlicher Richtung parallel zur Elbe bis zur Gemeinde Ranie. Aktuelle dominante Flächennutzungs- bzw. Landbedeckungsarten sind Landwirtschaft und Laubwälder (Abbildung 3.13 auf der nächsten Seite). Das FFH-Gebiet „Elbaue zwischen Saalemündung und Magdeburg“ erstreckt sich durch das gesamte Transekt. Die Landschaft ist durch Erlen- und Eschenwälder und Weichholzaunenwälder an Fließgewässern, durch Hartholzaunen sowie magere artenreiche Flachland-Mähwiesen gekennzeichnet (Abbildung 3.12 auf der nächsten Seite) (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT, 2006).

Das Transekt DE06 beginnt im Nordosten im FFH-Gebiet „Mittlere Oranienbaumer Heide“,

3 Auswahl der Testgebiete und Datenakquisition



Abbildung 3.12: Fluss- und Auwaldlandschaft im Transekt DE05



Abbildung 3.13: Laubwald nahe der Gemeinde Ranie

das durch ausgedehnte Offenlandbereiche mit zum Teil spontaner Wiederbewaldung auf einem ehemaligen Militärübungsplatz geprägt wird. Es verläuft in südwestlicher Richtung bis zu einem Industriegebiet in Wolfen, in welchem überwiegend Anlagen für die Filmherstellung angesiedelt waren (Abbildung 3.14). Dominante aktuelle Flächennutzung bzw. Landbedeckung im Testgebiet sind Nadel- und Mischwälder, Landwirtschaft und urbane Gebiete. Das NATURA2000-Gebiet „Untere Muldeau“, eine naturnahe Auenlandschaft mit der strukturreichen stark mäandrierenden Mulde und ihren Nebengewässern, wird südlich von Raguhn von dem Testgebiet geschnitten. Diese Region ist durch Auwälder, Auwiesen, Schlammfluren, Altwässer und Flutrinnen charakterisiert (Abbildung 3.15) (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT, 2006).



Abbildung 3.14: Industriegebiet in Wolfen



Abbildung 3.15: „Untere Muldeau“ bei der Gemeinde Raguhn

Das von Nordosten nach Südwesten ausgerichtete Transekt DE07 tangiert die Stadt Bitterfeld und deckt den heutigen Muldestausee (Abbildung 3.17 auf der nächsten Seite) sowie sanierte Tagebauflächen ab. Die Landschaft ist durch historische Tagebautätigkeiten und den in den 90er Jahren folgenden Sanierungsarbeiten geprägt. Das Flussbett der Mulde wurde 1975/76 aufgrund von Tagebauaktivitäten umgeleitet (Abbildung 3.16 auf der nächsten Seite) (SCHÖNFELDER ET AL., 2004). Die Auswahl des Testgebiets DE07 weicht von der in Kapitel 3.1 beschriebenen Methodik der Testgebietsorientierung ab, da ein Teil des FFH-Gebiets „Untere Muldeau“ sich im Zentrum des Transekts befindet. Das NATURA2000-Gebiet „Schlauch Burgkernitz“, ein aufgelassener Tagebau mit nährstoffarmen Stillgewässern und Sukzessionsflächen, liegt im nördlichen



Abbildung 3.16: Altarm der Mulde



Abbildung 3.17: Auslaufbauwerk des Muldestausees

Drittel des Testgebiets.

Das Transekt DE08 verläuft vom Nationalpark Jasmund im Nordosten über die angrenzende Stadt Sassnitz, den Fährhafen Mukran (Abbildung 3.19) bis zur Gemeinde Binz im Südwesten. Die naturräumliche Ausstattung des Nationalparks Jasmund erstreckt sich von den Flachwasserzonen der Ostsee über Blockstrände und Steilküsten (Abbildung 3.18) bis hin zu den von Laubbäumen dominierten Wäldern, Bächen und Mooren (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2007; NATIONALPARKAMT VORPOMMERN, 2007).

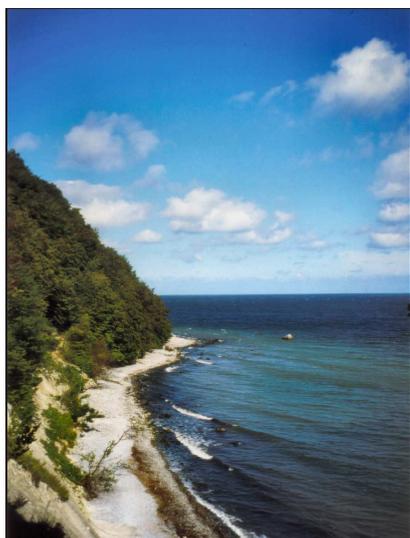


Abbildung 3.18: Stubbenkammer im Nationalpark Jasmund (© Thomas, 2006)



Abbildung 3.19: Sea-Terminal im Fährhafen Neu-Mukran (© BUSS-GROUP, 2006)

Das Testgebiet DE09 erstreckt sich in Ost-West Richtung vom Ostufer der Müritz bis zu der Stadt Neustrelitz. Die größten Anteile an der Landbedeckung dieses Transekts nehmen heute Wald und Weiden ein (Abbildung 3.20 auf der nächsten Seite). Einige Regionen im Transekt wurden bis 1993 als Truppenübungsplatz (Granzin-Adamsdorf) genutzt (Abbildung 3.21 auf der nächsten Seite) (NATIONALPARKAMT MÜRITZ, 2007). Wichtige Lebensraumtypen im NATURA2000-Gebiet



Abbildung 3.20: Weiden nahe Neustrelitz



Abbildung 3.21: Offenlandschaft im ehemaligen Truppenübungsplatz im Transekt DE09

„Nationalpark Müritz“ sind natürliche eutrophe Seen, kalkreiche Sümpfe und Niedermoore, alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur* L. (Stieleiche) sowie Moorwälder (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2007).

3.3 Untersuchungsmaterial

Für die Untersuchung der neun Testgebiete wurde auf vorhandene Daten der Landesvermessungsämter von Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen sowie auf das Bundesarchiv Berlin zurückgegriffen. Es wurden insgesamt 239 analoge panchromatische Senkrechtaufnahmen für die 50er und 90er Jahre sowie etwa 300 km² digitale Orthophotos (DOPs) für das Jahr 2000 ausgewertet. Für die Realisierung der Georeferenzierung der analogen Schwarz-Weiß-Luftbildphotografien (S/W) und zur Unterstützung der Interpretation wurden zusätzlich historische topographische Karten im Maßstab 1:25 000 (TK25) sowie für einige Regionen aktuelle digitale topographische Karten im Maßstab 1:10 000 (DTK10) und digitale Geländemodelle mit einer Rasterweite von 20 m (DGM20) genutzt. In Abbildung 3.22 sind Beispiele der verfügbaren Datensätze dargestellt.

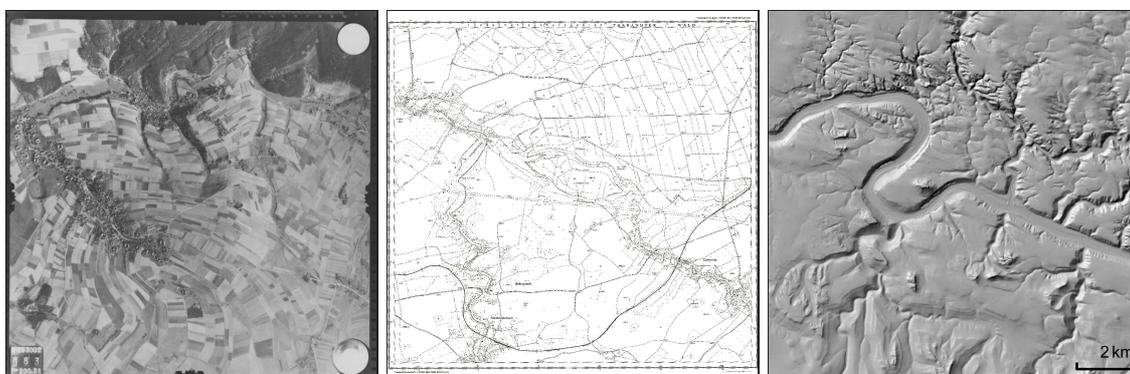


Abbildung 3.22: Beispiele für genutztes Datenmaterial: links) historisches Luftbild von 1956; Mitte) aktuelle digitale topographische Karten (1:10 000); rechts) Darstellung des Reliefs mit Hilfe eines digitalen Geländemodells (DGM)

Luftbilddaten und Kartenmaterial waren nicht vollständig für die Stichjahre 1950, 1990 und 2000 für die Testgebiete verfügbar. Deshalb wurden die Zeitfenster für die Aufnahme der Geodaten auf 1950–1959, 1989–1993 bzw. 2000–2003 erweitert, um eine ausreichende räumliche Abdeckung der Testgebiete zu gewährleisten. Die Ergebnisse der Interpretation und der anschließenden Analysen werden in dieser Arbeit jedoch weiterhin nach dem jeweiligen Referenzzeitraum bezeichnet, z. B. 1950 anstatt 1956. Eine vollständige Übereinstimmung des jahreszeitlichen Aufnahmezeitraums der Luftbilddaten zwischen und teilweise auch innerhalb der Testgebiete konnte nicht erreicht werden. Tabelle 3.2 auf der nächsten Seite gibt einen Überblick über die genutzten Daten.

Aufgrund des unterschiedlichen Maßstabes der analogen Luftbilddaten und der räumlichen Ausrichtung der Befliegungskorridore zu den Testgebieten variiert die Anzahl der Luftbilder zwischen 8 und 31 pro Transekt und Zeitpunkt der Untersuchung. Der Quellennachweis für die Luftbilder und Orthophotos befindet sich im Anhang D (Tabellen D1 und D2).

Zusätzlich wurden die Ergebnisse der Biotopkartierung in Sachsen von 1992/93 für die Fehlerbereinigung der Interpretation der Transekte DE01, DE02 und DE03 genutzt. Für die Extrapolation der Ergebnisse standen zusätzliche Daten, wie CORINE-Land-Cover-(CLC)-90 und CLC2000-Geodaten, zur Verfügung. In den Distanzanalysen wurden die vektorisierten Grenzen der NATURA2000-Gebiete genutzt, die räumlich mit den Testgebieten übereinstimmen.

Tabelle 3.2: Untersuchungsmaterial als Grundlage für die Interpretation der Landbedeckung

Jahr	Datentyp	DE01	DE02	DE03	DE04	DE05	DE06	DE07	DE08	DE09		
1950	Luftbilder	Anzahl ^a	13	12	15	12	12	12	11	13	8	31
		Aktualitätsstand	1956	1956	1956	1956	1955/56	1956/58	1958/59	1956	1959	
	TK ^e	Maßstab 1 : . . .	11000/12000	12000	12000	10000/11000	13000/14000	12000/18000	12000/12500	12000	10000/10300	
		Bodenauföfung	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	
	DOP ^b	Anzahl ^a	4	3	6	6	4	5	3	3	3	
		Aktualitätsstand	1954	1954	1954	1954	1948/49	1954	1954	1955	1954	
	DGM ^c	Maßstab 1 : . . .	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	
		Bodenauföfung	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	2,0 m	
	DTK ^d	Aktualitätsstand	1997–1999	1997–1999	1997–1999	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	
		Bodenauföfung	0,5 m	0,5 m	0,5 m	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	
1990	Luftbilder	Anzahl ^a	13	11	10	9	14	9	14	15	17	
		Aktualitätsstand	1991	1991	1991	1992	1989	1991	1989/91	1993	1991/92	
2000	DOP ^b	Maßstab 1 : . . .	16000	16000	16000	12500/14500	12500/14500	14500	14500	11600–12880	12500	
		Bodenauföfung	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	
2000	DGM ^c	Aktualitätsstand	2002	2002	2002	2002/03	2001	2001/02	2000/02	2002	2003	
		Bodenauföfung	0,4 m	0,4 m	0,4 m	0,4 m	0,4 m	0,4 m	0,4 m	0,8 m	0,8 m	
2003	DTK ^d	Aktualitätsstand	1996/97	1996/97	1996/97	n/v	n/v	n/v	n/v	2002/03	2003	
		Bodenauföfung	20 m	20 m	20 m	n/v	n/v	n/v	n/v	25 m	25 m	
2003	topographische Karte	Maßstab 1 : . . .	10 000	10 000	10 000	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	
		Aktualitätsstand	1997–1999	1997–1999	1997–1999	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	
2003	topographische Karte	Bodenauföfung	0,5 m	0,5 m	0,5 m	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	n/v	

^a Anzahl der analogen Luftbilder bzw. topographischen Kartenblätter, die für die Interpretation genutzt wurden

^b digitales Orthophoto

^c digitales Geländemodell

^d digitale topographische Karte

^e topographische Karte

Kapitel 4

Methodik

4.1 Vorverarbeitung der Luftbilder

Mittels computergestützter visueller Interpretation wurde die Landbedeckung bzw. Landnutzung der Testgebiete aus den historischen und aktuellen Luftbilddaten klassifiziert. Die historischen analogen Bilddaten (1950, 1990) wurden in den Arbeitsschritten Digitalisierung, geometrische Korrektur (Entzerrung), Zuweisung einer raumbezogenen Referenzinformation (Georeferenzierung) sowie Mosaikbildung für die Interpretation vorbereitet. Die digitale Orthophotos (DOPs) aus dem Jahr 2000 lagen bereits entzerrt vor. Da sie in ein geodätisches Referenzsystem eingepasst waren, mussten sie nur als Orthophoto-Mosaik zusammengesetzt werden. Anschließend wurden alle Mosaik (1950, 1990, 2000) mit Hilfe von Auswahlmasken, so genannten Areas of Interests (AOIs), auf die Form und Größe der einzelnen Transekte angepasst.

Digitalisierung

Bei der systematischen Befliegung größerer Gebiete werden Luftbilder oft in parallelen Flugstreifen mit einer Überdeckung von mindestens 60 % zwischen zwei benachbarten Fotografien innerhalb eines Streifens und 30 % zwischen verschiedenen Flugstreifen aufgenommen (ERDAS IMAGINE® INC., 1999b; ALBERTZ, 2001; MIKHAIL ET AL., 2001; JENSEN, 2005). Da eine stereoskopische Auswertung der Luftbilder nicht notwendig war, konnte durch die Nutzung einer für die Fragestellung ausreichenden 1-fachen Abdeckung der Testgebiete mit Luftbildern der zeitliche Digitalisierungsaufwand deutlich verringert werden. Mit Hilfe eines Flachbettscanners mit integrierter Durchlichteinheit wurden die auf Mikrofiche archivierten historischen Luftbilder aus den 50er Jahren direkt im Bundesarchiv Berlin (Abteilung DDR) digitalisiert. Die auf Kontaktabzügen bereitgestellten Luftbilder von 1990 wurden am Institut für Biometrie und Forstliche Informatik der TU Dresden gescannt (siehe auch Kapitel 4.10). Die Luftbilder wurden mit maximal 1600 dpi abgetastet und als Rasterdaten im Format *.tif bzw. *.bmp gespeichert. Der durchschnittliche Speicherbedarf für ein digitalisiertes Luftbild lag bei 20 MB. Die geometrische Bodenaufösung der gescannten Luftbilder betrug mindestens 1 m × 1 m pro Pixel.

Orthorektifizierung

Nach der Digitalisierung sind Luftbilder weder entzerrt, noch liegen sie in einer Kartenprojektion vor. Die Orthorektifizierung der digitalen historischen Luftbilder ist daher die Voraussetzung für eine (relativ) fehlerfreie Erfassung geometrischer Größen, z. B. Distanzen und Flächen, aus den Photos. Mit gewöhnlichen Senkrechtaufnahmen können diese Messungen nur mit grober Annäherung vorgenommen werden. Die Orthorektifizierung erforderte neben verschiedenen Kameraparametern und den manuell zu setzenden Passpunkten (engl.: ground control points, GCPs) ein hoch auflösendes digitales Geländemodell (DGM), um sensor- und reliefbedingte Verzerrungen zu korrigieren (ERDAS IMAGINE® INC., 1999a). Die Orthorektifizierung wurde mit dem in der Software-Suite ERDAS IMAGINE® 8.6 integrierten Modul OrthoBASE durchgeführt. Dabei wurden die historischen Bilddaten durch eine Bild-zu-Bild-Registrierung auf die Orthophotos von 2000 angepasst. Diese Methodik garantierte eine maximale Passgenauigkeit zwischen den Luftbildern der einzelnen Untersuchungszeiträume (1950, 1990, 2000). Die Parameter der genutzten geodätischen Referenzsysteme sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1: Parameter der geodätischen Referenzsysteme der Testgebiete

	DE01–DE03	DE04	DE05–DE09
Projektion	Transverse Mercator	Transverse Mercator	Transverse Mercator
False Easting	5500000	3500000	4500000
False Northing	0	0	0
Central Meridian	15	9	12
Scale Factor	1	1	1
Latitude of Origin	0	0	0
Datum	Potsdam		
Spheroid	Bessel 1841		
Semimajor Axis	6377397,155000000000		
Semiminor Axis	6356078,962818180000		
Inverse Flattening	299,152812799999		
Prime Meridian	Greenwich (0,00)		
Angular Unit	Degree (0,017453292519943299)		
Linear Unit	Meter (1,0)		

Für weitere Informationen zur angewandten Methodik wird auf REIKE (2004), HAZEU und MÜCHER (2005) und auf das ERDAS Referenzhandbuch (ERDAS IMAGINE® INC., 1999a) verwiesen.

4.2 Interpretationsverfahren

Die visuelle Interpretation von Luftbildern beruht auf der Untersuchung der FE-Daten mit dem Ziel der thematischen Erkennung und geometrischen Trennbarkeit von Objekten sowie der Zuwei-

sung von thematischen Klassen (JENSEN, 2000; ALBERTZ, 2001).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Landbedeckungs- bzw. Landnutzungselemente in den neun Transekten für die Zeitpunkte 1950, 1990 und 2000 mit Hilfe der computergestützten visuellen Interpretation von Schwarz-Weiß-Luftbildaufnahmen erkannt und klassifiziert.

Interpretationsregeln

Die Elementerkennung basierte auf bereits vorhandenen Regeln und Richtlinien, die im Projekt BIOPRESS weiterentwickelt wurden (FERANEC ET AL., 2003, 2004). Um eine Vergleichbarkeit der Analysen mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten, wurden die bestehenden europäischen CLC-Level-3-Klassifizierungs- und Interpretationsregeln (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1995; BOSSARD ET AL., 2000) genutzt und an die Aufgabenstellung angepasst.

Die wichtigsten Eckdaten dieser adaptierten Regeln sind:

- 44 thematische Landbedeckungs- bzw. Landnutzungsklassen (siehe Tabelle A.1 auf Seite 193 im Anhang A);
- jede Landbedeckungs- bzw. Landnutzungsklasse wird durch eine dreistelligen Nummer kodiert (entspricht CLC-Level-3-Nomenklatur);
- ein Interpretationsmaßstab von 1:10 000;
- eine minimale Flächengröße (minimum mapping unit = MMU) der kartierbaren Einheiten von 0,5 ha bzw. eine minimale Polygonbreite von 20 m (siehe Abbildung 4.1 auf der nächsten Seite).

Befliegungszeitraum

Durch die Landesvermessungsämter werden die Befliegungen mit Luftbildaufnahmen heute meist am Beginn der Vegetationsperiode bzw. kurz vor der beginnenden Belaubung im Frühjahr durchgeführt (AMT FÜR GEOINFORMATION, VERMESSUNGS- UND KATASTERWESEN MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2007; LANDESVERMESSUNGSAMT SACHSEN, 2007). Dadurch wird die Unterscheidung von Laub- und Nadelwald und auch die Interpretation von Gebäuden und Verkehrsinfrastruktur unter sonst sommergrüner Vegetation erleichtert. Leider wurden die untersuchten historischen Luftbilder aus den 50er Jahren nicht immer im Frühjahr aufgenommen, was die Trennbarkeit von Objekten vor allem in bewaldeten Regionen erschwerte.

Interpretationsablauf

Um den Anteil von Fehlklassifizierungen so gering wie möglich zu halten, wurde die so genannte „backdating“-Methode angewendet, die in der GIS-Terminologie das Gegenteil zum „updating“ darstellt. Der Ansatz basiert auf dem „integrated-layer model“, das die Veränderungen verglichen mit vorigen Klassifizierungen untersucht (BRANDT ET AL., 2002). Ein primäres Ziel dieser Methode

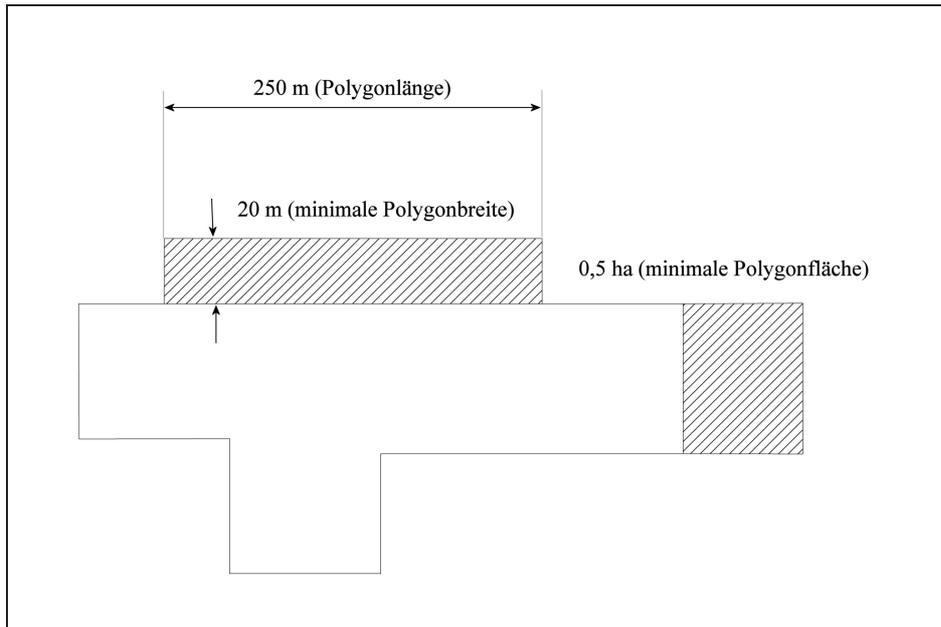


Abbildung 4.1: Kriterien für die kleinsten Kartiereinheiten beim Maßstab 1:10 000 (angepasst nach FERANEC ET AL., 2004; HAZEU und MÜCHER, 2005). Die wichtigsten Klassifizierungsregeln sind die minimale Polygongröße von 0,5 ha und die minimale Polygonbreite von 20 m.

ist die Minimierung von geometrischen Ungenauigkeiten, die bei der unabhängigen Delinierung von Landschaftselementen aufgrund nicht exakt georeferenzierter Orthophoto-Mosaikerelemente auftreten können. Beim Überlagern von unabhängig erstellten Geo-Datenbanken (hier 2000 vs. 1990 vs. 1950) einer Region treten Artefakte in Form von kleinen, meist langen, sehr schmalen Polygonen (GIS-Terminologie: „sliver polygons“) auf, die irrtümlich als Veränderungen interpretiert werden. Die Vor- und Nachteile der „backdating“-Methode werden am Beispiel des europäischen CLC2000-Projektes in BÜTTNER ET AL. (2004) ausgeführt.

Im ersten Arbeitsschritt wurden die Orthophoto-Mosaikerelemente von 2000 interpretiert, die verglichen mit den älteren Luftbildern (1950, 1990) eine höhere Qualität und Bodenaufösung aufwiesen. Die Klassifizierung der Landschaftselemente wurde durch die Nutzung zusätzlicher Daten, wie topographischer Karten, Ergebnisse der Biotopkartierung und dem CLC-Datensatz, unterstützt. Alle Landschaftsobjekte, die während der visuellen Interpretation der Orthophotos nicht eindeutig klassifiziert werden konnten, wurden im Rahmen von terrestrischen Aufnahmen in den Testgebieten verifiziert. Das Ergebnis des ersten Arbeitsschritts, eine Vektor-Datenbank mit Informationen zu der Landbedeckung im Jahr 2000, wird nachfolgend als LandCover2000 (LC00) bezeichnet. LC90 und LC50 sind die Ergebnisse der Interpretationen der Orthophoto-Mosaikerelemente von 1990 und 1950.

Die Erstellung der Geo-Datenbank für das Jahr 1990 basierte auf dem „backdating“-Prozess der bereits interpretierten LC00-Daten. Die Orthophoto-Mosaikerelemente von 1990 wurden mit den LC00-Daten überlagert, und es wurden nur die geometrischen und thematischen Unterschiede digitalisiert, welche in den Daten von 1990 im Vergleich zu 2000 erkannt wurden (Abbildung 4.2 auf der nächsten Seite) und dabei nicht mit den oben beschriebenen Interpretationsregeln kollidierten. Das bedeutet, dass nur Veränderungen der Landbedeckung zwischen den Untersuchungszeitpunkten

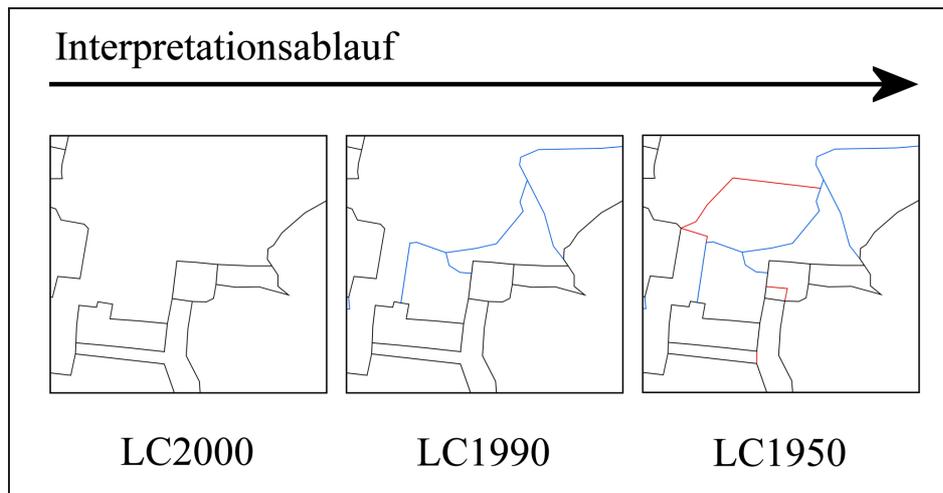


Abbildung 4.2: Darstellung der „backdating“-Methode: links) Erstellung von LC00 (schwarz); Mitte) Veränderungen in 1990 (blau) auf Basis von LC00; rechts) Veränderungen in 1950 (rot) auf Basis von LC90

aufgenommen wurden, wenn die resultierenden Polygone im Jahr 1990 den geforderten Kriterien (MMU = 0,5 ha; minimale Polygonbreite = 20 m) entsprachen. Eine Plausibilitätskontrolle wurde für jede erfasste LC-Veränderung durchgeführt. So kann z. B. im Jahr 1990 keine Wasserfläche an einer Stelle klassifiziert werden, an der im Jahr 2000 ein Altbestand stockte.

Die Geo-Datenbank LC50 entstand nach derselben Methodik, jedoch auf der Grundlage von LC90 als Referenzdatenbank. So konnte die Wahrscheinlichkeit für Fehlinterpretationen aufgrund unterschiedlicher Delinierungen in den Jahren 1990 und 1950 reduziert werden. Ein weiterer Vorteil der „backdating“-Methode ist die Zeitersparnis beim Delinierungsprozess verglichen mit unabhängig erstellten Vektordatenbanken, da nur die Veränderungen der Landbedeckung betrachtet werden müssen. Beim Auftreten von Unsicherheiten während der thematischen Klassenzuordnung der Landschaftselemente im Jahr 1950 wurden historische topographische Karten aus den 50er Jahren mit dem Maßstab 1:25 000 als Entscheidungshilfe genutzt.

Das Ergebnis der Interpretation, eine geographische Vektor-Datenbank mit Information über Landschaftsbedeckungs- und Landnutzungsklassen der neun Transekte, liegt als Personal Geodatabase bzw. als ArcInfo Coverage vor. Die aggregierten CLC-Klassifizierungslevel 2 (15 Klassen) und 1 (5 Klassen) wurden mit Hilfe von GIS- bzw. Datenbankwerkzeugen direkt von den Interpretationsergebnissen (CLC-Level 3 mit 44 Klassen) abgeleitet. Somit sind jedem Polygon Informationen zu den CLC-Klassen Level 1 bis 3 für die Zeitpunkte 1950, 1990 und 2000 zugewiesen. Aus dieser Datenbank wurden die Veränderungsmatrizen abgeleitet (Methodik in Kapitel 4.3 und Ergebnisse in Kapitel 5.1). Durch das geometrische Zusammenfassen (DISSOLVE) benachbarter Polygone mit gleichen thematischen Klassen je Zeitpunkt wurden die Daten für die Bestimmung der Landschaftsstrukturmaße (Kapitel 4.4) vorbereitet.

Ein detailliertes Beispiel für die Dynamik der Landbedeckung, die mit Hilfe panchromatischer Luftbilder beobachtet werden kann, ist in Abbildung 4.3 auf der nächsten Seite dargestellt.

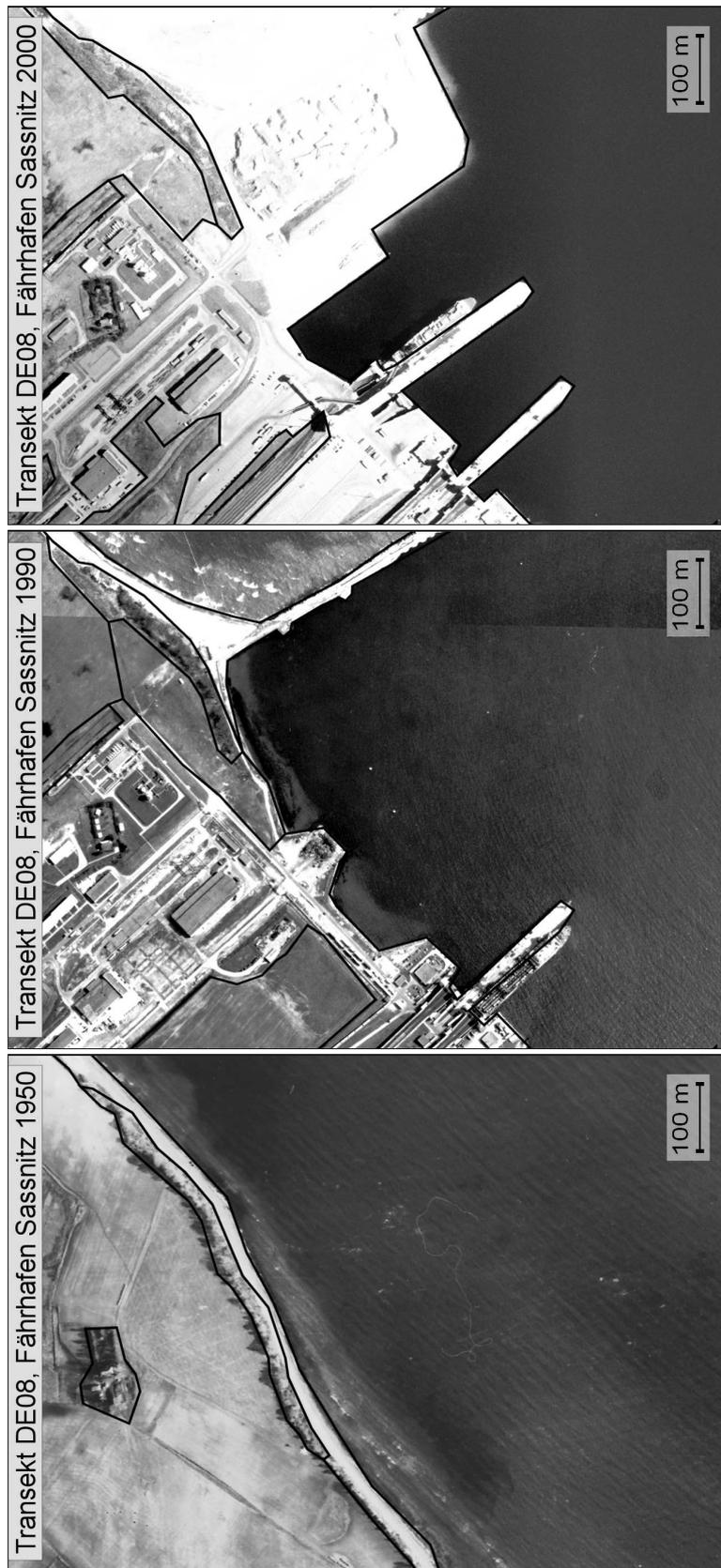


Abbildung 4.3: Detaillierte Darstellung der Dynamik der Landbedeckung, die auf den Luftbildern von 1950, 1990 und 2000 aufgenommen wurden. Die Ausschnitte zeigen jeweils dasselbe Gebiet zu den Zeitpunkten 1950, 1990 und 2000. Es befindet sich im Zentrum des Transekts DE08 auf der Insel Rügen und zeigt einen Teil des heutigen Fährhafens Mukran bei Sassnitz.

4.3 Flächensummen und Anteile der Land-Cover-Klassen

4.3.1 Kreuztabellen als Kalkulationsgrundlage für Flächenanteile und Veränderungen der Landbedeckung

Eine allgemein anerkannte Methode der Analyse von Landbedeckungsveränderungen ist der Vergleich von thematischen Karten eines initialen Zeitpunkts t_0 mit einem nachfolgenden Zeitpunkt t_1 (PONTIUS JR. und LIPPIT, 2004; PONTIUS JR. und MALIZIA, 2004; JENSEN, 2005; FOODY, 2006b). Die Berechnung einer Kreuztabelle ist in diesem Vergleich oft der erste Schritt der Untersuchung. Tabelle 4.2 stellt das Format einer typischen Kreuztabelle dar. Die Zeilen repräsentieren die Landbedeckungsklassen der Karte zum Zeitpunkt t_0 und die Spalten zeigen die Klassen zum Zeitpunkt t_1 . p_{ij} zeigt den Flächenanteil der Karte, der eine Veränderung von Landbedeckungsklasse i zum Zeitpunkt t_0 in Klasse j zum Zeitpunkt t_1 repräsentiert. Die Einträge in der Diagonalen der Tabelle (p_{ij} , bei $i = j$) spiegeln die unveränderten Flächenanteile der Karte zwischen den Zeitpunkten t_0 und t_1 wider. Zusätzlich wird in der Kreuztabelle der Gesamtflächenanteil (Summe t_0 bzw. t_1) einer Landbedeckungsklasse für jeden Zeitpunkt und der Gewinn bzw. Verlust von Flächenanteilen durch Summieren der Zeilen- bzw. Spaltenwerte unter Ausschluss der Diagonalen berechnet.

Tabelle 4.2: Kreuztabelle für den Vergleich von Karten zu zwei Zeitpunkten für drei thematische Klassen

		t ₁			Summe t ₀	Verlust
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3		
t ₀	Klasse 1	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{1+}	$p_{12} + p_{13}$
	Klasse 2	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{2+}	$p_{21} + p_{23}$
	Klasse 3	p_{31}	p_{32}	p_{33}	p_{3+}	$p_{31} + p_{32}$
Summe t ₁		p_{+1}	p_{+2}	p_{+3}	1	
Gewinn		$p_{21} + p_{31}$	$p_{12} + p_{32}$	$p_{13} + p_{23}$		

Quelle: verändert nach PONTIUS JR. und MALIZIA (2004)

Die Auswertung der Kreuztabellen erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten:

- Welcher Flächenanteil der Landbedeckungsklasse i hat sich in welche LC¹-Klasse j geändert?
- Was sind die flächenmäßig bedeutendsten Landbedeckungsveränderungen in jeder Untersuchungsperiode?
- Welchen Einfluss hat der Untersuchungszeitraum?

4.3.2 Budgets der Kartenveränderung

Tabelle 4.3 auf der nächsten Seite beschreibt das typische Format einer Veränderungsbudgettabelle, die aus den Kreuztabellen (siehe Tabelle 4.2) abgeleitet wurde.

¹ Land Cover

4 Methodik

Tabelle 4.3: Budgets der Kartenveränderung abgeleitet aus der Kreuztabelle in Tabelle 4.2 auf der vorherigen Seite

LC-Klasse	Verlust	Gewinn	Total	Netto	Verlagerung
1	$p_{12} + p_{13}$	$p_{21} + p_{31}$	$p_{12} + p_{13} + p_{21} + p_{31}$	$|(p_{12} + p_{13}) - (p_{21} + p_{31})|$	$\min(p_{12} + p_{13}, p_{21} + p_{31}) \times 2$
2	$p_{21} + p_{23}$	$p_{12} + p_{32}$	$p_{21} + p_{23} + p_{12} + p_{32}$	$|(p_{21} + p_{23}) - (p_{12} + p_{32})|$	$\min(p_{21} + p_{23}, p_{12} + p_{32}) \times 2$
3	$p_{31} + p_{32}$	$p_{13} + p_{23}$	$p_{31} + p_{32} + p_{13} + p_{23}$	$|(p_{31} + p_{32}) - (p_{13} + p_{23})|$	$\min(p_{31} + p_{32}, p_{13} + p_{23}) \times 2$
Transekt	$p_{12} + p_{13} + p_{21} + p_{23} + p_{31} + p_{32}$	$p_{12} + p_{13} + p_{21} + p_{23} + p_{31} + p_{32}$	$p_{12} + p_{13} + p_{21} + p_{23} + p_{31} + p_{32}$	$\frac{|(p_{12} + p_{13}) - (p_{21} + p_{31})| + |(p_{21} + p_{23}) - (p_{12} + p_{32})| + |(p_{31} + p_{32}) - (p_{13} + p_{23})|}{2}$	$\min(p_{12} + p_{13}, p_{21} + p_{31}) + \min(p_{21} + p_{23}, p_{12} + p_{32}) + \min(p_{31} + p_{32}, p_{13} + p_{23})$

Quelle: verändert nach PONTIUS JR. und MALIZIA (2004)

Die Summe von Verlust und Gewinn von Flächenanteilen einer LC-Klasse ist gleich dem gesamten Flächenanteil der Klasse (Total), der sich zwischen den Zeitpunkten t_0 und t_1 verändert. Die Beziehungen zwischen Verlust, Gewinn, Total, Netto und Verlagerung der Flächenanteile auf Ebene der einzelnen Landbedeckungsklassen i sind in Formel 4.1 verdeutlicht.

$$\text{Verlust}_i + \text{Gewinn}_i = \text{Total}_i = \text{Netto}_i + \text{Verlagerung}_i \quad (4.1)$$

Die Summe von Verlust und Gewinn ist gleich Total. Total kann durch die Summe von Netto und Verlagerung der Flächenanteile einer Landbedeckungsklasse beschrieben werden. Netto ist der Flächenanteil einer Kategorie i , der sich zwischen den beiden Zeitpunkten t_0 und t_1 unkompensiert verändert. Als Verlagerung wird die kompensierte Veränderung des Flächenanteils einer LC-Klasse i bezeichnet.

Formel 4.2 fasst die in Tabelle 4.3 dargestellten Budgets für das gesamte Testgebiet zusammen.

$$\text{Verlust}_K = \text{Gewinn}_K = \text{Total}_K = \text{Netto}_K + \text{Verlagerung}_K \quad (4.2)$$

Wie Formel 4.2 zeigt, setzt sich Total der Veränderung auch bei der Betrachtung des gesamten Transekts aus der Summe von Netto und Verlagerung der Flächenanteile der Veränderungen zusammen. Auf dem Kartenlevel (Index K) ist Netto bzw. Verlagerung jeweils die Hälfte der Summe von Netto bzw. Verlagerung der Flächenanteile der LC-Klassen. Da die Gesamtfläche des Testgebiets zwischen den Zeitpunkten t_0 und t_1 nicht verändert wird, sind Verlust und Gewinn auf der Transektebene identisch und gleich dem Flächenanteil der Gesamtveränderung (Total_K).

Die Budgets der Kartenveränderungen liefern gegenüber den Kreuztabellen zusätzliche Informationen, mit deren Hilfe die Translokation und Nettoveränderung einer LC-Klasse differenziert werden können.

4.3.3 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit von der neuen bzw. ursprünglichen LC-Klasse

Die Untersuchungen stellten Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Veränderung bestimmter Landbedeckungsklassen fest, die als Landschaftsregeln in ein Extrapolationsmodell einfließen können. Dazu wurde die Geo-Datenbank der Interpretationsergebnisse mit zwei unterschiedlichen Zielen ausgewertet.

In einer ersten Teilanalyse erfolgte die Kalkulation der Flächenanteile der veränderten Polygone in Hinblick auf die gesamte Flächensumme der neu entstandenen Patches einer Landbedeckungsklasse (Gewinn einer Klasse). So ist z. B. von Interesse, auf welchen originalen Landbedeckungen vorrangig Siedlungsflächen entstanden. In Tabelle 4.4 sind die Flächenanteile der Veränderungen im Bezug auf den Gewinn der Landbedeckungsklasse im Zeitpunkt t_1 dargestellt. Die Kalkulationsgrundlage der Tabelle 4.4 ist die Kreuztabelle (siehe Tabelle 4.2 auf Seite 37), bei der jedoch die unveränderten Flächen unbeachtet bleiben.

Tabelle 4.4: Flächenanteile der Veränderungen bezogen auf den Gewinn der LC-Klasse

		t_1		
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
S	Klasse 1	x	$p_{12}/(p_{12} + p_{32})$	$p_{13}/(p_{13} + p_{23})$
	Klasse 2	$p_{21}/(p_{21} + p_{31})$	x	$p_{23}/(p_{13} + p_{23})$
	Klasse 3	$p_{31}/(p_{21} + p_{31})$	$p_{32}/(p_{12} + p_{32})$	x
Gewinn		$p_{21} + p_{31}$	$p_{12} + p_{32}$	$p_{13} + p_{23}$

In der zweiten Teilanalyse wurden die Flächenanteile der veränderten Polygone im Hinblick auf den Verlust von Patches einer LC-Klasse kalkuliert. Hier interessiert z. B., welche Landbedeckung auf ursprünglichen Ackerflächen entstanden. Dazu wurden die Flächenanteile der Veränderungen bezogen auf die Flächensumme des Verlusts der ursprünglichen Landbedeckungsklasse bestimmt. Somit konnte der Flächenanteil einer originalen LC-Klasse ermittelt werden, der sich in eine neue Klasse änderte.

Die Berechnungen in der Tabelle 4.5 basieren ebenfalls auf der Kreuztabelle (siehe Tabelle 4.2 auf Seite 37).

Tabelle 4.5: Flächenanteile der Veränderungen bezogen auf den Verlust der LC-Klasse

		t_1			
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Verlust
S	Klasse 1	x	$p_{12}/(p_{12} + p_{13})$	$p_{13}/(p_{12} + p_{13})$	$p_{12} + p_{13}$
	Klasse 2	$p_{21}/(p_{21} + p_{23})$	x	$p_{23}/(p_{21} + p_{23})$	$p_{21} + p_{23}$
	Klasse 3	$p_{31}/(p_{31} + p_{32})$	$p_{32}/(p_{31} + p_{32})$	x	$p_{31} + p_{32}$

4.3.4 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum 1950–1990 ist viermal so lang wie die zweite Periode 1990–2000. Man kann jedoch nicht von einem linearen Trend der Landbedeckungsveränderungen ausgehen. Die summierten Gesamtveränderungen für jedes Transekt wurden zwischen den beiden Untersuchungsperioden miteinander verglichen, um eine Szenarienbildung für ein Landschaftsmodell zu diskutieren.

4.3.5 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Interpretationslevel

Der Einfluss der Aggregation von thematischen Landbedeckungsklassen auf die Flächenanteile der Veränderungen wurde untersucht, indem die Landbedeckungsveränderungen in den Zeiträumen 1950 bis 1990 und 1990 bis 2000 für alle drei Level der CLC-Nomenklatur (Abbildung 4.4) bestimmt und miteinander verglichen wurden. Die in den CLC-Levels beschriebenen Landbedeckungs- und Landnutzungsklassen sind in Tabelle A.1 auf Seite 193 im Anhang A dargestellt.

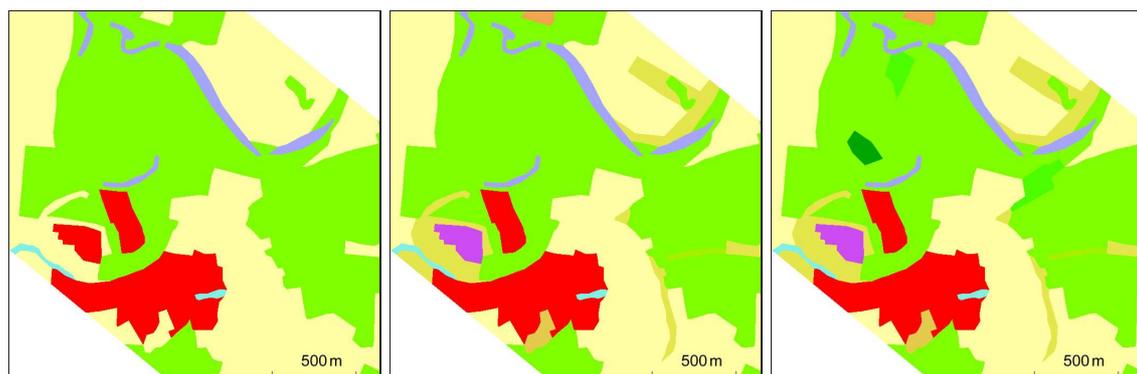


Abbildung 4.4: Darstellung desselben Ausschnitts mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad; von links nach rechts: CLC-Level 1 (5 Klassen), CLC-Level 2 (15 Klassen), CLC-Level 3 (44 Klassen)

Da die Nomenklatur auf einem hierarchischen System der Landbedeckungsklassen basiert, ist sie für die Untersuchung des Einflusses des Interpretationsmaßstabs auf die Ergebnisse der Veränderungsanalyse ideal geeignet. Allerdings können andere maßstabsabhängige Parameter, wie z. B. die kleinste Kartiereinheit oder eine andere Bodenauflösung der FE-Daten, mit dieser Methode nicht simuliert werden.

4.4 Landschaftsstruktur

4.4.1 Landschaftsstrukturmaße

Für den Naturschutz sowie die Landschafts- und Raumplanung ist das Verständnis der ökologischen Prinzipien von Veränderungen der Landschaftsmuster wichtig. Die Landschaftsstruktur ist unter

anderem als Merkmal zur Analyse von Veränderungen der Umweltqualität über längere Zeiträume (Monitoring) geeignet (WALZ, 2004). Neben der verbalen Beschreibung der Veränderungen und der Darstellung in Karten ist die Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen (LSM) eine Möglichkeit der Quantifizierung von Veränderungen der Landschaftsmuster.

Zusätzlich zu den Flächensummen der einzelnen Landbedeckungsklassen wurden je Transekt und Zeitpunkt (1950, 1990, 2000) 21 bzw. 13 Strukturmaße auf der Landschafts- bzw. Klassenebene berechnet (Tabelle 4.6). Die auf Vektordaten angewendeten Formeln sowie der Ergebnisraum befinden sich in den Tabellen A.3 auf Seite 195 und A.4 auf Seite 196 (Anhang A).

Tabelle 4.6: Landschaftsstrukturmaße der Landschafts- bzw. Klassenebene

Beschreibung	Symbol	Landschafts- ebene	Klassen- ebene
Gesamtfläche des Testgebiets bzw. LC-Klasse	TA bzw. TAC	x	x
Anzahl der Patches	NP	x	x
Dichte der Einzelflächen	PD	x	x
Anzahl der Klassen	PR	x	
Relative Klassenhäufigkeit	RPR	x	
Dichte der Klassen	PRD	x	
Durchschnittliche Patchgröße	MPS	x	x
Flächenanteil des größten Patches an TA bzw. TAC	LPI	x	x
Gesamtlänge der Grenzlinien	TE	x	x
Kantendichte	ED	x	x
Durchschnittlicher Umfang-Flächen-Ratio	MPAR	x	x
Flächengewichteter durchschnittlicher Umfang-Flächen-Ratio	AWMPAR	x	x
Dominanz-Index	DI	x	
Landschaftsformindex	LSI	x	x
Durchschnittlicher Formindex	MSI	x	x
Flächengewichteter durchschnittlicher Formindex	AWMSI	x	x
Diversitätsindex nach Shannon	SHDI	x	
Diversitätsindex nach Simpson	SIDI	x	
Gleichmäßigkeitsindex nach Shannon	SHEI	x	
Gleichmäßigkeitsindex nach Simpson	SIEI	x	
Interspersion- und Juxtaposition-Index	IJI	x	x

Um die Anzahl der Landschaftsmaße auf jene zu reduzieren, die in das Extrapolationsmodell einfließen, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Die Korrelationsanalyse stellt ein geeignetes Instrumentarium für die Quantifizierung der Stärke von Abhängigkeiten und Zusammenhängen mehrerer Merkmale dar (HARTUNG und ELPELT, 1999). Sind Zusammenhänge zwischen nicht normal verteilten Parametern zu ermitteln, entstammt also die zweidimensionale Stichprobe einer beliebigen stetigen Verteilung, dann lässt sich die Abhängigkeit durch den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman beurteilen, der ein Maß für die Stärke eines monotonen Zusammenhanges darstellt (SACHS, 1999; WEISS, 1999).

Da eine Normalverteilung der LSM für die untersuchten Testgebiete nicht gewährleistet war, wurden Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman für die jeweiligen Merkmalspaare berechnet (siehe Tabellen D3 bis D8 im Anhang D). Danach erfolgte eine Gruppierung der Strukturmaße anhand des Korrelationskoeffizienten ($\geq +0,9$). Für jede Gruppe wurde ein Strukturmaß ausgewählt, das die jeweilige Gruppe repräsentiert. Dabei orientierte sich die Auswahl an der Einfachheit der Berechnung und Interpretation der Indizes.

4.4.2 Hemerobie-Index M

Der Hemerobie-Index ist kein Landschaftsstrukturmaß im eigentlichen Sinn, kann jedoch mit Hilfe von Informationen zur Landbedeckung berechnet werden.

JALAS (1955) und SUKOPP (1972) beschreiben den Grad der Hemerobie als eine Möglichkeit der Messung der Intensität der Kulturwirkung auf ein Ökosystem; dieser Grad steigt mit wachsendem anthropogenem Einfluss. Der Hemerobiegrad kann durch eine Kombination verschiedener Indikatoren gemessen werden, wie z. B. der Anteil von neophytischen und therophytischen Arten, morphologische und chemische Bodenparameter oder auch Landnutzungstypen (STEINHARDT ET AL., 1999). Anlehnend an STEINHARDT ET AL. (1999) und KLOTZ und KÜHN (2002) wurden die CLC-Level-3-Klassen den Hemerobiestufen zugewiesen (Tabelle 4.7 bzw. Tabelle A.2 auf Seite 194 im Anhang A). Die Hemerobiestufe ahemerob wurde ausgeschlossen, da Regionen ohne menschlichen Einfluss in den Testgebieten nicht existieren.

Tabelle 4.7: Zuordnung der Hemerobiestufen zu Landbedeckung bzw. Landnutzung

Hemerobiestufe	Hemerobiefaktor	Landbedeckung in den Transekten (CLC)
oligohemerob	1	Mischwald, Felsen, Moore, Sümpfe
mesohemerob	2	Laubwald, Nadelwald, natürliches Grassland, Dünen, Meer
β -euhemerob	3	Fließgewässer, Seen, urbane Grünflächen, Obstplantagen, Weiden
α -euhemerob	4	Agrarwirtschaft, Sportplätze
polyhemerob	5	Siedlungen, Tagebaue, Halden
metahemerob	6	Industrie, Verkehrswege, Hafenanlagen, Flugplätze, Baustellen

Der Hemerobie-Index M für die neun Transekte wurde mittels der von STEINHARDT ET AL. (1999) beschriebenen Formel 4.3 für die Zeitpunkte 1950, 1990 und 2000 bestimmt.

$$M = 100 \sum_{h=1}^m \frac{f_h \times h}{m} \quad (4.3)$$

f_h	Flächenanteil der Hemerobiestufe h
h	Hemerobiefaktor (linear von $h = 1$ für minimale bis $h = m$ für maximale Hemerobie)
m	Anzahl der Hemerobiestufen

Der maximale Wert, den der Hemerobie-Index erreichen kann, beträgt 100. Er wird erreicht, wenn das gesamte Testgebiet der maximalen Hemerobiestufe zugeordnet ist. Wenn im Transekt der Einflussgrad des Menschen minimal ist, liegt M bei $[\frac{1}{m} \times 100]$.

Auf der Datengrundlage von CLC90 und CLC2000 wurde mit Hilfe eines moving-window-Ansatzes die Berechnung des Hemerobie-Indexes M auf das vollständige Bundesgebiet ausgedehnt, um die Eignung des Indexes für großflächige Inventuren bewerten zu können. In Anbetracht der minimalen Kartiereinheit von CLC90 ($25 \text{ ha} = 0,25 \text{ km}^2$) wurde die Fläche des quadratischen moving windows auf 25 km^2 ($5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$) festgelegt, die Sprungweite zwischen benachbarten Fenstern lag bei 2,5 km. Weiterführende Informationen zum moving-window-Konzept können z. B. in CHAVEZ und BAUER (1982), OEHMICHEN (2001) oder KÖHL und OEHMICHEN (2003) gefunden werden.

4.5 Nachbarschaftsanalysen

Neben den Landschaftsstrukturmaßen, die auf Häufigkeiten, räumlicher Verteilung und der Form von Patches basieren, wurden die Interpretationsergebnisse auf Grundlage von Nachbarschaftsbeziehungen der einzelnen Polygone analysiert.

Eine typische Nachbarschaftsanalyse ist die Bestimmung der durchschnittlichen Isolation von Patches einer Klasse (GUSTAFSON und PARKER, 1992). Die Nachbarschaft eines Patches kann aber auch mit Hilfe eines Puffers um die betrachtete Fläche untersucht oder anhand des pixel-basierten Strukturindex CONTAGION bestimmt werden (GUSTAFSON, 1998). Dieser Index ist ein Aspekt der Landschaftstextur und betrachtet die Tendenz der Patches zur räumlichen Aggregation (siehe O'NEILL ET AL., 1988; LI und REYNOLDS, 1993; RIITTERS ET AL., 1996).

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt jedoch auf den Veränderungen der Landbedeckung. Rasterbasierte Untersuchungen auf Basis von Nachbarschaftsfiltern sind deshalb nicht erschöpfend. Daher wurden topologische Informationen bezüglich der Nachbarschaften von Polygonen mit Landbedeckungsklassen aus den Vektordaten der Interpretation abgeleitet, die die Grundlage für die nachfolgenden Analysen bildeten.

4.5.1 Häufigkeiten von Nachbarflächen derselben LC-Klasse

In der ersten Teilanalyse wurden die Häufigkeiten der Landbedeckungsklassen der Nachbarflächen in Abhängigkeit von der LC-Klasse des neu entstandenen Patches ermittelt. Dabei wurde untersucht, ob die Landbedeckung der zu Zeitpunkt t_0 kartierten angrenzenden Nachbarflächen identisch mit dem zu t_1 erfassten neuen Patch ist und ob sie während des betrachteten Zeitraums stabil blieben oder sich veränderten (Abbildung 4.5 auf der nächsten Seite). So können Flächen-erweiterungen einer bereits bestehenden Landbedeckungsklasse und Verlagerungen voneinander differenziert werden.

4.5.2 Standortstypisierung neuer Flächen

Eine Erweiterung der ersten Teilanalyse ist die Standortstypisierung neu entstandener Flächen. Die Standortstypisierung erlaubt eine Unterteilung der Flächen anhand ihrer Integration in bereits bestehende Flächen der selben Landbedeckungsklasse (siehe WINKLER und MEINEL, 2003). Die

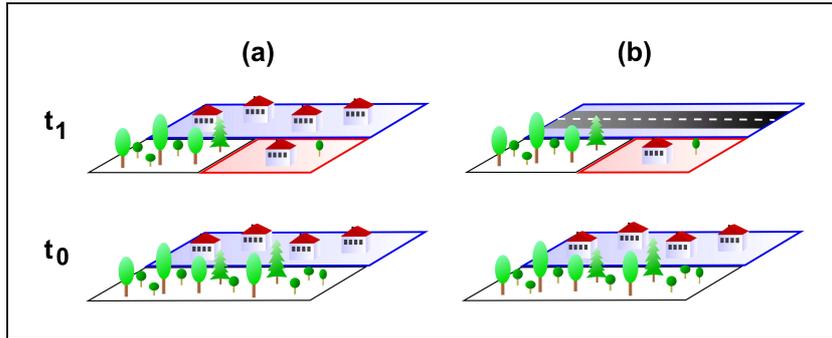


Abbildung 4.5: (a) Zum Zeitpunkt t_1 entsteht ein neues Patch (rote Polygongrenze) neben einer stabilen Nachbarfläche (blaue Polygongrenze) der selben LC-Klasse in t_0 und t_1 (Flächenerweiterung bereits bestehender Patches).
 (b) Zum Zeitpunkt t_1 entsteht ein neues Patch (rote Polygongrenze) neben einer *nicht* stabilen Nachbarfläche (blaue Polygongrenze) der selben LC-Klasse in t_0 (räumliche Verlagerung direkt benachbarter Areale).

Typisierung erfolgte mit Hilfe eines Parameters (RATIO), der sich aus dem Quotienten der Länge der gemeinsamen Grenzlinie des neuen Polygons mit der bereits bestehenden Fläche derselben LC-Klasse und dem Umfang der neuen Fläche selbst berechnet. Die Ergebnisse der Parameterberechnung wurden mit Hilfe der Tabelle 4.8 interpretiert. Abbildung 4.6 auf der nächsten Seite (rechts) zeigt ein grafisches Beispiel für verschiedene Typen.

Tabelle 4.8: Standortstypisierung neuer Landbedeckungsflächen

Typ	Interpretation	RATIO
1	Lückenschließung/-auffüllung im Innenbereich einer LC-Klasse	$2/3 < \text{RATIO} \leq 1$
2	Abrundung von Rändern (Arrondierung)	$1/3 < \text{RATIO} < 2/3$
3	Erweiterung mit geringem Anschluss an bestehende LC-Klasse	$0 < \text{RATIO} < 1/3$
4	Erweiterung ohne Anschluss an bestehende LC-Klasse	$\text{RATIO} = 0$

Quelle: nach WINKLER und MEINEL (2003)

Ein Quotient (RATIO) von 1 beschreibt eine neue Fläche, die vollständig von bereits bestehenden Flächen der jeweiligen LC-Klasse eingeschlossen ist. Bei einem Wert von 0 besitzt die neu entstandene Fläche keine Verbindung mit bereits bestehenden Flächen derselben Landbedeckung. Diese Methodik wurde exemplarisch für die Landbedeckungsklassen *nicht durchgängige städtische Prägung* (112), *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) und *Wald* (311, 312, 313) durchgeführt.

Die Einteilung der Flächen in Typen (1–4) ermöglichte neben der visuellen Darstellung der Verteilung von Standortstypen einen statistischen Vergleich der Flächengröße sowie von drei Strukturmaßen der erweiterten Flächen. Dabei war das Ziel die Differenzierung der vier Typen anhand der Parameter Flächengröße (A), Umfang-Flächen-Quotient (PAR), Formindex (SI) sowie der fraktalen Dimension (FD) (Formeln siehe Tabelle A.5). Da die Voraussetzungen für parametrische Testverfahren — Normalverteilung bzw. großer Stichprobenumfang — nicht erfüllt waren, wurden nicht-parametrische Tests genutzt. Im Vorfeld wurde ein Kruskal-Wallis-H-Test (H) durchgeführt,

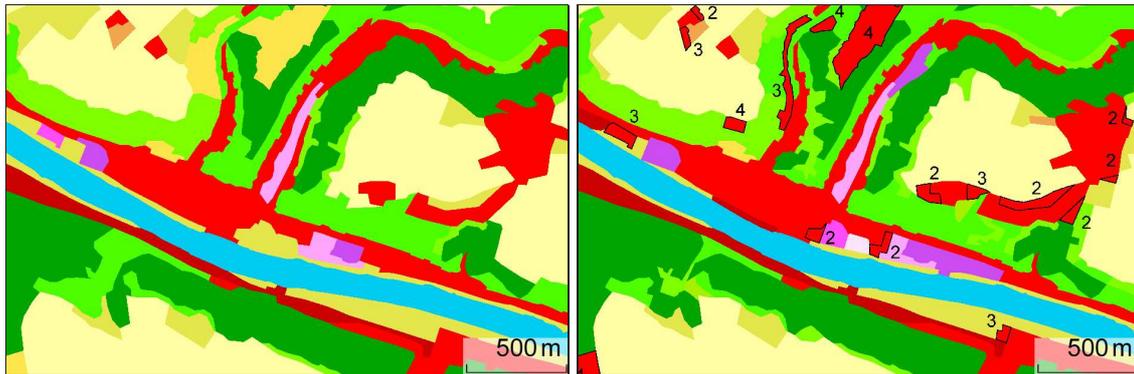


Abbildung 4.6: Beispiel für die Erweiterung (schwarze Grenzlinien) der urbanen Fläche (rot) von 1950 (links) bis 1990 (rechts). Die Zahlen symbolisieren den Standortstyp der erweiterten Polygone (siehe Tabelle 4.8 auf der vorherigen Seite)

um allgemein Unterschiede zwischen den Typen festzustellen. Nachfolgend wurden die Typen paarweise mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests (U) miteinander verglichen. Die Nullhypothese für die beiden Tests lautete: die unabhängigen Stichproben stammen aus derselben Grundgesamtheit. Für alle Tests lag das Signifikanzniveau für die Ablehnung der Nullhypothese bei 0,05.

4.6 Distanzanalysen

In diesem Abschnitt sind die Analysemethoden für die Untersuchungen von Flächenveränderungen in Abhängigkeit von der Entfernung zu definierten Grenzen beschrieben. Die längliche Form und die Ausrichtung der Transekte von Schutzgebieten zur nächsten anthropogenen Quelle war die Basis für die folgenden Untersuchungen. Die methodischen Grundlagen für die Distanzanalysen waren die Bestimmung der Flächensummen und Veränderungen innerhalb von multiplen Pufferzonen sowie in Abhängigkeit von der euklidischen Distanz der Grenzlinien (Abbildung 4.7 auf der nächsten Seite). Die Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen ist für den Landschaftsausschnitt, den ein Puffer generiert, nicht sinnvoll, da die Puffergrenzen die Ergebnisse maßgeblich beeinflussen.

4.6.1 Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu FFH-Gebieten

In der ersten Teilanalyse wurde untersucht, inwiefern Landschaftsveränderungen durch Schutzgebiete beeinflusst werden. Daher erfolgte die Berechnung der Landbedeckungsänderungen innerhalb und außerhalb von NATURA2000-Flächen. Jeweils fünf Pufferzonen mit einer Breite von je 200 m wurden in und um die Schutzgebiete eingerichtet (Abbildung 4.7 auf der nächsten Seite; links), um festzustellen, ob abrupte Wechsel der Veränderungen an den NATURA2000-Grenzen auftraten. Die Ergebnisse flossen in Form von Hypothesen der Landschaftsveränderung in die Eignungskarten des im Kapitel 4.8 vorgestellten Extrapolationsmodells ein.

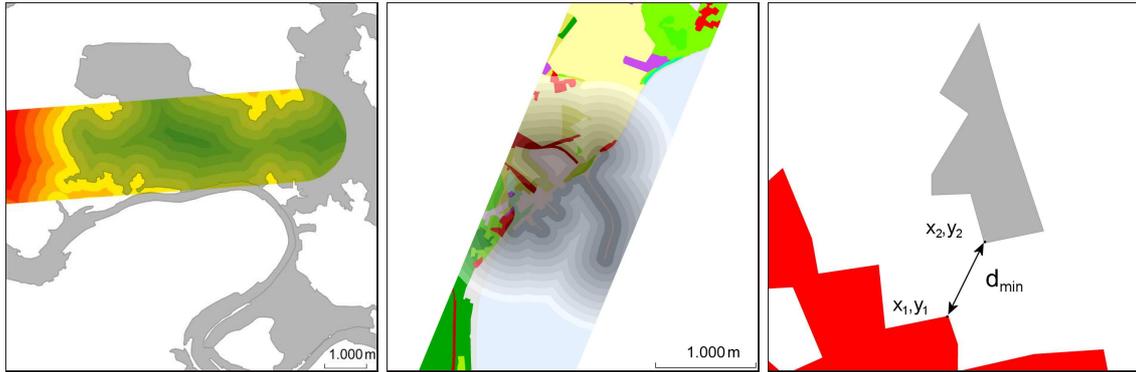


Abbildung 4.7: Methodik der Distanzanalysen. Links: multiple Pufferzonen um (gelb bis rot) und in (grün) NATURA2000-Gebieten (grau). Mitte: multiple Pufferzonen (grau) um und in Polygonen der LC-Klasse *Hafen* (123). Rechts: minimale euklidische Distanz (d_{\min}) zwischen Grenzlinien eines stabilen (rot) und neuen (grau) Patches einer LC-Klasse.

4.6.2 Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu LC-Klassen

Die zweite Teilanalyse kann prinzipiell als Erweiterung der Nachbarschaftsuntersuchungen (Kapitel 4.5.1) gelten. Mit der unten beschriebenen Methode wurde die Erweiterung von bestehenden Flächen einer LC-Klasse unter Beachtung ihrer indirekten Nachbarflächen untersucht. Hierbei beruht die Analyse auf der Kalkulation von Flächenanteilen in Abhängigkeit von der Entfernung zu bereits bestehenden Patches einer LC-Klasse.

Einerseits wurde die minimale euklidische Distanz (Formel 4.4, nach ESRI, 2004a) zwischen den Grenzlinien eines neu entstandenen Polygons und einer bereits bestehenden unveränderten Fläche einer LC-Klasse ermittelt (Abbildung 4.7; rechts). Dabei werden die Anfangs- und Endpunkte der Distanzlinie ($d_{\min} = d_{12}$) durch die Koordinatenpaare x_1, y_1 bzw. x_2, y_2 beschrieben.

$$d_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4.4)$$

Andererseits wurden zehn Pufferzonen mit einer Breite von jeweils 100m um die betrachtete LC-Klasse angelegt (Abbildung 4.7; Mitte). Die Zonendichte war gegenüber der ersten Teilanalyse größer, da hier das Hauptaugenmerk auf der direkten und indirekten Nachbarschaft der Patches einer LC-Klasse lag. Da die Abgrenzungen von Polygonen außerhalb der Testgebiete nicht bekannt sind, tritt eine Einschränkung bei der Pufferbildung innerhalb von Grenzpolygonen auf. Die Außengrenze der Transekte wird fälschlicherweise als Grenzlinie der Polygone angenommen und davon ausgehend fehlerhafte interne Pufferzonen erstellt (Abbildung 4.8 auf der nächsten Seite; links). Der Einfluss dieses Fehlers wurde minimiert, indem nur die transektinternen Grenzen der Polygone (arcs) gepuffert wurden (Abbildung 4.8 auf der nächsten Seite; rechts). Die Ergebnisse der Distanzanalysen stellten ebenfalls Eingabegrößen für die Eignungskarten des Extrapolationsmodells dar.

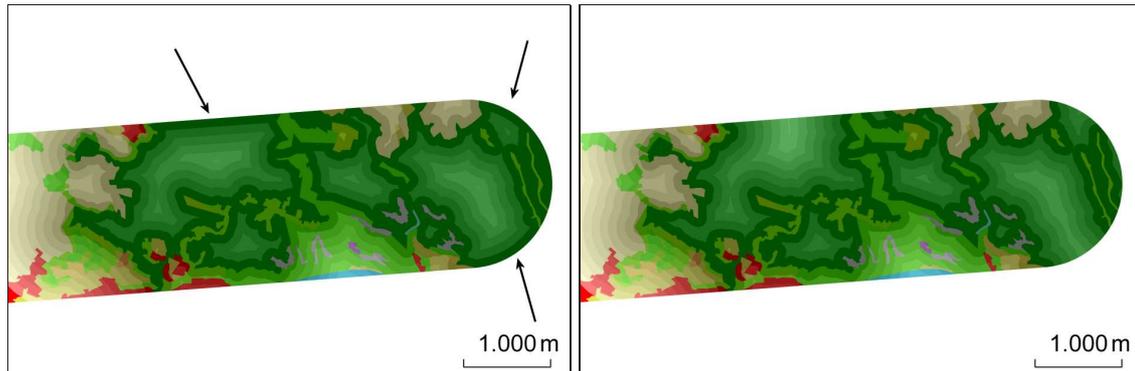


Abbildung 4.8: Einschränkung der Distanzanalyse von LC-Klassen (Teilanalyse 2). Links: multiple Pufferzonen (grau) weisen innerhalb von Nadelwaldflächen Außengrenzen-Fehler auf (Pfeil). Rechts: multiple Pufferzonen (grau) innerhalb von Nadelwaldflächen ohne Außengrenzen-Fehler. Die dunkelgrüne Zone stellt jeweils die Nadelwaldgrenze dar.

4.7 Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren

4.7.1 Ermittlung von 3D-Flächen und -Längen

Höhenausprägungen und -differenzen zu benachbarten Polygonen wurden in der Landschaftsökologie bisher nur selten untersucht (DORNER ET AL., 2002; JENNESS, 2004; HOECHSTETTER und WALZ, 2006; HOECHSTETTER ET AL., 2008). Generell werden Flächen und Umfänge von Polygonen sowie die Distanzen zwischen ihnen in thematischen Karten, verglichen mit der Realität, systematisch unterschätzt (HOECHSTETTER ET AL., 2006). Aufgrund dieser unterschätzten Flächen und Linienlängen der Polygone liefert auch die Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen bei ausgeprägtem Relief ungenaue bzw. falsche Werte.

Digitale Geländemodelle repräsentieren in aktuellen geographischen Informationssystemen nur 2,5 Dimensionen, da jeweils nur ein z-Wert einer xy-Koordinate zugewiesen werden kann. Trotzdem wird in dieser Arbeit der Term 3D in Kombination mit Oberflächen etc. genutzt.

Datenmaterial

Die Berechnungen wurden beispielhaft für das Transekt „Hintere Sächsische Schweiz“ (DE03) durchgeführt, da innerhalb des Testgebiets die bedeutendsten Höhenunterschiede und die häufigsten kleinräumigen Reliefschwankungen auftraten. Räumlich hoch auflösende Daten, wie z. B. Laserscannerdaten, standen für diese Untersuchungen nicht zur Verfügung, so dass auf ein vom Landesvermessungsamt Sachsen bereitgestelltes digitales Geländemodell mit einer Bodenauflösung von 20 m (DGM20) aus den Jahren 1996/97 zurückgegriffen wurde.

Es wurde untersucht, inwiefern die Auflösung des digitalen Geländemodells das Ergebnis der Oberflächenkalkulation der Landschaftselemente beeinflusst. Neben dem DGM20 sollte hierzu ein kostenlos verfügbares Modell der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) mit einer Bodenauflösung von 3 Bogensekunden — das entspricht etwa 90 m am Äquator — zum Einsatz kommen.

Aufgrund von gravierenden Lageunterschieden zwischen den beiden Höhenmodellen wurden alternativ aus dem DGM20 zwei weitere Modelle mit verringerten Bodenauflösungen von 40 m bzw. 80 m (DGM40 bzw. DGM80) abgeleitet. Hierbei kam das Resampling-Verfahren „bilineare Interpolation“ zum Einsatz (ERDAS IMAGINE® INC., 1999a; MIKHAIL ET AL., 2001; ESRI, 2004a; JENSEN, 2005).

Zielparameter

Es wurden die Flächenanteile und die in Kapitel 4.4.1 beschriebenen Landschaftsstrukturmaße für das Transekt DE03 im Jahr 2000 unter Einbeziehung des Reliefs ermittelt. Ferner erfolgte eine Berechnung von Quotienten aus 3D-Oberfläche und planimetrischer Fläche für jede LC-Klasse im Jahr 2000. Zusätzlich wurden die Flächenanteile der Veränderungen der Landbedeckung erfasst.

Flächen- und Längenbestimmung von 3D-Patches

„Reale“ Oberflächen und Umfänge der klassifizierten Polygone sind die Voraussetzungen für die Bestimmung der LC-Veränderungen und der 3D-LSM. Die Bestimmung der Parameter erfolgte nach drei unterschiedlichen methodischen Ansätzen, deren Effizienz miteinander verglichen wurde.

SLOPE

Im ersten Verfahren wurde die Oberfläche der Landbedeckung auf Basis der mittleren Hangneigung (*SLOPE*) abgeleitet (vergleiche DORNER ET AL., 2002). Der schnelle Arbeitsprozess bei der Verarbeitung von umfangreichen Geo-Datenbanken und hoch auflösenden Geländemodellen ist ein Vorteil des Verfahrens. Dem steht jedoch die geringere Genauigkeit der Ergebnisse verglichen mit den beiden anderen Methoden gegenüber.

Die Hangneigung wurde auf Basis der 3×3 -Nachbarschaft jeder Rasterzelle des Geländemodells bestimmt (siehe ESRI Online Hilfe). Der Quotient „3D-Oberfläche/projizierten Fläche“ (f) wurde für jede Rasterzelle nach Formel 4.5 berechnet. Im rechtwinkligen Dreieck beschreibt dieser Wert das Verhältnis zwischen Hypotenuse zur Ankathete und ist somit die Kehrwertfunktion der Kosinusfunktion des Neigungswinkels (GRIMM ET AL., 1992).

$$f = \frac{1}{\cos(\text{slope})} \quad (4.5)$$

slope Hangneigungswinkel

Die 2D-Fläche jeder Zelle wurde mit dem individuellen Quotient f jeder Rasterzelle multipliziert, um die „reale“ Fläche zu erhalten. Die Oberfläche jedes Patches, der eine Landbedeckungskategorie repräsentiert, wurde mit Hilfe der GIS-Funktion „zonale Statistik“ bestimmt.

JENNESS

Im zweiten Ansatz wurde die 3D-Oberfläche der Landbedeckungsklassen mittels eines moving-window-Algorithmus bestimmt, der von JENNESS (2004) entwickelt wurde. Ein Vorteil dieser Methode gegenüber der ersten ist die realere Abbildung des Reliefs.

Die Oberfläche jeder Rasterzelle wurde mit Bezug auf die Höhen der unmittelbaren Nachbarpixel (grau) in acht dreieckige Flächen (blaue Grenzen) unterteilt, die sich im dreidimensionalen Raum befinden (Abbildung 4.9). Dabei verbindet jedes Dreieck den Mittelpunkt der Zentralzelle mit den Höhenwerten der Mittelpunkte von zwei benachbarten Zellen. Da die Oberfläche jedes Pixels nur durch die Fläche der grünen Dreiecke repräsentiert wird, wurden die Dreiecke (blaue Grenzen) auf die Zellgrenzen des Zentralpixels gekürzt. Mit Hilfe der Seitenlänge der Dreiecke konnte die Fläche jeder Rasterzelle bestimmt werden. Weitere Details sind in JENNESS (2004) und HOECHSTETTER ET AL. (2006) zu finden. Die Oberflächen der Landbedeckungsklassen wurden ebenfalls durch „zonale Statistik“ bestimmt.

Für die beiden oben beschriebenen Verfahren wurden die 3D-Umfänge der einzelnen Landbedeckungsflächen nach dem angepassten Verfahren von HOECHSTETTER ET AL. (2006) kalkuliert.

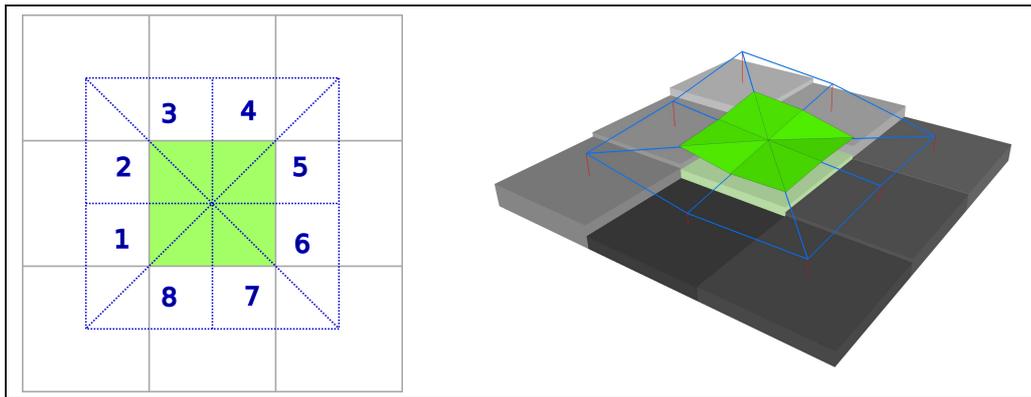


Abbildung 4.9: Darstellung der Methode nach JENNESS für die Berechnung der Oberfläche und Umfänge von Patches. Die hellgrüne Zelle markiert das Zentralpixel. Durch die Verbindung des Mittelpunkts des Zentralpixels mit den Zentren seiner acht Nachbarzellen entstehen acht Dreiecke, deren Summe die Oberfläche des Zentralpixels repräsentiert (Abbildung verändert nach JENNESS, 2004).

TIN (Triangular Irregular Network)

Die Rasterzellengröße des DGMS beeinflusst die Genauigkeit der Flächen- und Umfangsbestimmung im Rasterformat. Linien, die nicht genau horizontal bzw. vertikal verlaufen, sind in Rasterdaten durch Treppeneffekte gekennzeichnet, was zu einer erheblichen Verlängerung der Linielänge führt. Daher wurde ein weiteres Verfahren genutzt, um den Einfluss des Datenformats zu minimieren. Bei der Verarbeitung umfangreicher Vektordaten stößt das verwendete Modul der GIS-Software jedoch an programmtechnische Grenzen.

In diesem Verfahren beruht die Oberflächenberechnung auf der Dreiecksvermaschung (TIN), was eine Form der unregelmäßigen Tessellation² basierend auf Dreiecken darstellt. Aus dem digi-

² eine vollständige und überlappungsfreie Zerlegung der euklidischen Ebene in flächenhafte Objekte

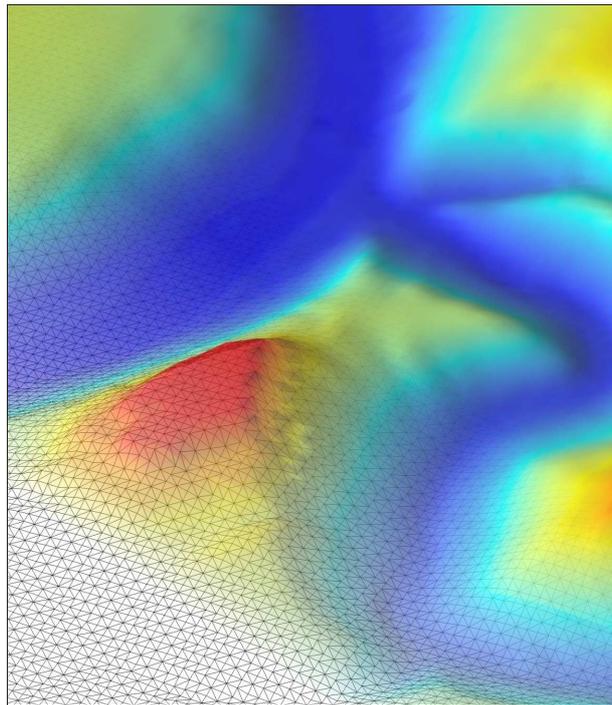


Abbildung 4.10: Darstellung der Oberfläche eines Bereichs des Transekts DE03 mittels einer Kombination von TIN (monochrome Gitterstruktur) und Relief (Farbverlauf).

talen Geländemodell wurde ein TIN abgeleitet (Abbildung 4.10), welches danach in ein Polygon-Coverage transformiert wurde. Die Kalkulation des Verhältnisses aus 3D-Oberfläche und projizierter Fläche (t) je Dreieck des TINs erfolgte nach folgender Formel 4.6.

$$t = \frac{S\text{Area}}{\text{Area}} \quad (4.6)$$

$S\text{Area}$ Oberfläche (3D)
 Area projizierte Fläche (2D)

Die Interpretationsergebnisse wurden mit dem Polygon-Coverage verschnitten, das den Faktor t für jede Dreiecksfläche enthält. Die Berechnung der Oberflächen der thematischen LC-Klassen erfolgte durch die Multiplikation der 2D-Fläche und des Faktors t . Die Umfänge der Landbedeckungspatches wurden mittels der GIS-Prozedur SURFACELENGTH direkt vom TIN abgegriffen.

4.7.2 Zusammenhang zwischen Relief und Landbedeckung

Der Zusammenhang zwischen Relief, Landbedeckungsklasse und Veränderung von Landbedeckungsklassen wurde empirisch untersucht. Dazu mussten die Reliefinformationen in einen Datensatz im Vektorformat überführt und mit den Interpretationsergebnissen kombiniert werden. Dabei wurde jedem LC-Patch die Höhe über Normalhöhennull (NHN), die Hangneigung und die

Hangrichtung zugewiesen.

Diese drei Größen beeinflussen lokale klimatische Parameter, wie beispielsweise die Jahresmitteltemperatur und die Dauer der Vegetationsperiode, aber auch bodenkundliche Faktoren wie z. B. den Bodenwasserhaushalt. Daher eignen sie sich als einfache Input-Variablen für das in Kapitel 4.8 beschriebene Extrapolationsmodell.

4.8 Extrapolationsmodell

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Extrapolationsmodell soll die Quantifizierung und Lokalisierung regionaler Landschaftsveränderungen ermöglichen. Dabei basierte das Extrapolationsmodell ausschließlich auf empirischen bzw. statistisch erhobenen Landbedeckungsinformationen in Testgebieten, aus denen ein Regelwerk der beobachteten Landschaftsänderungen (siehe Kapitel 5.6.1) abgeleitet wurde. Es sollte geprüft werden, ob Landschaftsveränderungen, die in Testgebieten beobachtet wurden, mit Hilfe des Modells auf ein definiertes Extrapolationsgebiet räumlich übertragen werden können, wenn keine zusätzlichen Input-Daten für ein kausales Landschaftsmodell verfügbar sind. Dagegen war die Prognose der Landbedeckung zu einem zukünftigen Zeitpunkt kein Ziel der Arbeit. Daher wurde bewusst auf die Nutzung von Zusatz-Daten verzichtet.

4.8.1 Aufbau des Extrapolationsmodells

1. Zieldefinition:

Ausgehend von dem Untersuchungszeitraum 1950–1990 der Transekte war das Ziel des Modells die Erstellung einer überregionalen Geo-Datenbank mit Informationen zur Landbedeckung im Jahr 1950 (CLC50) bzw. der Landbedeckungsänderung zwischen 1950 und 1990.

2. Voraussetzung:

Die zentrale Voraussetzung für das Modell war die Hypothese, dass ähnliche Landschaftsparameter zu ähnlichen Veränderungen führen. Damit basierte die Hypothese auf der in der Landschaftsökologie verbreiteten Theorie, dass die Landschaft und ihre Struktur eine Determinante ökologischer Prozesse ist (vergleiche z. B. FORMAN und GODRON, 1986; RUTLEDGE, 2003; TURNER, 1989; TURNER ET AL., 2003). So vermutete z. B. FORMAN (1995), dass die Neigung eines Landschaftspatches zur Veränderung mit der Form und Komplexität des Patches zusammenhängt.

3. Bestimmung des Extrapolationsgebiets:

Als Extrapolationsgebiet wurden die neuen Bundesländer definiert, womit der Auswahl der Testgebiete (Transekte) Rechnung getragen wurde. So wurden ähnliche politische Rahmenbedingungen und vergleichbare Landschaftsmosaike im Extrapolationsgebiet und in den Testgebieten gewährleistet.

4. Prozedur für die Berechnung der erwarteten Werte des Modells:

Der Modellansatz beruhte auf der Übertragung der in Testgebieten (TG) — hier sind das die neun Transekte — beobachteten Landschaftsveränderungen zwischen zwei Zeitpunkten t_0 und t_1 auf

ein anderes bzw. größeres Extrapolationsgebiet mit bekannter Landbedeckung zum Zeitpunkt t_0 . Dabei war das Ziel der Extrapolation die Vorhersage der Landoberfläche des Extrapolationsgebiets in t_1 . Durch den Vergleich mit der ursprünglichen Landbedeckung (in t_0) weist der Zieldatensatz räumliche Informationen zur Änderung der Landschaft im gesamten Extrapolationsgebiet auf. Mit dieser Methode können Veränderungen in einem anderen bzw. größeren Gebiet geschätzt und dabei Kosten für eine vollständige Aufnahme der Landbedeckung des Extrapolationsgebiets zum zweiten Zeitpunkt vermieden werden. Die Prozedur für die Berechnung der erwarteten Werte des Modells wird detailliert in Kapitel 4.8.2 beschrieben.

5. Quantifizierung der Unsicherheiten:

Als Validierung wurde die in den Testgebieten beobachtete Veränderung der Landbedeckung von 1990 bis 2000 auf das Extrapolationsgebiet extrapoliert und mit den vorliegenden CLC2000-Daten der neuen Bundesländer verglichen. In einem weiteren Schritt wurde die Landbedeckung im Jahr 2000 auf Basis einer unterschiedlichen Anzahl künstlich generierter Testgebiete (anstatt der Transekte) modelliert, um die Robustheit des Extrapolationsmodells zu testen (siehe Kapitel 4.8.3).

4.8.2 Prozedur der Extrapolation

Die in den Testgebieten (TG) beobachteten Flächenveränderungen in den Perioden 1950 bis 1990 bzw. 1990 bis 2000 (siehe Kapitel 5.1) wurden mittels eines moving windows auf das Extrapolationsgebiet (neue Bundesländer) mit bekannter Landbedeckung zum Zeitpunkt 1990 übertragen. Die benötigten Landbedeckungsinformationen des Extrapolationsgebiets zum Startzeitpunkt (t_0) wurden aus den CLC90-Daten extrahiert.

In Abbildung 4.11 auf der nächsten Seite ist der programmtechnische Ablauf des Extrapolationsmodells dargestellt. Auf den folgenden Seiten werden die einzelnen Arbeitsschritte des Modells erläutert.

(a) Das kombinierte Vektor-Rasterdaten-Modell wurde mit Hilfe des im ArcGIS implementierten „Model Builders“ sowie der Arc Macro Language (AML) für den jeweiligen Extrapolationszeitraum (1990 – 1950 bzw. 1990 – 2000) umgesetzt. Die nötigen Datenbank-Operationen wurden in die AML-Umgebung eingebettet, womit eine umfassende Automatisierung des Extrapolationsmodells erreicht wurde. Die Input-Geodaten, d. h. Testgebiete mit beobachteten Landschaftsveränderungen zwischen zwei Zeitpunkten, die Außengrenzen sowie die Landbedeckung des Extrapolationsgebiets in t_0 , können interaktiv beim Modellstart ausgewählt werden. Außerdem müssen die Parameter zur Erstellung des moving-window-Datensatzes, Seitenlänge des quadratischen Fensters und Schrittweite, vom Nutzer angegeben werden.

(b) Im nächsten Schritt wurde das Extrapolationsgebiet in homogene Teilflächen — bezüglich der räumlichen Ausdehnung — unterteilt, damit regionale Differenzierungen betrachtet werden können. Dazu wurde ein quadratisches moving window (MW) mit 5 km Seitenlänge generiert, welches sich mit einer Schrittweite von 2,5 km über Ostdeutschland bewegte. Mittels räumlicher Verschneidung von MW und CLC90-Daten wurden die Flächenanteile der Landbedeckung in t_0 (1990) für jedes Fenster erfasst (Abbildung 4.12 auf Seite 54).



Abbildung 4.11: Übersicht des Extrapolationsmodells. Die roten Buchstaben verweisen auf detaillierte Beschreibungen im Text.

CLC	CORINE Land Cover
LC	Landbedeckung (land cover)
LSM	Landschaftsstrukturmaße
t_0	Zeitpunkt 0 (Ursprung)
t_1	Zeitpunkt 1 (Ziel)

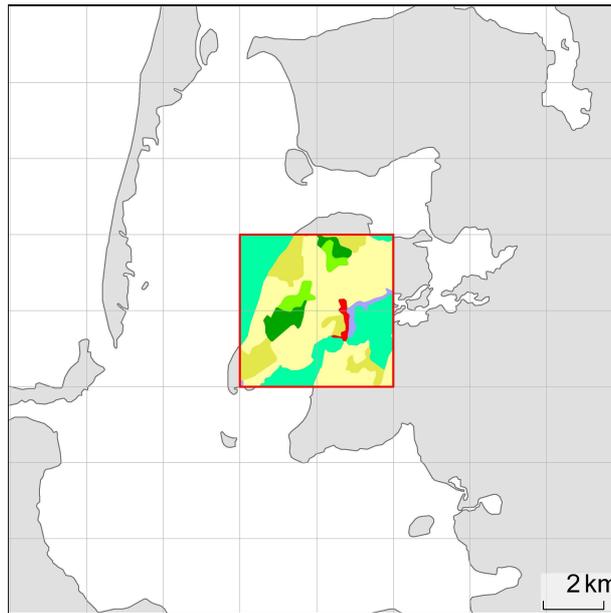


Abbildung 4.12: Beispiel für ein moving window (rotes Quadrat) an der Westküste der Insel Rügen. Bei einer Seitenlänge von 5 km und einer Schrittweite von 2,5 km symbolisieren jeweils vier graue im Quadrat angeordneten Rechtecke ein weiteres moving window (Legende der Landbedeckung (CLC90): Abbildung A.1 im Anhang A).

(c) Anschließend wurden die summierten Flächenanteile der Landbedeckung, verschiedene Landschaftsstrukturmaße (Anzahl der Patches (NP), Klassenanzahl (PR), der Flächenanteil des größten Patches (LPI), der flächengewichtete mittlere Form-Index (AWMSI)) sowie der Hemerobie-Index (M) für das MW berechnet. Nach dem ersten Prozedurschritt lagen diese Informationen in Kombination mit den Geo-Koordinaten für insgesamt 17458 Regionen (Fenster) vor (Beispiel in Abbildung 4.13 auf der nächsten Seite). Für alle Testgebiete (TG) wurden dieselben Parameter wie für das MW im Jahr 1990 (t_0) kalkuliert.

(d) Nach der Berechnung der Flächenanteile und Landschaftsstrukturmaße für jedes moving window (MW) und alle Testgebiete (TG) erfolgte die Zuordnung des ähnlichsten Testgebiets zum MW mittels Datenbank-Operationen. Anhand einer Bewertungsmatrix wurde jedem Fenster das TG mit der ähnlichsten Landschaft zugewiesen. In die Bewertungsmatrix flossen der übereinstimmende Flächenanteil (acc_{min}), die Anzahl der Patches (NP), die Klassenanzahl (PR), der Flächenanteil des größten Patches (LPI), der flächengewichtete mittlere Form-Index (AWMSI) sowie der Hemerobie-Index (M) ein. Mit Ausnahme des übereinstimmenden Flächenanteils (dazu siehe Formel 4.7 auf der nächsten Seite) wurden Differenzen zwischen den Parametern jedes Testgebiets und des jeweils betrachteten MW gebildet, welche auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1 normiert wurden (Formeln in Tabelle A.6 im Anhang A). Dabei stellt der Wert 1 die 100%ige Übereinstimmung zwischen TG und MW dar. Alle Parameter wurden je Paar (TG vs. MW) summiert und das TG mit der maximalen Übereinstimmung der untersuchten Landschaftsparameter wurde dem Fenster zugewiesen. Da die Extrapolation auf Flächenanteilen basierte, ging bei

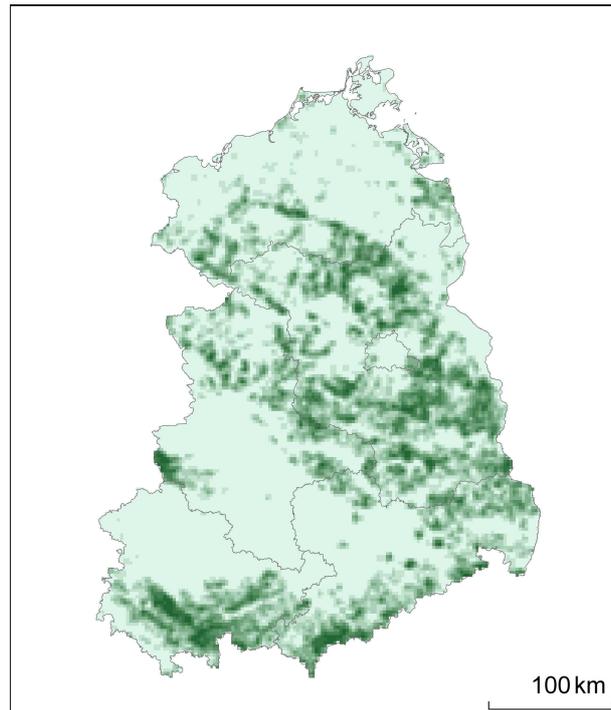


Abbildung 4.13: Darstellung der aus den CLC90-Daten gewonnenen Nadelwaldverteilung im Extrapolationsgebiet mit Hilfe eines moving windows. Jede Rasterzelle symbolisiert den Flächenanteil des Nadelwalds in einem moving window (hell: geringer Flächenanteil; dunkel: hoher Flächenanteil).

der Summenbildung der übereinstimmende Flächenanteil zweifach gewichtet ein. Zum Abschluss dieser Teilprozedur lag eine Datenbank vor, in der jeder der 17458 Regionen (Fenster) ein Testgebiet zugeordnet wurde. Die Flächenveränderungen dieses Testgebiets wurden mit den unter (f) beschriebenen Berechnungsregeln auf die jeweilige Region extrapoliert.

$$acc_{min} = \sum_{i=1}^k \min(R_i(TG), R_i(MW)) \quad (4.7)$$

acc_{min}	minimale Übereinstimmung zwischen Flächenanteilen der Landbedeckung im Testgebiet und MW (Wertebereich von 0 $\hat{=}$ keine bis 1 $\hat{=}$ vollständige Übereinstimmung)
R_i	Flächenanteil der LC-Klasse i
i	LC-Klasse
k	maximale LC-Klasse
MW	moving window
TG	Testgebiet

(e) Die Landbedeckung in den MW (CLC-basiert) und den Transekten beruhte auf Klassifikationsregeln, die sich im Interpretationsmaßstab und der minimalen Kartiereinheit unterschieden. In den Transekten wurden mehr Veränderungen als bei den CLC-Daten beobachtet (durchschnittlich 10,2% vs. 4,4% für den Zeitraum 1990–2000). Daher waren Skalierungsfunktionen für das

Tabelle 4.9: Beispiel einer Veränderungsmatrix des Testgebiets (Angaben in m²). Die Definitionen der roten Variablen befinden sich unter Formel 4.8.

		2000					
		LC	111	112	121	...	Summe 90
1990	111	1000	200	0	...	1200	
	112	100	5500	0	...	5600	
	121	0	0	2100	...	2100	
	...	...	...	...	a_{ij}	a_i
Summe 2000		1100	5700	2100	...	8900	

Tabelle 4.10: Beispiel einer Übertragungstabelle für die Extrapolation von Veränderungen für ein Testgebiet (relative Angaben). Die Definition der roten Variable befindet sich unter Formel 4.8.

		2000					
		LC	111	112	121	...	Summe 90
1990	111	0,83	0,17	0,00	...	1	
	112	0,02	0,98	0,00	...	1	
	121	0,00	0,00	1,00	...	1	
	...	...	...	...	r_{ij}	...

Extrapolationsmodell notwendig, welche die in den Testgebieten beobachteten Veränderungen auf das weniger detaillierte CLC-Level der MW übertragen. Diese Funktionen wurden durch Multiplikationsfaktoren je LC-Klasse schematisiert, die aus dem Quotient zwischen Veränderungsanteil auf Basis der detaillierten Klassifikation sowie auf Basis der CLC-Daten im Testgebiet berechnet wurden.

(f) Im folgenden Schritt wurden unter Beachtung der Skalierungsfunktion die LC-Veränderungen aus dem zugeordneten Testgebiet auf das MW übertragen. Das Extrapolationsmodell arbeitete mit dem Flächengewinn bzw. -verlust jeder LC-Klasse, wobei die Änderungsrichtung ausschlaggebend war. Die Quantifizierung der Veränderungen in dem MW basierte auf der linearen Extrapolation der Flächenveränderungen des jeweils zugeordneten Testgebietes. Dabei erfolgte die Bestimmung der relativen Flächenanteile jeder LC-Veränderung (r_{ij}) bezogen auf die Gesamtfläche der ursprünglichen Klasse im Testgebiet (siehe Formel 4.8 und Beispieltabellen 4.9 und 4.10).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_i} \tag{4.8}$$

- a_i summierte Fläche der LC-Klasse i in t_0 (im Testgebiet z. B. Transekt)
- a_{ij} summierte Fläche der Polygone, die gleichzeitig die LC-Klassen i und j aufweisen (im Testgebiet z. B. Transekt)

Tabelle 4.11: Beispiel der Statustabelle eines moving windows (Angaben in m²). Die Definition der roten Variable befindet sich unter Formel 4.9.

CLC90	Fläche in m ²
111	2000
112	50000
121	10000
...	A_i
Summe 1990	62000

Tabelle 4.12: Beispiel einer auf Basis von Tabellen 4.10 und 4.11 extrapolierten Veränderungsmatrix (Angaben in m²). Die Definition der roten Variable befindet sich unter Formel 4.9.

		2000					
		LC	111	112	121	...	Summe 90
1990	111	1667	333	0	...	2000	
	112	893	49107	0	...	50000	
	121	0	0	10000	...	10000	
	...	...	...	...	A_{ij}	...
	Summe 2000	2560	49440	10000	...	62000	

- i LC-Klasse in t_0 (Original)
 j LC-Klasse in t_1 (Ziel)
 r_{ij} Flächenanteil der Polygone, die gleichzeitig die LC-Klassen i und j aufweisen, bezogen auf die summierte Fläche der LC-Klasse i in t_0 (im Testgebiet z. B. Transekt)

Diese Flächenanteile (r_{ij}) wurden mit der beobachteten Fläche derselben LC-Klasse im MW (A_i) multipliziert, um die prognostizierte Fläche der Zielklasse (A_{ij}) zu errechnen (siehe Formel 4.9 und Beispieltabelle 4.11). Die Flächengröße von Landbedeckungsklassen im MW, die nicht in den Testgebieten vorkamen, blieb konstant. Ergebnisse der Extrapolation waren extrapolierte Flächen der LC-Klassen je Fenster im Extrapolationsgebiet (Beispiel Tabelle 4.12).

$$A_{ij} = A_i \times r_{ij} \quad (4.9)$$

- A_{ij} summierte Fläche der Polygone, die gleichzeitig die LC-Klassen i und j aufweisen (im moving window)
 A_j summierte Fläche der LC-Klasse j in t_1 (im moving window)
 i LC-Klasse in t_0 (Original)
 j LC-Klasse in t_1 (Ziel)
 r_{ij} Flächenanteil der Polygone, die gleichzeitig die LC-Klassen i und j aufweisen, bezogen auf die summierte Fläche der LC-Klasse i in t_0 (im Testgebiet z. B. Transekt)

(g) Die Übertragung der Flächenveränderungen von den Testgebieten auf das Extrapolationsgebiet wurde durch die Modellierung sogenannter *Eignungskarten der Veränderung* unterstützt. Die Eignungskarten wirkten bei der Extrapolationsprozedur als Restriktion auf die möglichen LC-Veränderungen ein. Wenn z. B. im MW keine potenziell geeigneten Flächen für die Zunahme von Hafensflächen vorhanden waren, wurde bei der Extrapolation keine Zunahme von Hafensflächen berechnet, auch wenn im zugeordneten Testgebiet diese Veränderung auftrat.

In Abhängigkeit von der Extrapolationsrichtung wurden Eignungskarten für den Flächengewinn (1990–2000) bzw. den Verlust (1990–1950) von jenen LC-Klassen gebildet, die eine Veränderung von mindestens 0,5% bezogen auf die Testgebietsfläche aufwies. Hierbei floss das aus den Landschaftsveränderungen der Testgebiete gewonnene Regelwerk (siehe Kapitel 5.6.1) ein, das mittels der CLC90-Daten, eines digitalen Geländemodells sowie der Vektorgrenzen ausgewählter Schutzgebiete umgesetzt wurde. So waren z. B. Hangneigungen über 5°, Entfernungen von mehr als 700 m zu bereits bestehenden Siedlungsflächen sowie das Vorhandensein von Naturschutzgebieten Restriktionen für neue Siedlungsflächen in der Periode 1990 bis 2000. Die individuellen Eingabegrößen für die Modellierungsprozeduren der einzelnen LC-Klassen finden sich in Tabelle D9 im Anhang D. Diese Vorgaben wurden mit Hilfe eines auf Rasterdaten basierenden Binär-Modells im „Model Builder“ von ArcGIS umgesetzt.

Die Eignungskarten der einzelnen Landbedeckungsklassen wurden in einem weiteren Schritt mit dem moving window räumlich verschnitten, um die potentielle Veränderungsfläche einer LC-Klasse je MW zu bestimmen.

In den Abbildungen 4.14 und 4.15 auf der nächsten Seite sind beispielhaft Ausschnitte von zwei Eignungskarten für den Extrapolationszeitraum 1990–2000 dargestellt. Die Grafiken zeigen das Gebiet von Dresden bis zu dem Nationalpark Sächsische Schweiz.

(h) Die Ergebnisse der Extrapolationsstufe 1 (f) — Flächengröße der LC-Klassen im Zieljahr — wurden in der Extrapolationsstufe 2 mit Hilfe der Eignungskarten angepasst. Hierfür wurden die aus den Eignungskarten gewonnenen potenziellen Flächengrößen mit der extrapolierten Fläche der spezifischen Landbedeckungsklassen im Fenster verglichen. Die aus diesem Vergleich resultierende kleinere Fläche wurde als endgültige Flächengröße für die jeweilige LC-Klasse in die Ergebnisdatenbank übernommen.

4.8.3 Validierung des Extrapolationsmodells

Das Ziel der Extrapolation war die Bereitstellung von lokalen Informationen zu Flächenanteilen der Landbedeckung im Jahr 1950 in den neuen Bundesländern. Um die Genauigkeit des Modellansatzes quantifizieren zu können, wurde die Extrapolation für den Zeitraum 1990 bis 2000 durchgeführt und das Ergebnis mit der CLC2000-Datenbank verglichen. Die durchschnittliche minimale Übereinstimmung (acc_{val}) zwischen Extrapolationsergebnis und CLC2000-Daten je MW diente dabei als Maß für die Sicherheit des Modells (siehe Formel 4.10).

$$acc_{val} = \sum_{i=1}^k \min(R_{i(E)}, R_{i(CLC)}) \quad (4.10)$$

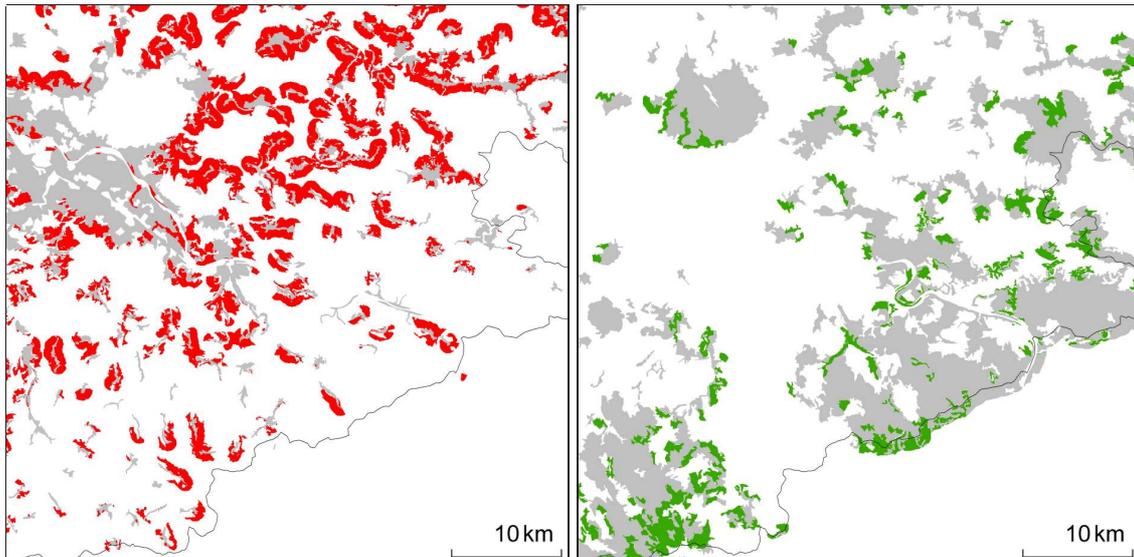


Abbildung 4.14: Ausschnitt der Eignungskarte für *nicht durchgängig städtische Prägung* (112). Die grauen Flächen symbolisieren die Gebiete zum Initialzeitpunkt 1990; die roten Flächen stellen die potenziell geeigneten Gebiete im Jahr 2000 dar.

Abbildung 4.15: Ausschnitt der Eignungskarte für *Nadelwald* (312). Die grauen Flächen symbolisieren die Gebiete zum Initialzeitpunkt 1990; die grünen Flächen stellen die potenziell geeigneten Gebiete im Jahr 2000 dar.

acc_{val}	minimale Übereinstimmung zwischen Flächenanteilen der Landbedeckung von CLC2000 und Extrapolationsergebnis je MW (Wertebereich von $0 \hat{=}$ keine bis $1 \hat{=}$ vollständige Übereinstimmung)
R_i	Flächenanteil der LC-Klasse i
i	LC-Klasse
k	maximale LC-Klasse
CLC	CLC2000-Daten
E	Ergebnisse des Extrapolationsmodells

In einem weiteren Schritt wurden künstliche Testgebiete (KTG) generiert, um den Einfluss der Form der Transekte sowie der unterschiedlichen Interpretationsmaßstäbe zu minimieren. Diese künstlichen Testgebiete hatten identische Abmessungen verglichen mit dem moving window (Quadrat mit 5 km Seitenlänge). Die Lage von KTG und moving window war jedoch nicht deckungsgleich. Sie wurden mittels einer Zufallsfunktion räumlich im Extrapolationsgebiet verteilt, ohne sich gegenseitig zu überlagern. Ihre Landbedeckungsinformationen und Veränderungsdaten erhielten sie durch das geometrische Verschneiden mit den kombinierten CLC90-CLC2000-Daten. Damit wiesen die künstlichen Testgebiete und das moving window einen identischen Interpretationsmaßstab auf, womit Skalierungsfunktionen nicht benötigt wurden. Die Extrapolations- und Validierungsprozedur für die Analysen orientierte sich am oben beschriebenen Ablauf (Kapitel 4.8.2 ohne Skalierung). Es wurden drei unterschiedliche räumliche Datensätze mit künstlichen Testgebieten geschaffen (Beispiele in Abbildung 4.16 auf der nächsten Seite), die sich in der Anzahl der generierten Testquadrate unterschieden (Anzahl der Testgebiete: 10, 50 und 5000). Jeder dieser Datensätze wurde mit 50-facher Wiederholung generiert, um die gewonnenen Aussagen zu sichern.

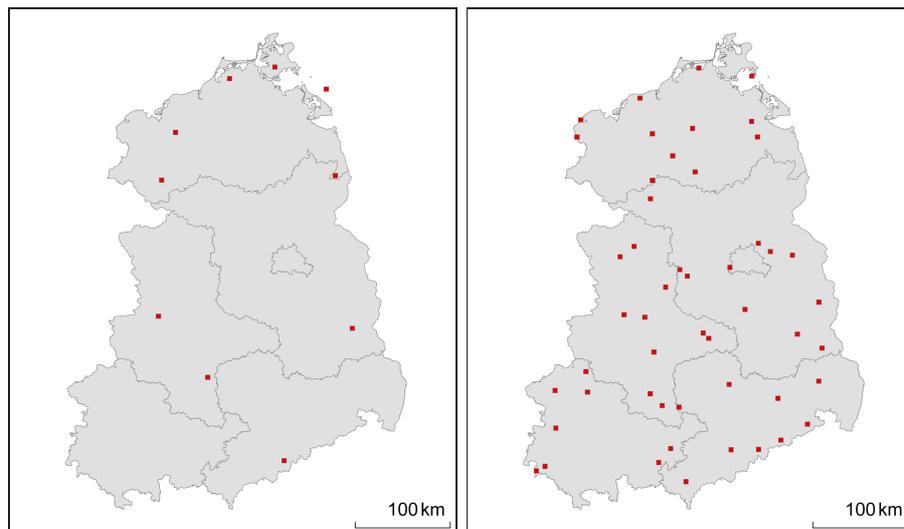


Abbildung 4.16: Beispiele für künstlich generierte Testgebiete durch einen Zufallsgenerator für die Validierung des Extrapolationsmodells. Die Anzahl der Testgebiete beträgt links 10 und rechts 50.

4.9 Fehlerbetrachtung der Interpretationsergebnisse

4.9.1 Einleitung

In diesem Kapitel wird die Genauigkeitsanalyse der Interpretationsergebnisse beschrieben. Fehler aufgrund der Auswahl der Testgebiete und des Extrapolationsmodells (in Kapitel 5.6.5) werden hier nicht betrachtet.

Aus Fernerkundungsdaten abgeleitete thematische Daten, wie z. B. Karten und Statistiken, müssen bestimmten Genauigkeitsanforderungen genügen, da Entscheidungen z. B. für Naturschutzfragen oder der Raumplanung aufgrund dieser Informationen getroffen werden. Jedoch sind diese Daten stets fehlerbehaftet. JENSEN (2005) fasst folgende Fehlerquellen zusammen:

- Fehler bei der Aufnahme der Daten, z. B. durch Fehlkalibrierungen der Sensoren, durch Bewegung der Plattform (Rollen, Neigen, Gieren des Flugzeugs) und durch atmosphärische Einflüsse, wie z. B. Nebel, Dunst, Wolken;
- geometrische und radiometrische Fehler nach der Bildvorbereitung;
- Fehler bei der manuellen Interpretation durch nicht eindeutiges Klassifizierungsschema, falsche Zuordnung eines Polygons zu einer Klasse (Interpreterfehler) und Datengeneralisierung;
- Fehler bei der Umwandlung von Datenformaten (Raster in Vektor und vice versa);
- Fehler bei der Fehlereinschätzung, z. B. beim Erstellen des Stichprobendesigns für die Aufnahme der Referenzdaten oder durch Autokorrelation;
- Fehler durch Nichtbeachtung kartographischer Standards (Kartenlegenden, Maßstab usw.).

Die Interpretationsergebnisse von 1950, 1990 und 2000 beinhalten räumliche und thematische Fehler, die aus einer Kombination der oben aufgeführten Fehlerquellen entstanden sind. Für niedriger auflösende Satellitensysteme (z. B. MODIS oder MERIS) spielen außerdem Mischpixel eine wichtige Rolle bei der Genauigkeitsanalyse (STRAHLER ET AL., 2006). Bei der manuellen Digitalisierung der Landbedeckung aus Luftbildern ist der Einfluss von Mischpixel dagegen vernachlässigbar.

4.9.2 Methodik

Typischerweise werden Fehlerbetrachtungen von thematischen Karten mit Hilfe von Referenzdaten durchgeführt. So werden in der Praxis z. B. hoch auflösende SPOT- oder Landsat-Bilder genutzt, um Trainingsgebiete für die automatische Klassifizierung von globaler Landbedeckung zu identifizieren (STRAHLER ET AL., 2006). Zur Validierung der Interpretationsergebnisse von Luftbildanalysen werden häufig Felduntersuchungen durchgeführt. Jedoch sind für historische Luftbilder derartige Referenzdaten nicht verfügbar.

Deshalb wurde im Projekt BIOPRESS ein abweichender Ansatz für die Bestimmung der Kartengenauigkeit getestet. Die Landbedeckung von 21 Transekten zu drei Zeitpunkten (1950, 1990, 2000) wurde jeweils von sieben verschiedenen Interpreten klassifiziert. Um die Kongruenz der sieben Interpretationen zu gewährleisten, wurde ein Trainingsprogramm mit den Interpreten durchgeführt, was dem von KHORRAM ET AL. (2000) beschriebenen Vorgehen entsprach. Für die Bestimmung der Kartengenauigkeit kam ein systematisches Stichprobennetz mit einem Punkt-zu-Punkt-Abstand von 500 m zum Einsatz (~ 130 Punkte je Transekt und Zeitpunkt). Die einfache Implementierung sowie die gleichförmige räumliche Abdeckung sind Gründe für die weit verbreitete Nutzung dieses Stichprobendesigns (STEHMAN, 1999). Nachteile des systematischen Stichprobennetzes sind die Unterrepräsentation seltener LC-Klassen, sowie die fehlerbehaftete Schätzung der Varianz (Bias) (CONGALTON, 1988; STEHMAN und CZAPLEWSKI, 1998).

Der gewählte Ansatz bestimmt nicht direkt den Fehler der Interpretationsergebnisse, sondern die Übereinstimmung zwischen verschiedenen Interpretationen. Diese Übereinstimmung dient als Schätzer für die Genauigkeit der Ergebnisse aus historischen Datenquellen, weshalb der Begriff „Genauigkeit“ im Folgenden trotzdem verwendet wird. In dieser Arbeit werden nur die Ergebnisse der drei Testgebiete DE01, DE02 und DE03 dargestellt. Die Ergebnisse aller untersuchten 21 Testgebiete können im Abschlussbericht des Projekts BIOPRESS gefunden werden (Bezug über <http://www.biopress.ceh.ac.uk/>).

Die Fehlermatrix ist ein weit verbreitetes Werkzeug zur Bestimmung der Kartengenauigkeit, aus der deskriptive Statistiken wie z. B. die Gesamt-, Nutzer- und Herstellergenauigkeit der thematischen Karten abgeleitet werden können. Nähere Informationen zur Fehlermatrix inklusive Formeln sind z. B. in CONGALTON (1991) oder JENSEN (2005) zu finden. Neben diesen deskriptiven Techniken gibt es diskrete multivariate Analysetechniken, wie z. B. die Kappa-Analyse. Obwohl der Kappa-Koeffizient in Fehlerbetrachtungen oft genutzt wird (z. B. in CONGALTON, 1991; NAESSET, 1996), gibt es Bedenken bei der generellen Anwendung für die Bestimmung der Kartengenauigkeit (STEHMAN, 1997; STEHMAN und CZAPLEWSKI, 1998; FOODY, 2006b). Der Koeffizient wurde

dennoch in diese Arbeit aufgenommen, um die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten. Kappa wurde mit Hilfe der korrigierte Formel von CONGALTON (1991) geschätzt.

Wenn man unabhängig erstellte Karten miteinander vergleicht, erscheinen viele der Fehlinterpretationen als Veränderungen; andererseits können reale Veränderungen durch Fehler maskiert werden (FULLER ET AL., 2003). Daher wurde die Genauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen — welche hier Veränderungen und Kontinuität einzelner LC-Klassen einschließt — mittels der in Tabelle 4.13 auf der nächsten Seite dargestellten Fehlermatrix untersucht. Die resultierende Gesamtgenauigkeit ($G1$) basiert auf der Summe der Übereinstimmung (Veränderungen/keine Veränderungen) ohne Fehlklassifikation, d. h. nur aus der Diagonale der Tabelle.

Die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse der bi-temporalen Kartenkombination ($G1$) wurden mit einer Methode für die Genauigkeitsbestimmung unabhängig erstellter thematischer Karten ($G2$) verglichen, um die Effektivität des genutzten Interpretationsansatzes (backdating) zu prüfen. Dabei wurde die Genauigkeit der Veränderungen $G2$ in der Periode $t_0 - t_1$ mittels der einfachen Multiplikation von Einzelgenauigkeiten der Karten der einzelnen Zeitpunkte t_0 bzw. t_1 geschätzt (siehe MAS, 1999).

Als Referenz kam jeweils eine der sechs alternativen Interpretationen zum Einsatz, die mit der vom Autor durchgeführten Klassifikation verglichen wurde. Hierbei muss beachtet werden, dass dem lokalen Interpreten bei der Klassifikation zusätzliche Informationsquellen, z. B. historische topographische Karten, sowie Expertenwissen über die untersuchten Regionen zur Verfügung standen.

4.9.3 Ergebnisse und Diskussion

An dieser Stelle sind nur die Gesamtgenauigkeiten sowie die Übereinstimmung der Veränderungen zusammengefasst. Weitere Resultate der Fehlerbetrachtung (Kappa, Hersteller- und Nutzergenauigkeit) sowie die Ergebnisse der einzelnen Transekte sind im Anhang D (Tabellen D28 bis D54) zu finden.

Gesamtgenauigkeit

In Tabelle 4.14 auf Seite 64 sind die Gesamtgenauigkeiten für alle CLC-Level und Jahre dargestellt.

In CLC-Level 3 unterschied sich die Gesamtgenauigkeit der einzelnen Referenzdaten teilweise erheblich (siehe Tabelle 4.14 auf Seite 64 z. B. im Jahr 2000: Referenz 1 mit 0,304 vs. Referenz 5 mit 0,709). Unabhängig von der Referenzquelle stieg die Übereinstimmung zwischen der Klassifikation des lokalen Interpreten und der Referenz mit der Abnahme der LC-Klassenanzahl, d. h. des CLC-Levels (Tabelle 4.14 auf Seite 64). Ein komplexerer Klassifikationsschlüssel mit mehr Klassen führte zur Abnahme der Kartengenauigkeit. Jedoch sind die geringen Übereinstimmungen im CLC-Level 3 im Jahr 2000 für Referenz 1 und 6 nicht allein auf die Klassenanzahl zurückzuführen. Ein Blick in die Fehlermatrizen (Tabellen D10 bis D27 im Anhang D) zeigte, dass diese beiden Referenz-Interpreten eine (216) bzw. zwei (216, 999) neue LC-Klassen zum Klassifikationsschlüssel hinzugefügt hatten. Die Unsicherheit bezüglich der Klassenzugehörigkeit des Landschaftsobjekts

Tabelle 4.13: Layout einer Fehlermatrix für die Veränderungsdetektierung (t_0 bis t_1) mit drei LC-Klassen

		Referenzdaten									
		Konstanz			Veränderung						
		$LC_{t_0}-LC_{t_1}$	1-1	2-2	3-3	1-2	2-1	1-3	3-1	2-3	3-2
klassifizierte Karte	Konstanz	1-1									
		2-2									
		3-3									
	Veränderung	1-2									
		2-1									
		1-3									
3-1											
2-3											
3-2											

Quelle: verändert nach STRAHLER ET AL. (2006)

Legende:

- Übereinstimmung (Konstanz)
- Übereinstimmung (keine Veränderung)
- Übereinstimmung (keine Veränderung) durch Fehlklassifikation
- Ausschlussfehler der Konstanz (omission error)
- Einschlussfehler der Konstanz (commission error)
- Übereinstimmung (Konstanz) durch Fehlklassifikation

veranlasste die Referenz-Interpreter 1 bzw. 6 zur Einführung von so genannten Unsicherheitsklassen, die eine stärker aggregierte LC-Klasse darstellt ($216 = 21$). Patchgröße und Landschaftsheterogenität sind ebenfalls signifikante Faktoren für die Erklärung der Klassifikationsgenauigkeit (SMITH ET AL., 2002).

Generell konnte festgestellt werden, dass bei allen Interpretern die häufigsten Abweichungen zwischen den Waldklassen (*Mischwald* vs. *Nadelwald/Laubwald*) und zwischen *Ackerland* und *Weideland* bzw. der Unsicherheitsklasse 216 auftraten (Tabellen D10 bis D27 im Anhang D).

Es wurde erwartet, dass die Übereinstimmung bei den aktuelleren Luftbilddaten (1990 und 2000) aufgrund der besseren Bildqualität deutlich höher als bei den historischen Photographien von 1950 ist. Dieser generelle Unterschied wurde jedoch nicht beobachtet.

Die beobachteten Übereinstimmungen sind mit den Ergebnissen von Genauigkeitsanalysen anderer Autoren vergleichbar. So erreichten beispielsweise HALLS und KRAATZ (2006) Genauigkeiten von mehr als 80 % bei der Digitalisierung von Landbedeckung aus historischen Luftbildern unter Nutzung eines Klassifikationsschemas mit vier LC-Klassen. CARMEL und KADMON (1998) erzielten Genauigkeiten zwischen 54 % und 89 %, wobei jedoch eine automatische Klassifizierung panchromatischer Luftbilder mit drei Klassen zum Einsatz kam. Die häufig angestrebte thematische Genauigkeit von 85 % ist nicht immer für die jeweilige Fragestellung ausreichend (FOODY,

Tabelle 4.14: Gesamtgenauigkeit (bzw. Übereinstimmung) für CLC-Level 3, 2 und 1

Referenz	CLC-Level 3			CLC-Level 2			CLC-Level 1		
	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000
1	0,513	0,568	0,304	0,739	0,809	0,741	0,859	0,912	0,864
2	0,573	0,580	0,568	0,834	0,842	0,842	0,910	0,912	0,920
3	0,693	0,648	0,643	0,814	0,794	0,789	0,889	0,905	0,897
4	0,701	0,701	0,671	0,822	0,837	0,807	0,902	0,940	0,910
5	0,633	0,721	0,709	0,834	0,839	0,829	0,935	0,940	0,922
6	0,548	0,570	0,450	0,754	0,796	0,726	0,854	0,882	0,852

2006a). So werden z. B. für Veränderungsanalysen zwischen LCMGB³ und UK LCM2000⁴ bereits Kartengenauigkeiten von jeweils 97 % benötigt, um mit einer 75 %-igen Sicherheit die Flächenveränderungen von 17 % darzustellen (FULLER ET AL., 2003).

Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen

In Tabelle 4.15 bis Tabelle 4.17 auf Seite 66 sind für CLC-Level 3 bis 1 die Übereinstimmungen der Kartenkombinationen *G1* den Übereinstimmungen *G2* gegenübergestellt (Definitionen im Kapitel 4.9.2).

Die Übereinstimmung der Veränderungen kann niemals größer als die minimale Gesamtgenauigkeit der einzelnen Jahre sein, was sich beim Vergleich der Tabellen 4.14 und 4.15 – 4.17 auf Seite 66 widerspiegelt. Auch bei Betrachtung der bi-temporalen Kartenkombinationen ist dieselbe Tendenz zu höheren Genauigkeiten bei geringerer Klassenanzahl (CLC-Level) zu beobachten. Die Übereinstimmungen *G1* (Tabellen 4.15 – 4.17: links) sind generell höher als bei der Nutzung des Ansatzes *G2* (Tabellen 4.15 – 4.17: rechts). Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Interpretationen keinesfalls voneinander unabhängig waren, wie für *G2* vorausgesetzt wird. Die unter Kapitel 4.2 auf Seite 32 beschriebene Methode des „backdating“ führte zu geringeren Abweichungen und kann daher als geeignetes Mittel für die Detektierung von LC-Änderungen angesehen werden.

Zusammenfassung

Obwohl für die Untersuchung historischer Landbedeckung keine Referenzdaten in Form von Felduntersuchungen vorlagen, konnte die Genauigkeit der Interpretationsergebnisse mittels des Vergleichs von multiplen Interpretationen geschätzt werden. Dabei wurden mit einer Ausnahme Übereinstimmungen von über 51 % im CLC-Level 3 beobachtet. Nimmt man aufgrund des Hinzufügens von Unsicherheitsklassen in CLC-Level 3 die Ergebnisse von Level 2 als Grundlage, so konnten Übereinstimmungen zwischen 72,6 % und 84,2 % beobachtet werden. Die Genauigkeit der Veränderungen rangierten zwischen 67,3 % und 79,4 % in Level 2. Obwohl der genutzte Klassifikati-

³ Land Cover Map of Great Britain

⁴ Land Cover Map 2000

onsschlüssel ursprünglich für die Interpretation von Satellitenbildern entwickelt wurde (Projekt CLC90), sind die Übereinstimmungen nicht höher als die angestrebte thematische Genauigkeit der CLC-Daten von $\sim 85\%$ (siehe BÜTTNER ET AL., 2004). In der vorliegenden Arbeit wurde die Genauigkeit der Karten durch den multiplen Vergleich der Übereinstimmung von Klassifikationen verschiedener Interpreten geschätzt. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass dem lokalen Interpreten (Autor) zusätzliche Informationen wie Kartenmaterial, die Biotopkartierung sowie Expertenwissen zu den Testgebieten zur Verfügung standen. Diese Zusatzinformationen können verglichen mit den hier vorgestellten Übereinstimmungen zu höheren tatsächlichen Genauigkeiten führen (vergleiche auch STEHMAN, 1996).

4.10 Verwendete Soft- und Hardware

Die Arbeit wurde mit Hilfe des flexiblen Textsatzsystems $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X} 2_{\epsilon}$ erstellt. Mit dem Open-Source-Vektorgrafikeditor Inkscape wurden die Flussdiagramme erzeugt. Die Vorbereitung der Fernerkundungsdaten erfolgte in ERDAS Imagine[®] 8.x der Firma Leica. Die historischen Luftbilder der 50er und 90er Jahre wurden mit Hilfe des ERDAS-Imagine-Moduls OrthoBASE[®] orthorektifiziert. Die visuelle computergestützte Interpretation der Landbedeckung und Landnutzung erfolgte in ArcGIS Desktop 9.x der Firma ESRI[®]. Für die weiteren Analysen der interpretierten Vektor- und Rasterdaten wurde die ArcInfo-Workstation-Umgebung (ESRI[®]) genutzt, und Auswertungen wurden mittels Skripten in der Arc Macro Language (AML) automatisiert. Die Datenbankabfragen ohne direkten Geo-Bezug wurden in MySQL Server 5.x und MS Access 2003 realisiert. Die Ausgabe der Ergebnisse mit räumlichem Bezug erfolgte mit Hilfe von ArcGIS Desktop 9.x bzw. ArcInfo Workstation. Statistische Auswertungen ohne geographischen Bezug wurden im Statistikprogramm SPSS[®] 12 durchgeführt. ArcInfo Workstation (ESRI[®]) bietet mit der Skriptsprache AML in Kombination mit einer MySQL-Datenbank und der Sprache Python die nötigen Voraussetzungen für die methodische Umsetzung der automatisierten Veränderungsanalyse sowie für die Modellierung.

Die analogen Senkrechtaufnahmen von 1950 bzw. 1990 wurden mit Hilfe eines Flachbettscanners mit integrierter Durchlichteinheit (Epson Perfection 3200 Photo; optische Auflösung: 3200 dpi \times 6400 dpi, interne Farbtiefe: 48 Bit) digitalisiert. Die Bearbeitung der GIS- und Fernerkundungsdaten sowie der Datenbanken, das Programmieren der Routinen und das Schreiben der vorliegenden Arbeit erfolgten auf verschiedenen zeitgemäß ausgestatteten Personalcomputern bzw. mobilen Workstations. Die Photographien wurden während der Begehung der Transekte mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 300D und Nikon D70) bzw. einer digitalen Kompaktkamera aufgenommen.

4 Methodik

Tabelle 4.15: Gegenüberstellung der Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen $G1$ (links) und der Gesamtgenauigkeit der Veränderung $G2$ (rechts) für CLC-Level 3

Referenz	G1			G2		
	1950 – 1990	1950 – 2000	1990 – 2000	1950 – 1990	1950 – 2000	1990 – 2000
1	0,455	0,269	0,279	0,291	0,156	0,173
2	0,493	0,477	0,533	0,332	0,325	0,330
3	0,585	0,583	0,616	0,450	0,446	0,417
4	0,588	0,558	0,613	0,491	0,470	0,470
5	0,538	0,525	0,658	0,457	0,449	0,511
6	0,467	0,387	0,422	0,312	0,246	0,257

Tabelle 4.16: Gegenüberstellung der Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen $G1$ (links) und der Gesamtgenauigkeit der Veränderung $G2$ (rechts) für CLC-Level 2

Referenz	G1			G2		
	1950 – 1990	1950 – 2000	1990 – 2000	1950 – 1990	1950 – 2000	1990 – 2000
1	0,688	0,673	0,699	0,598	0,548	0,600
2	0,759	0,751	0,794	0,702	0,702	0,708
3	0,721	0,719	0,759	0,646	0,642	0,626
4	0,734	0,729	0,759	0,687	0,663	0,675
5	0,746	0,744	0,792	0,700	0,692	0,696
6	0,704	0,676	0,704	0,600	0,547	0,578

Tabelle 4.17: Gegenüberstellung der Gesamtgenauigkeit der bi-temporalen Kartenkombinationen $G1$ (links) und der Gesamtgenauigkeit der Veränderung $G2$ (rechts) für CLC-Level 1

Referenz	G1			G2		
	1950 – 1990	1950 – 2000	1990 – 2000	1950 – 1990	1950 – 2000	1990 – 2000
1	0,844	0,824	0,844	0,784	0,743	0,788
2	0,879	0,874	0,897	0,830	0,836	0,839
3	0,854	0,844	0,882	0,804	0,798	0,811
4	0,879	0,867	0,900	0,848	0,820	0,855
5	0,907	0,887	0,917	0,878	0,862	0,866
6	0,819	0,804	0,834	0,753	0,728	0,751

Kapitel 5

Ergebnisse und Diskussion

Die Diskussion zu jeder Teilanalyse ist jeweils an entsprechender Stelle in den Ergebnisteil eingebettet. Die Schlussfolgerungen werden übergreifend in einem eigenen Kapitel beschrieben.

5.1 Flächensummen und Anteile der LC-Klassen

Die prozentualen Flächenanteile der Landbedeckungsklassen in den neun Testgebieten wurden für die Zeitpunkte 1950, 1990 und 2000 veranschaulicht. Daneben wurden die wichtigsten Flächenveränderungen bezogen auf den Untersuchungszeitraum, die Aggregation von thematischen LC-Klassen sowie die Kombinationen von Original- und Zielklassen analysiert. In einem weiteren Abschnitt werden die Kartenbudgets ausgewertet.

5.1.1 Flächenanteile und Veränderungen der Landbedeckung je Transekt

Im ersten Abschnitt des Kapitels sind die Flächenanteile der Landbedeckungsklassen für die Jahre 1950, 1990 und 2000 dargestellt sowie die flächenmäßig bedeutendsten Veränderungen beschrieben. In Abbildung 5.1 auf Seite 69 sind die Flächenanteile der Landbedeckungsklassen nach CORINE-Landcover-Level 1 für alle Testgebiete grafisch dargestellt. Auf den folgenden Seiten sind neun Karten (Abbildung 5.2 bis Abbildung 5.10) abgebildet, auf denen die räumliche Verteilung der Landbedeckung und ihrer Veränderung in den Testgebieten visualisiert sind. Dabei geben die Abbildungen die zweidimensionale Orientierung im geodätischen Referenzssystem und die Form der Transekte wieder. In jeder Karte sind einerseits die Interpretationsergebnisse zu den Aufnahmezeitpunkten 1950, 1990 und 2000 eines Testgebiets dargestellt. Andererseits sind die Unterschiede zwischen den jeweiligen Klassifikationen zwischen den Interpretationsdarstellungen von 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 hervorgehoben. Hierbei befindet sich das Photomosaik von 1990 bzw. 2000 im Hintergrund und wird von den Veränderungen mit der Farbkodierung von 1990 bzw. 2000 überlagert. Die Legende für die Farbkodierung der CLC-Level-3-Klassifikationen befindet sich in

Abbildung A.1 auf Seite 190 im Anhang A.

In den dicht besiedelten Regionen der Testgebiete konnte ein teilweise erheblicher Wandel der Landbedeckung bzw. Landnutzung festgestellt werden. Der Vergleich von historischen Luftbildern mit aktuellen Luftbilddaten zeigt, dass sich nicht nur die Landbedeckung von solitären Flächen, sondern auch die komplette Struktur einer Landschaft ändern kann. Das Transekt „Untere Mulde“ (DE07) ist dafür ein anschauliches Beispiel (Abbildung 5.8 auf Seite 83). Wirtschaftliche Programme, die auf höhere Leistung der landwirtschaftlichen Produktion zielten, hatten ebenso wie die Entwicklung der Industrie, die gesteigerte Förderung von Bodenschätzen und der steigende Bedarf an Wohnflächen bedeutenden Einfluss auf den Landschaftswandel in den vergangenen 50 Jahren in diesem Testgebiet.

Es ist zu beachten, dass die Flächenanteile der Veränderungen meist nur gering sind. Im Zusammenhang mit einer Genauigkeit der Interpretationsergebnisse von $< 85\%$ (siehe Kapitel 4.9) müssen die Veränderungsanalysen entsprechend vorsichtig bewertet werden.

Anhang D enthält alle Statustabellen (D55 bis D63) sowie die Kreuztabellen mit den beobachteten Flächenveränderungen (D64 bis D85) je Transekt, Zeitraum und CLC-Level.

5.1 Flächensummen und Anteile der LC-Klassen

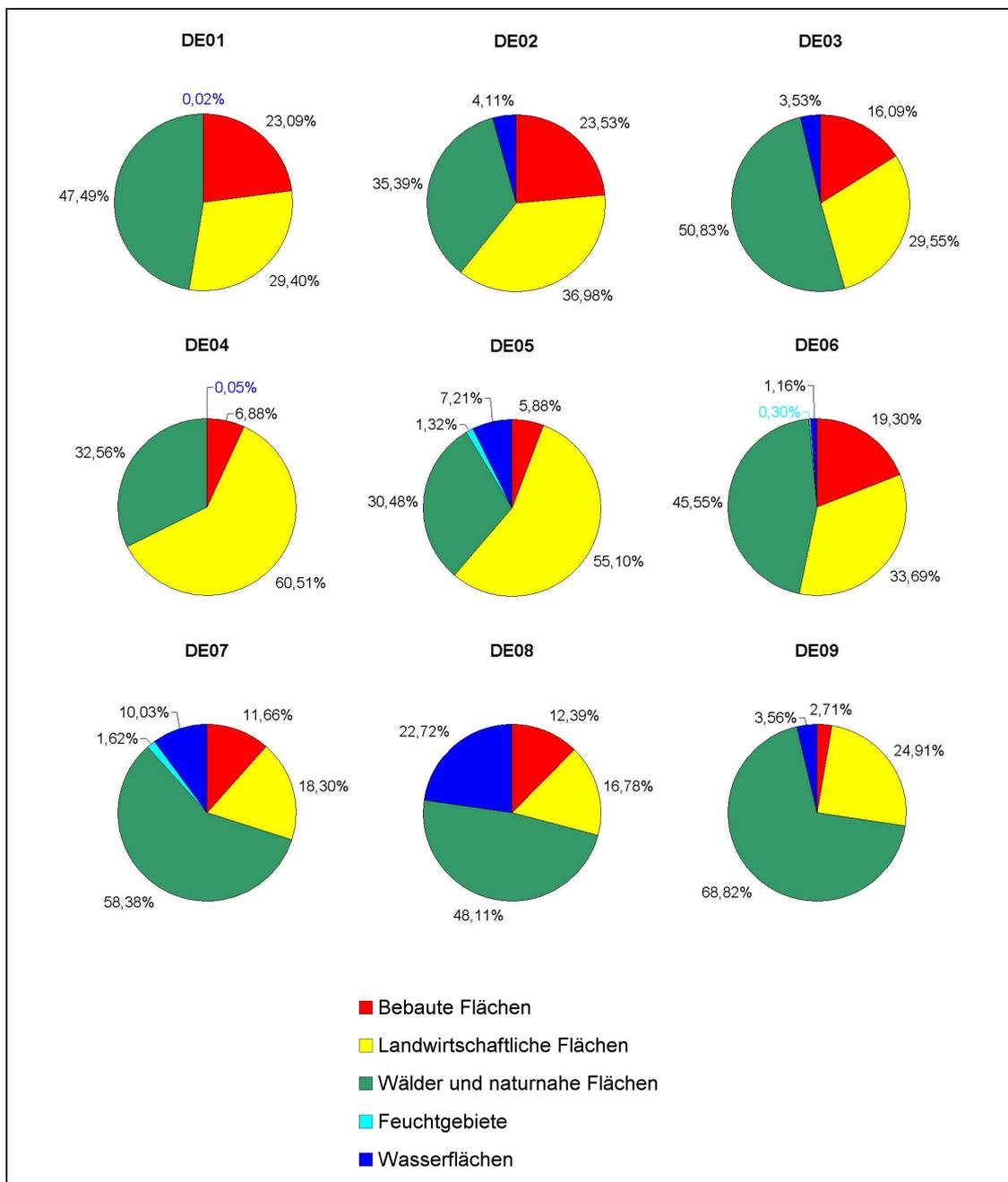


Abbildung 5.1: Statistik der Landbedeckung in % für neun Transekte in der Bundesrepublik Deutschland (CLC Level 1 — Jahr 2000)

Transekt DE01 „Dresdner Heide“

Mit mehr als 47 % nehmen Wälder und naturnahe Flächen im Testgebiet den überwiegenden Anteil an der Landbedeckung im Jahr 2000 ein (Abbildung 5.1 auf der vorherigen Seite, Abbildung 5.2 auf der nächsten Seite). Hierbei dominieren mit etwa 34 % die *Nadelwälder* in der Dresdner Heide (siehe Anhang D; Tabelle D55). 23 % bzw. 29 % des Transekts sind von bebauten bzw. landwirtschaftlichen Flächen bedeckt. Dabei nehmen *nicht durchgängig bebaute urbane Flächen* (112) einen Anteil von etwas mehr als 15 % und die Klasse *nicht bewässerte Agrarflächen* (211) rund 16,8 % ein. Der Flächenanteil der Wasserflächen und Feuchtgebiete ist vernachlässigbar.

In der Tabelle 5.1 sind die bedeutendsten Veränderungen der Landbedeckungsklassen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 zusammengefasst.

Tabelle 5.1: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE01

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	6,9 %	324	312	2,4 %
312	324	2,9 %	211	231	1,4 %
211	112	1,7 %	211	112	0,6 %
324	312	1,4 %	231	312	0,5 %
133	231	1,2 %	231	112	0,4 %
133	124	1,0 %	121	231	0,4 %
211	121	1,0 %	231	324	0,3 %
231	121	0,8 %	231	133	0,2 %
242	112	0,6 %	324	231	0,2 %

Zwischen 1950 und 1990 treten die größten Flächenveränderungen im Transekt DE01 in Form des Wandels von LC-Klasse 211 (*nicht bewässerte Agrarflächen*) zu 231 (*Weideland*) auf. 6,9 % der Gesamtfläche des Testgebiets waren davon betroffen. An zweiter Stelle steht mit 2,9 % der Transektfläche die Veränderung von Gebieten mit der Landbedeckungsklasse 312 (*Nadelwald*) in Klasse 324 (*Strauch-Wald-Übergangsstadium*). Zu den weiteren bedeutenden Veränderungen zählen neben Flächen, die nach CLC-Nomenklatur Waldstatus erreichten (324 \Rightarrow 312), auch der Wandel von landwirtschaftlich genutzten Flächen (211, 231, 242) zu urbanen Gebieten (112) bzw. *Industrie* (121), sowie der Ausbau des *Flughafens* (133 \Rightarrow 124 bzw. 133 \Rightarrow 231) im Nordwesten des Testgebiets.

Regionen, die durch Aufforstungen bzw. natürliche Sukzession gekennzeichnet sind (324 \Rightarrow 312), nehmen mit 2,4 % der Transektfläche den größten Anteil der Flächenveränderungen zwischen 1990 und 2000 ein. 1,4 % der Testgebietsfläche veränderte sich zwischen 1990 und 2000 von der Klasse *nicht bewässertes Ackerland* (211) zu *Weideland* (231). Auf rund 1 % der Gesamtfläche entstanden *Siedlungsgebiete* (112) auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen (211, 231). Weitere Flächenveränderungen sind die Umwandlung von *Weiden* (231) zu *Nadelwald* (312) bzw. dem *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324).

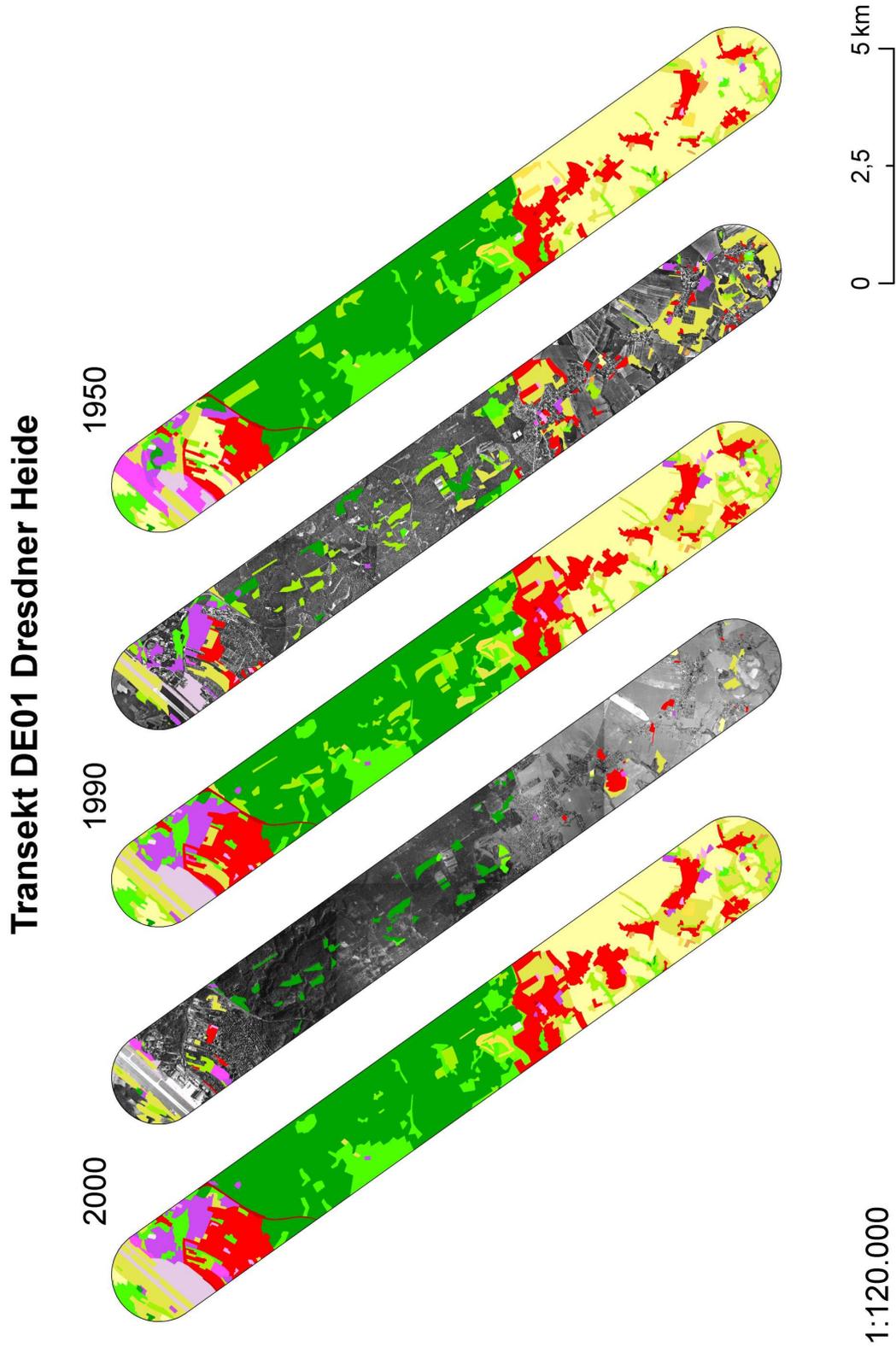


Abbildung 5.2: Interpretationsergebnisse für Transect DE01 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE02 „Vordere Sächsische Schweiz“

Der Flächenanteil von landwirtschaftlich genutzten Flächen lag im Testgebiet DE02 im Jahr 2000 bei knapp 37 % (Abbildung 5.1 auf Seite 69, Abbildung 5.3 auf der nächsten Seite). Mehr als 35 % der Landbedeckung waren Wälder und naturnahe Flächen im Nationalpark Sächsische Schweiz (Rathener Gebiet), wobei die Klasse *Nadelwald* (312) mit 21,3 % einen bedeutenden Anteil einnahm (siehe Anhang D; Tabelle D55). 23,5 % der Transektfläche waren bebaute Flächen. Hier dominierten *Siedlungsflächen* mit einem Flächenanteil von 15,7 %, *Industrie bzw. kommerziell genutzte Flächen* mit 4,3 % und *Verkehrsinfrastruktur* mit 1,6 % der Testgebietsfläche im Stadtgebiet von Pirna und Heidenau. Wasserflächen und Fließgewässer (Elbe) nahmen 4,1 % der Gesamtfläche ein.

In der Tabelle 5.2 sind die wichtigsten Veränderungen der Landbedeckungsklassen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 dargestellt.

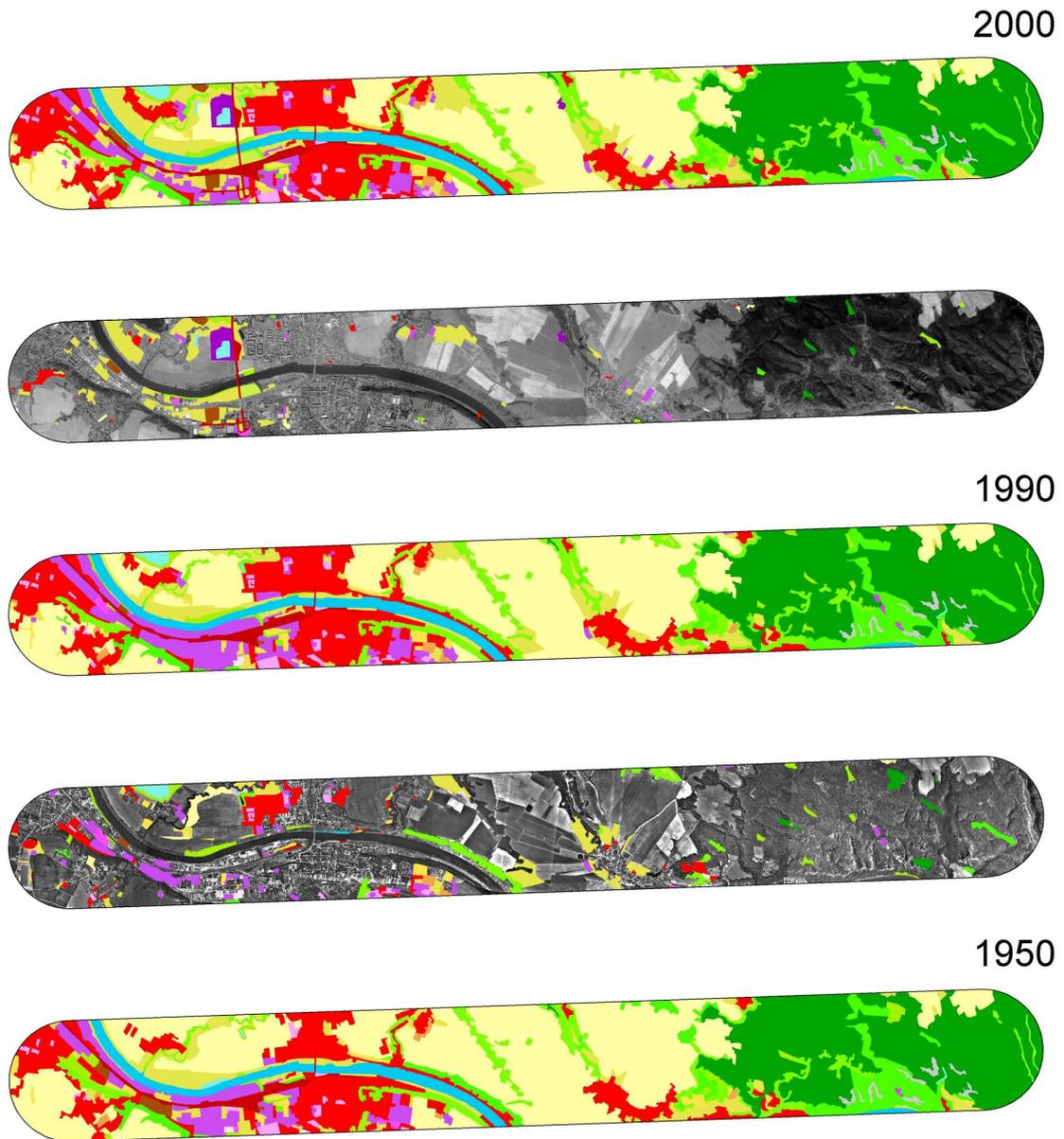
Tabelle 5.2: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE02

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	2,2 %	211	231	2,4 %
211	112	1,4 %	121	231	1,1 %
313	311	1,0 %	211	131	0,4 %
231	211	0,5 %	211	112	0,3 %
211	121	0,4 %	121	132	0,2 %
231	121	0,4 %	324	312	0,2 %
211	242	0,3 %	211	121	0,2 %
324	311	0,3 %	211	512	0,2 %
112	121	0,3 %	121	321	0,2 %

Zwischen 1950 und 1990 traten mit 2,2 % die größten Flächenveränderungen zwischen der LC-Klasse 211 (*nicht bewässerte Agrarflächen*) und 231 (*Weide*) im Transekt DE02 auf. An zweiter Stelle stand mit 1,4 % der Transektfläche die Veränderung von *nicht bewässerten Agrarflächen* (211) in *Siedlungsgebiete* (112). Der Wechsel zwischen *Mischwald* (313) und *Laubwald* (311) sowie von *Weiden* zu *Agrarland* war ebenfalls bedeutsam. Die Erweiterung von *Industriegebieten* zwischen 1950 und 1990, vor allem zwischen Heidenau und Pirna sowie am Stadtrand Pirnas am Sonnenstein, auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen nahm 0,8 % ein (211 ⇒ 121, 231 ⇒ 121).

Auch zwischen 1990 und 2000 wurde der größte Anteil der Flächenveränderungen durch den Wandel der landwirtschaftlichen Nutzungsart beschrieben (211 ⇒ 231, 2,4 %). 1,1 % der Testgebietsfläche veränderten sich von Klasse 121 zu 231 bzw. 321, was vor allem die Industriebrachen im Industriegebiet Heidenau/Pirna widerspiegeln. Wichtige Veränderungen waren ferner die Errichtung einer teilweise gefluteten Kiesgrube (211 ⇒ 131 bzw. 211 ⇒ 512), von *Halden bzw. Deponien* (121 ⇒ 132) und von *Industriegebieten* auf Kosten von *Agrarflächen* (211 ⇒ 121).

Transekt DE02 Vordere Sächsische Schweiz



1:110.000

0 2,5 5 km

Abbildung 5.3: Interpretationsergebnisse für Transekt DE02 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE03 „Hintere Sächsische Schweiz“

Mehr als 50 % des Testgebiets DE03 waren im Jahr 2000 von Wäldern oder naturnahen Flächen bedeckt (Abbildung 5.1 auf Seite 69, Abbildung 5.4 auf der nächsten Seite). Den Großteil nahmen dabei mit 28,8 % *Nadelwälder* ein, gefolgt von *Mischwäldern* mit 12,6 % und Laubwäldern mit 8 %. Der Flächenanteil von landwirtschaftlich genutzten Flächen lag bei knapp 30 %, dominiert durch die Klasse *nicht bewässertes Agrarland* mit 22,6 %. 16,1 % der Transektfläche waren bebaute Flächen. Hierbei überwogen *Siedlungsflächen*, vor allem in Königstein und Bad Schandau, mit einem Flächenanteil von 10,4 %, *Verkehrsinfrastruktur* mit 1,2 % und *Industrie bzw. kommerziell genutzte Flächen* mit 1,1 % der Testgebietsfläche. Zum Uranbergbau in Königstein gehörten mit 1,3 % die Landnutzungsklassen *Bergbauförderung* (131) und *Abraumhalden* (132) mit 1,1 %. Wasserflächen und Fließgewässer nahmen 3,5 % der Gesamtfläche ein.

In Tabelle 5.3 sind die bedeutendsten Veränderungen der Landbedeckungsklassen zwischen 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 im Transekt DE03 dargestellt.

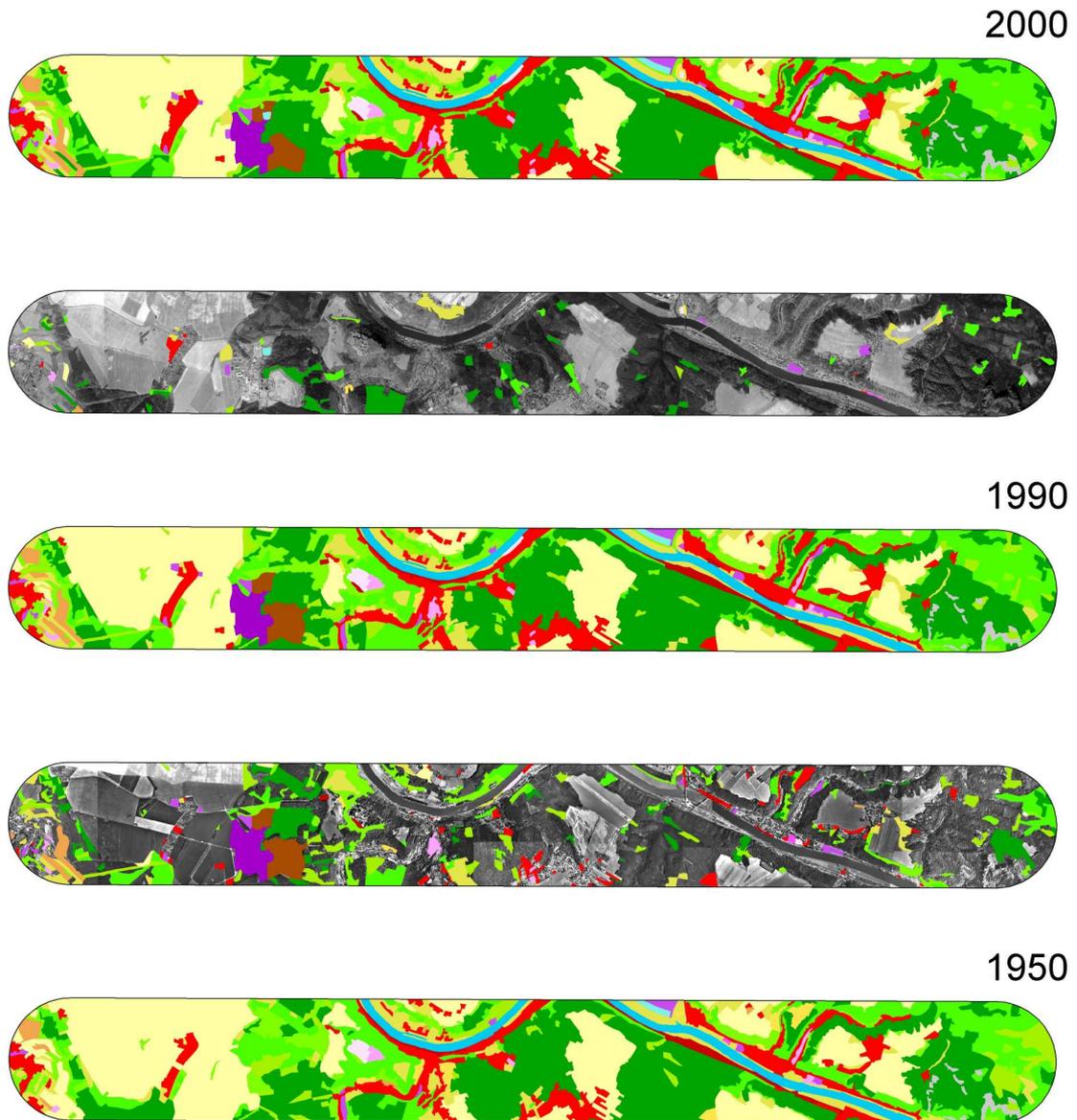
Tabelle 5.3: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE03

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
313	311	1,9 %	324	312	1,2 %
324	312	1,7 %	211	231	0,8 %
211	231	1,6 %	324	313	0,7 %
313	312	1,5 %	313	312	0,6 %
312	324	1,5 %	312	313	0,4 %
312	313	1,3 %	231	312	0,2 %
324	313	1,1 %	132	312	0,2 %
312	132	1,0 %	211	112	0,2 %
211	131	0,7 %	211	121	0,1 %

Zwischen 1950 und 1990 traten mit 1,9 % die größten Flächenveränderungen im Transekt DE03 zwischen der LC-Klasse *Mischwald* (313) und *Laubwald* (311) auf. An zweiter Stelle stand mit 1,7 % der Transektfläche die Veränderung vom *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) in *Nadelwald* (312). Der Wechsel zwischen *nicht bewässertem Agrarland* (211) und *Weiden* (231) war ebenfalls flächenmäßig bedeutsam. Besondere Dynamik zeigte sich zwischen den Waldklassen (311, 312, 313) sowie der LC-Klasse *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324). Die Förderung im Uranbergbau Königstein spiegelte sich in der Veränderungsstatistik ebenfalls wider (312 ⇒ 132, 211 ⇒ 131).

Auch in der Periode 1990 bis 2000 war die Dynamik zwischen den Waldklassen vorherrschend. Der Wechsel von *nicht bewässertem Agrarland* (211) zu *Weide* (231) gehörte ebenfalls zu den markanten Veränderungen in dieser Dekade. Des Weiteren fiel die Verringerung der Flächenanteile von *Abraumhalden* (132) zu Gunsten von *Nadelwald* (312) um 0,2 % sowie die Entstehung von *Siedlungsstrukturen* (112) bzw. von *Industrieflächen* (121) auf Kosten von *landwirtschaftlichen Agrarflächen* (211) auf 0,3 % der Gesamtfläche auf.

Transekt DE03 Hintere Sächsische Schweiz



1:110.000

0 2,5 5 km

Abbildung 5.4: Interpretationsergebnisse für Transekt DE03 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE04 „Hainich“

Im Interpretationsjahr 2000 nahmen landwirtschaftliche Gebiete mit 60,5 % den größten Flächenanteil im Testgebiet DE04 ein (Abbildung 5.1 auf Seite 69, Abbildung 5.5 auf der nächsten Seite). Es dominierte die Klasse *nicht bewässertes Agrarland* (211) mit 55 %. Über 32,5 % des Transekts waren von Wäldern oder naturnahen Flächen bedeckt, wobei hier *Laubwälder* mit 22,7 % vorherrschen. Knapp 7 % der Gesamtfläche wurde von bebauten Flächen eingenommen, vor allem durch *Siedlungsflächen* mit 5 %. Wasserflächen nahmen mit 0,05 % nur einen sehr geringen Flächenanteil ein.

In Tabelle 5.4 sind die größten Flächenveränderungen im Transekt DE04 für den Zeitraum 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 zusammengefasst.

Tabelle 5.4: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE04

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	2,8 %	211	231	0,7 %
324	311	0,7 %	324	312	0,6 %
324	312	0,7 %	211	121	0,4 %
312	324	0,6 %	322	311	0,4 %
211	112	0,5 %	211	112	0,3 %
312	311	0,5 %	211	133	0,2 %
311	322	0,4 %	142	231	0,1 %
324	313	0,4 %	333	321	0,1 %
211	324	0,4 %	231	112	0,1 %

In der Periode 1950 bis 1990 wurden zwischen *Agrarland* (211) und *Weiden* (231) mit 2,8 % die größten Flächenveränderungen beobachtet. Die Veränderungen zwischen den Landbedeckungsklassen 311, 312, 313 und 324 beschreiben die Dynamiken im Wald im Transekt DE04. Die Zunahme von 0,5 % von *urbanen Flächen* (112) auf Kosten von landwirtschaftlichen *Ackerflächen* konnte ebenfalls beobachtet werden.

Auch in der Dekade 1990 bis 2000 war der Wandel von *Ackerland* zu *Weide* flächenbezogen vorherrschend. Der Wechsel vom *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) zu *Nadelwald* (312) spricht für eine fortschreitende Sukzession oder aber für die Wiederaufforstung von Kahlschlägen. Es war eine Zunahme von *Siedlungsflächen* (112), *Industriegebieten* (121) und *Baustellen* (133) auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen (211, 231) zu beobachten. Die Veränderung der Klasse 142 (*Sport- und Erholungsstätten*) zu 231 (*Weide*) beschreibt die Stilllegung einer Moto-Cross-Strecke im Rahmen der Schaffung einer Autobahnauffahrt für die A4 östlich von Eisenach.

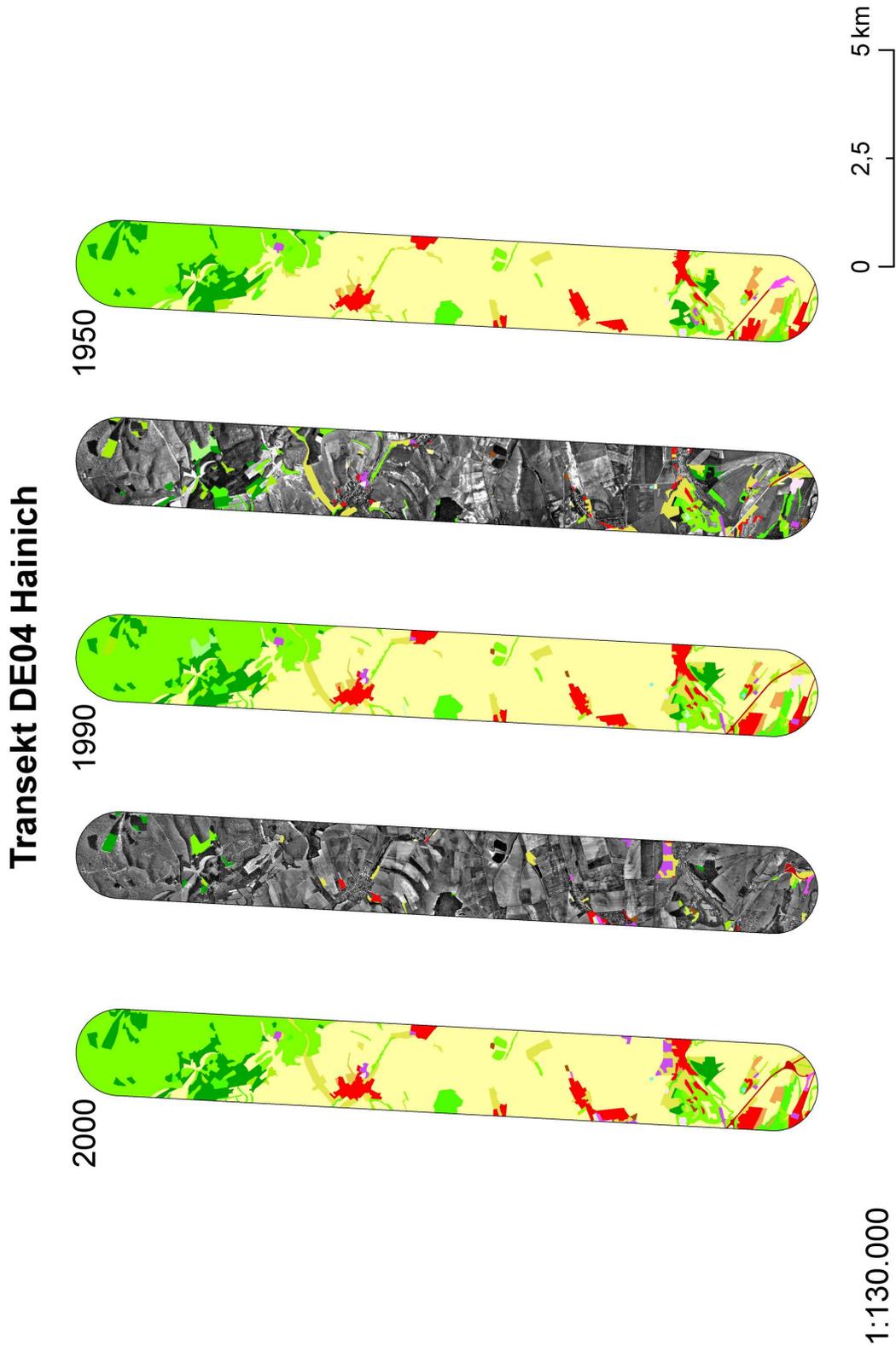


Abbildung 5.5: Interpretationsergebnisse für Transect DE04 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE05 „Elbauen nahe Magdeburg“

55,1% des Testgebiets waren im Jahr 2000 von landwirtschaftlichen Flächen bedeckt (Abbildung 5.1 auf Seite 69, Abbildung 5.6 auf der nächsten Seite). Mit 40,0% herrschte die Klasse 211 (*nicht bewässertes Ackerland*) vor; der Flächenanteil von *Weiden* betrug 13,7%. Wälder und naturnahe Flächen nahmen im Jahr 2000 30,5% der Transektfläche ein. Hier dominierten *Laubwälder* (311) mit 25,8%. Wasserflächen und Feuchtgebiete waren mit Flächenanteilen von 7,2% bzw. 1,3% vertreten. 5,9% der Gesamtfläche waren von bebauten Flächen bedeckt, wobei *Siedlungsflächen* (112) mit 5,0% den größten Anteil einnahmen.

In Tabelle 5.5 sind die größten Flächenveränderungen im Transekt DE05 für den Zeitraum 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 dargestellt.

Tabelle 5.5: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE05

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	3,7%	211	231	2,1%
324	311	2,6%	231	211	1,6%
313	312	1,4%	231	322	0,9%
211	512	1,3%	324	311	0,9%
211	311	1,0%	512	411	0,2%
311	324	0,7%	211	112	0,2%
211	121	0,6%	324	312	0,1%
211	112	0,6%	211	222	0,1%
231	112	0,6%	311	231	0,1%

Die größten Veränderungen in der Periode 1950 bis 1990 traten mit 3,7% zwischen *nicht bewässertem Ackerland* (211) und *Weideland* (231) auf. Umwandlungen der LC-Klassen im Wald (324 ⇒ 311, 313 ⇒ 312, 311 ⇒ 324) waren ebenfalls häufig. Auf 1,4% der Fläche wurde eine Veränderung von *Mischbeständen* zu *Nadelreinbeständen* beobachtet. Die Schaffung zweier Seen (Salbker See I: entstand 1959 durch Kiesabbau, ab 1972 Badeseesee; und Salbker See II) am südöstlichen Stadtrand von Magdeburg wird durch die Veränderung der LC-Klasse 211 in 512 (*Süßwasser, stehend*) beschrieben. Die Bewaldung von *nicht bewässertem Ackerland* (1,0%) sowie die Entstehung von *Siedlungs-* bzw. *Industrieflächen* (112, 121) auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen (211, 231) trat mit einem summierten Flächenanteil von 1,8% auf.

Auch im Zeitraum 1990 bis 2000 war der Wechsel von *Ackerland* zu *Weide* mit 2,1% am größten. Gleichzeitig war bei 1,6% der Transektfläche der gegenläufige Prozess zu beobachten (231 ⇒ 211). Die Veränderungen von *Weideland* zu *Heiden* (231 ⇒ 322) nahmen einen Flächenanteil von 0,9% ein. Der Wechsel von *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) zu *Laubwald* (311) bzw. *Nadelwald* (312) spricht für eine fortschreitende Sukzession oder aber für die Bestandesbegründung nach Kahlschlägen.

Transekt DE05 Elbauen nahe Magdeburg

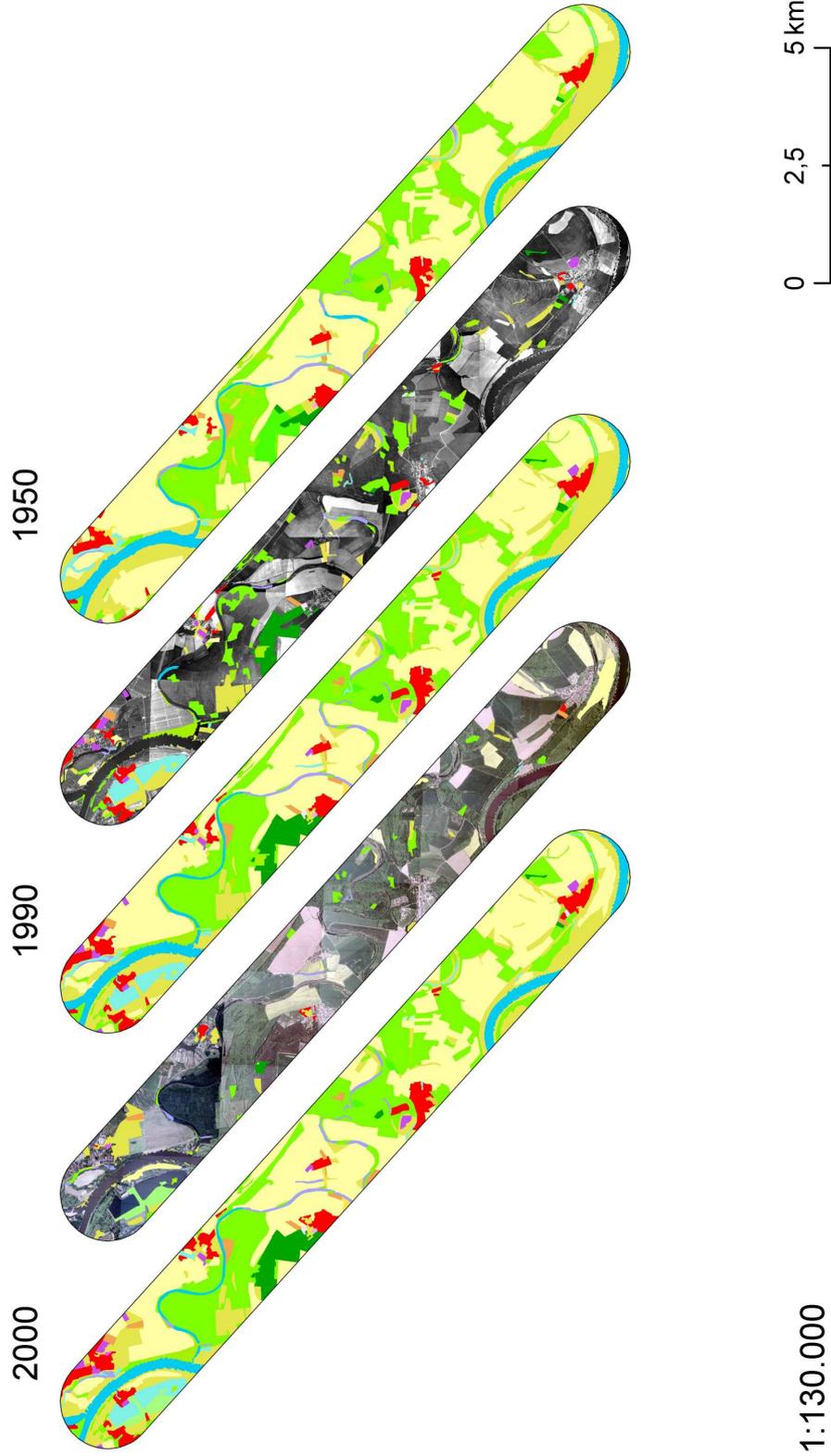


Abbildung 5.6: Interpretationsergebnisse für Transekt DE05 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE06 „Oranienbaumer Heide“

Im Jahr 2000 waren 45,6 % des Testgebiets DE06 mit Wald oder naturnahen Flächen bedeckt (Abbildung 5.1 auf Seite 69). Im Norden des Transekts dominierten mit 12,7 % *spärlich bewachsene Flächen* (333) sowie *Laub-, Nadel- und Mischwälder* (5 %, 9,1 % und 8,6 %) (Abbildung 5.7 auf der nächsten Seite). 33,7 % des Transekts waren landwirtschaftliche Gebiete. 19,3 % des Testgebietes waren von bebauten Flächen, vor allem *Siedlungsflächen* und *Industriegebieten* in Wolfen, bedeckt. Wasserflächen und Feuchtgebiete nahmen in der Summe 1,5 % der Gesamtfläche ein.

In Tabelle 5.6 sind die wichtigsten Flächenveränderungen im Transekt DE06 für den Zeitraum 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 beschrieben.

Tabelle 5.6: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE06

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	3,9 %	333	324	4,5 %
333	313	3,2 %	333	321	2,0 %
333	324	2,9 %	121	333	1,1 %
211	333	2,0 %	324	312	0,4 %
312	333	1,8 %	324	313	0,4 %
324	312	1,7 %	231	211	0,3 %
211	121	1,2 %	121	324	0,3 %
312	313	1,1 %	211	112	0,2 %
211	112	1,1 %	231	412	0,2 %

Die größten Landbedeckungsänderungen von 3,9 % wurden in der Periode 1950 bis 1990 zwischen *nicht bewässertem Ackerland* (211) und *Weideland* (231) beobachtet. Der Wandel der Landbedeckungsklasse 333 (*spärlich bewachsene Flächen*) zu *Mischwald* (313) bzw. zum *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) wurde durch die Bewaldung des ehemaligen Truppenübungsplatzes im Norden des Transekts bedingt. Insgesamt 4,6 % der Transektfläche veränderten sich innerhalb der Klassen *Nadelwald* (312), *Mischwald* (313), *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) und *spärlich bewachsene Flächen* (333). Auf insgesamt 2,3 % des Testgebiets, vorwiegend in der Stadt Wolfen, entstanden *Siedlungs-* (112) bzw. *Industrieflächen* (121) auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen (211).

Im Zeitraum 1990 bis 2000 war der Wechsel der Landbedeckungsklasse 333 zu 324 vorherrschend (4,5 %). Dies symbolisiert die sukzessive Bewaldung im ehemaligen Militärgelände im Norden des Testgebiets. Eine zentrale Fläche mit 2,0 % der Gesamtfläche veränderte sich von *spärlich bewachsenen Flächen* (333) in *Grasland* (321). Der Rückbau von Industrieanlagen am Chemiestandort Wolfen im Süden des Transekts ist durch die Änderung der Landbedeckungsklasse 121 in 333 belegt (1,1 %). Die fortschreitende Bewaldung in der Oranienbaumer Heide zwischen den Jahren 1990 und 2000 nahm in der Summe 0,8 % der Fläche des Transekts ein (324 ⇒ 312, 313).

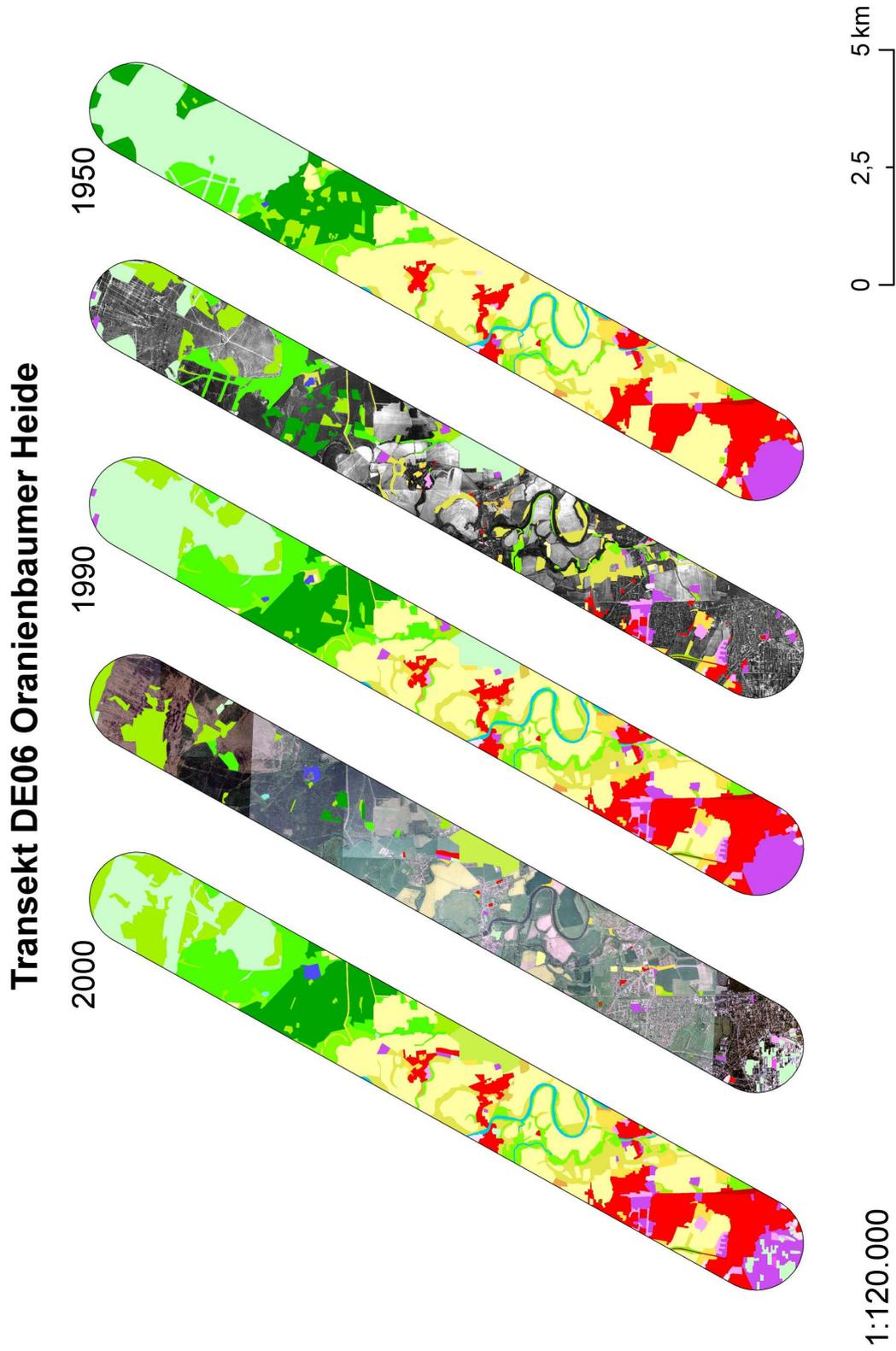


Abbildung 5.7: Interpretationsergebnisse für Transekt DE06 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE07 „Untere Muldeaeu“

58,4 % des Testgebiets DE07 waren im Jahr 2000 mit Wald oder naturnahen Flächen bedeckt, hauptsächlich von *Mischwald* (22,7%), *Nadelwald* (13,8 %) und *Grasland* (8,2 %) (Abbildung 5.1 auf Seite 69). 18,3 % des Transekts waren landwirtschaftliche Gebiete, wobei mit 11,0 % *nicht bewässertes Ackerland* und mit 6,6 % *Weideland* die bedeutendsten Flächenanteile einnahmen. 11,7 % des Testgebietes waren von bebauten Flächen, hauptsächlich von *Siedlungsflächen* in Bitterfeld, *Industriegebieten* aber auch *urbanen Grünflächen*, bedeckt (Abbildung 5.8 auf der nächsten Seite). Wasserflächen und Feuchtgebiete nahmen in der Summe 11,7 % der Gesamtfläche ein.

In Tabelle 5.7 sind die größten Flächenveränderungen im Transekt DE07 für den Zeitraum 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 dargestellt.

Tabelle 5.7: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE07

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
131	313	13,8 %	333	321	5,1 %
211	131	5,2 %	131	512	3,1 %
211	333	4,7 %	131	333	2,9 %
211	231	3,6 %	324	313	2,6 %
131	324	3,5 %	324	312	2,1 %
131	211	3,5 %	211	231	2,1 %
211	312	2,6 %	121	333	1,0 %
211	512	2,4 %	131	321	0,7 %
131	512	2,2 %	333	312	0,5 %

Die größten Flächenunterschiede in der Periode 1950 bis 1990 wurden zwischen *Abbaugebieten* (131) und *Mischwald* (313) beobachtet (13,8 %). Die Renaturierung des Tagebaus Goitzsche wird durch die Veränderungen der Landbedeckungsklasse 131 zu *Mischwald* (313), *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324), *Ackerland* (211) und *Inlandwasserflächen* (512) beschrieben. Gleichzeitig wurde jedoch auch ein Wandel von *Ackerland* (211) zu *Abbaugebiet* (131) beobachtet (5,2 %). Die Änderungen von *Ackerland* (211) zu *Nadelwald* (312) bzw. *Wasserflächen* (512) nahmen zusammen 5 % der Transektfläche ein.

Im Zeitraum 1990 bis 2000 war mit 5,1 % der Transektfläche der Landnutzungswandel von der Landbedeckungsklasse *spärlich bewachsene Flächen* (333) zu *Grasland* (321) am größten. Die Umwandlung der *Abbaugebiete* (131) in *Wasserflächen* (512) und angrenzende Uferbereiche mit *spärlicher Vegetation* (333) oder auch *natürliches Grasland* (321) betraf in der Summe 6,7 % der Testgebietsfläche. 4,7 % des Transekts waren Regionen, auf denen im Jahr 1990 nach der Renaturierung *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) vorherrschten und im Jahr 2000 *Nadel-* (312) und *Mischwälder* (313) stockten. Der Wechsel von *Ackerland* zu *Weide* sowie der Rückbau von *Industrieanlagen*, die mit dem Tagebaubetrieb verbunden waren, nahmen Flächenanteile von 2,1 % bzw. 1,0 % ein.

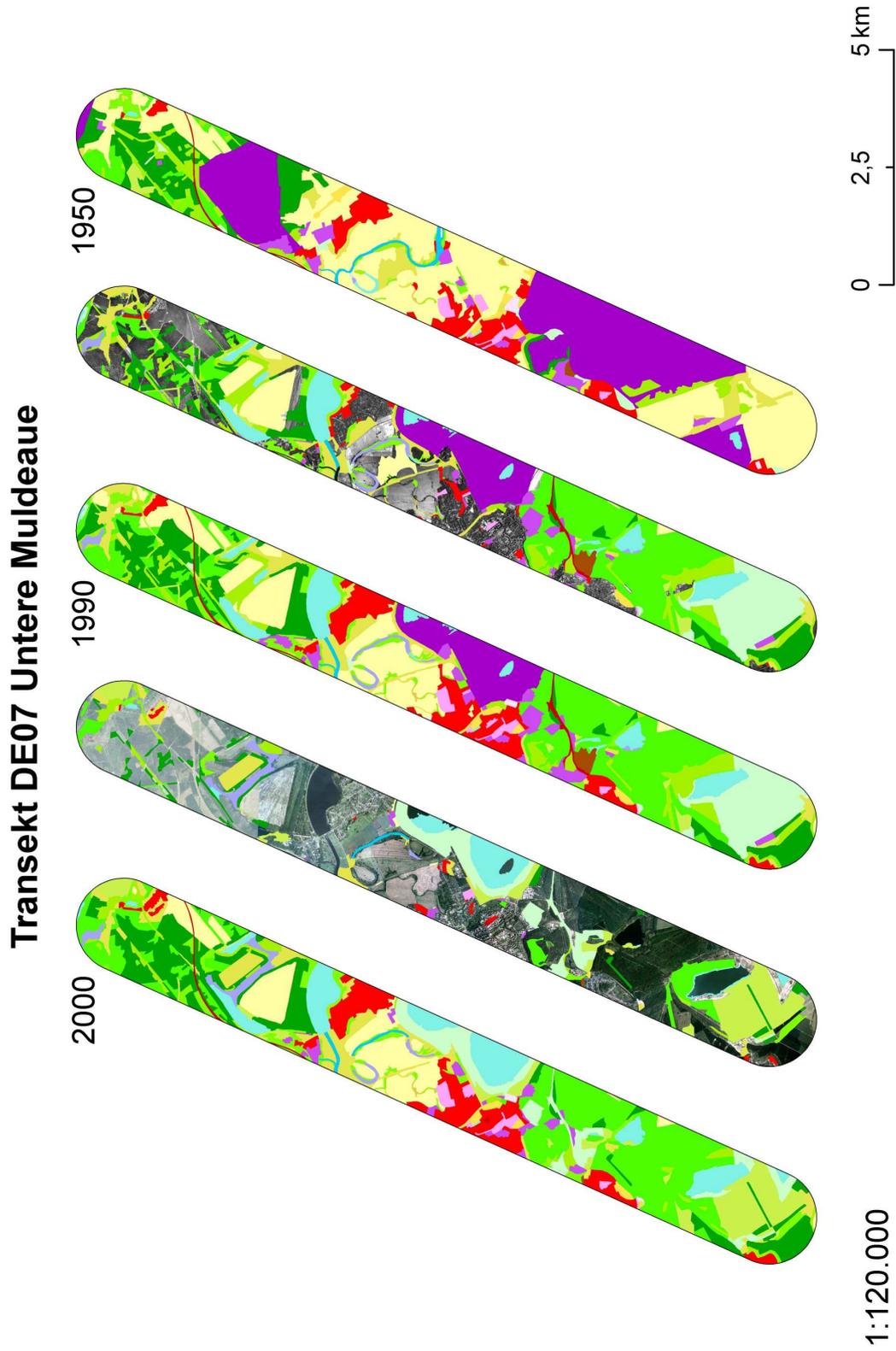


Abbildung 5.8: Interpretationsergebnisse für Transekt DE07 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE08 „Nationalpark Sassenitz“

Im Jahr 2000 waren 48,1 % des Testgebiets DE08 mit Wald oder naturnahen Flächen bedeckt, hauptsächlich von *Laubwald* (30,1 %) im Nationalpark Jasmund. 22,7 % des Transekts waren Wasserflächen, wobei *Meer* mit 21,6 % den bedeutendsten Flächenanteil einnahm (Abbildung 5.1 auf Seite 69). 16,8 % des Testgebietes waren von landwirtschaftlichen Flächen, hauptsächlich *nicht bewässertes Ackerland* (9,2 %) und *Weiden* (6,6 %), bedeckt. Bebaute Flächen nahmen 11,7 % der Gesamtfläche ein. Hiervon waren die bedeutendsten Landbedeckungsklassen *Siedlungsflächen* (5 %), *Hafenanlagen* (2,2 %) und *Sport- und Erholungsflächen* (2,1 %) (Abbildung 5.9 auf der nächsten Seite).

In Tabelle 5.8 sind die größten Flächenveränderungen im Transekt DE08 für den Zeitraum 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 zusammengefasst.

Tabelle 5.8: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE08

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	2,8 %	211	231	1,6 %
311	313	2,3 %	523	123	0,8 %
211	112	1,7 %	211	112	0,8 %
311	312	1,0 %	333	231	0,4 %
211	242	0,8 %	133	121	0,3 %
211	123	0,8 %	211	333	0,2 %
312	313	0,7 %	321	312	0,2 %
211	121	0,6 %	321	324	0,2 %
312	322	0,5 %	322	324	0,2 %

In der Periode 1950 bis 1990 wurden die größten Veränderungen zwischen *Ackerland* (211) und *Weide* (231) beobachtet (2,8 %). Der Ausbau von *Siedlungsflächen* (112), des Frachthafens Sassenitz (123) und von *Industrieanlagen* (121) auf Kosten von *Ackerland* (211) nahm 3,6 % der Testgebietsfläche ein. Dynamiken im Wald (311 \Rightarrow 313, 311 \Rightarrow 312, 312 \Rightarrow 313) traten mit einem Flächenanteil von insgesamt 4 % auf.

Im Zeitraum 1990 bis 2000 waren 1,6 % der Gesamtfläche des Transekts Landnutzungsänderungen von *Ackerland* zu *Weide*. In der betrachteten Dekade nahm der Ausbau des Fährhafens (523 \Rightarrow 123) 0,8 % der Transektfläche ein, wodurch sich auch der Anteil der gesamten Landfläche (ohne Meer) im Jahr 2000 erhöhte. In der Stadt Sassenitz vergrößerte sich der Flächenanteil der *Siedlungsflächen* (112) auf Kosten von *Ackerland* (211) um 0,8 %. Die *Baustellen* (133) aus dem Jahr 1990 wurden 2000 als *Industriegebiete bzw. kommerziell genutzte Flächen* (121) fertig gestellt (0,3 %). Im Untersuchungszeitraum 1990–2000 veränderte sich *natürliches Grasland* (321) mit jeweils 0,2 % zu *Nadelwald* (312) bzw. zu *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324). Landnutzungswandel zwischen landwirtschaftlichen Flächen (211, 231) und *spärlich bewachsenen Gebieten* (333) wurde auf 0,6 % der Gesamtfläche beobachtet. 0,2 % der Testgebietsfläche gingen von *Heidegebieten* (322) zum *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) über.

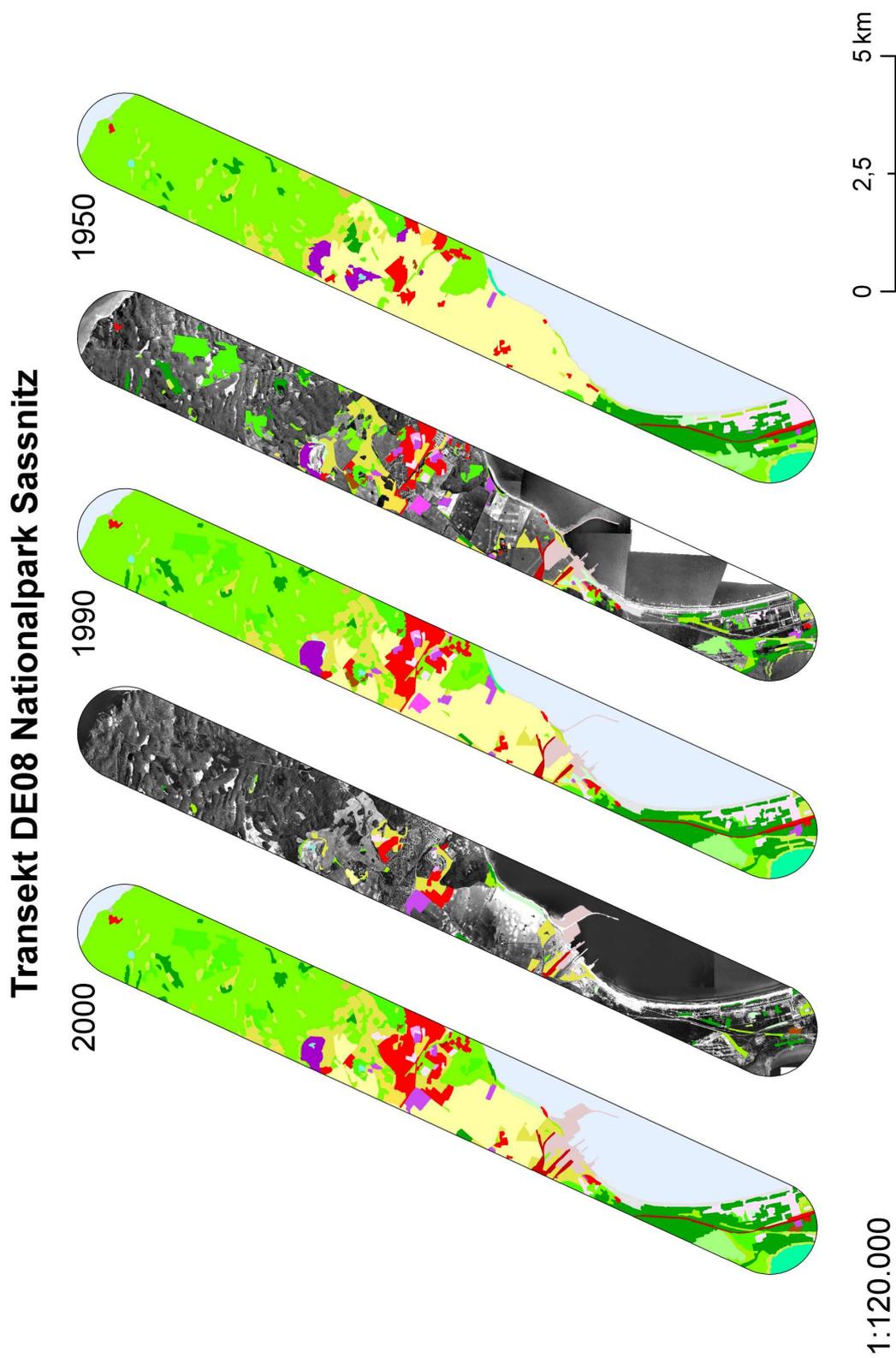


Abbildung 5.9: Interpretationsergebnisse für Transect DE08 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

Transekt DE09 „Nationalpark Müritz“

Das Transekt DE09 wurde im Jahr 2000 von Wäldern und naturnahen Flächen dominiert (Abbildung 5.1 auf Seite 69), was sich durch einen Flächenanteil von 68,8 % manifestierte. Mit einem Anteil von 58,7 % trugen hauptsächlich *Nadelwälder* dazu bei (Abbildung 5.10 auf der nächsten Seite). 24,9 % des Transekts waren mit landwirtschaftlichen Flächen bedeckt, wobei *Weideland* mit 22,9 % den bedeutendsten Flächenanteil einnahm. Wasserflächen und bebaute Flächen nahmen mit 3,6 % bzw. 2,7 % der Gesamtfläche nur einen geringen Flächenanteil ein.

In Tabelle 5.9 sind die größten Flächenveränderungen im Transekt DE09 für den Zeitraum 1950 und 1990 bzw. 1990 und 2000 beschrieben.

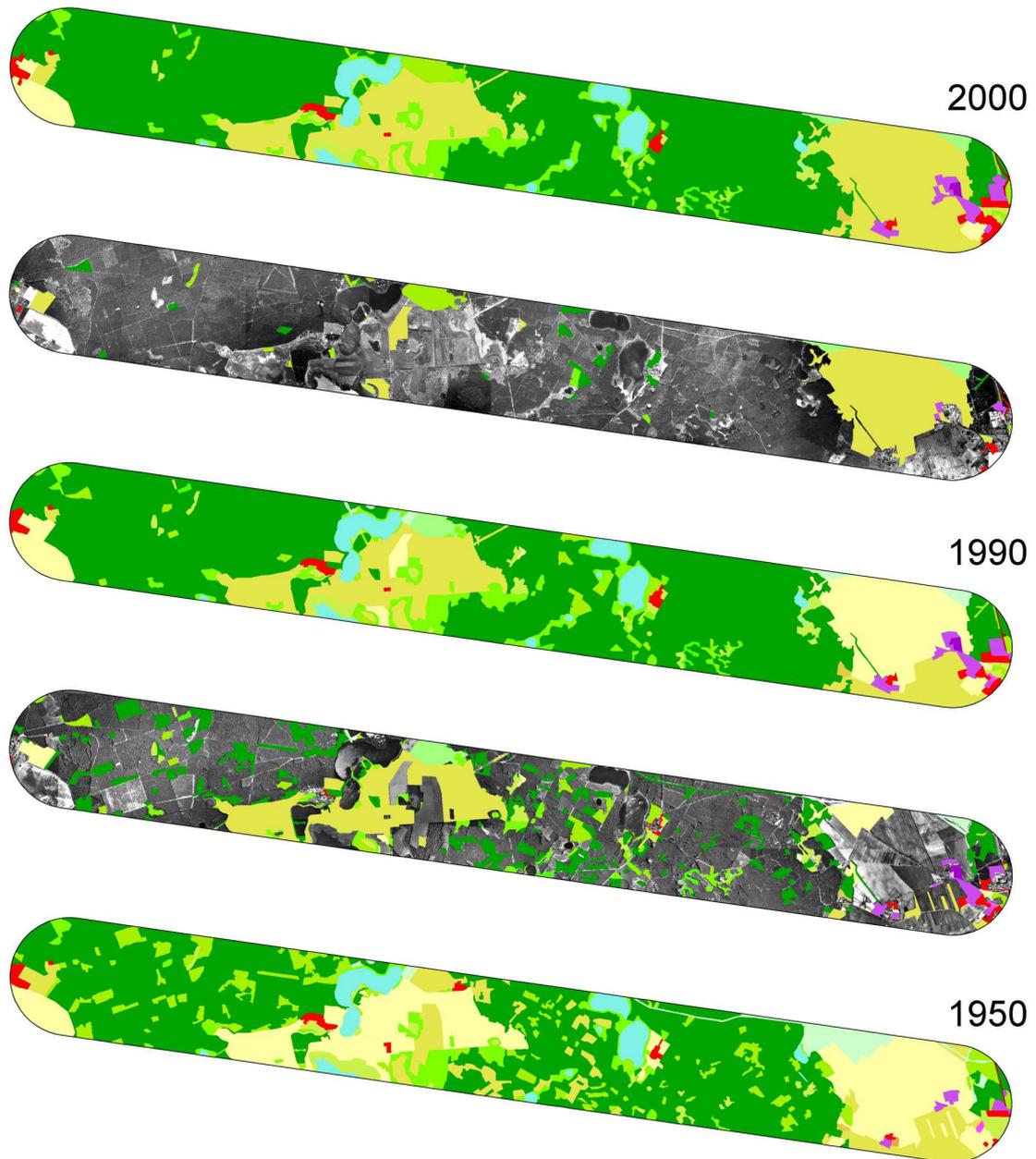
Tabelle 5.9: Darstellung der neun bedeutendsten Flächenveränderungen zwischen 1950 und 1990 (links) bzw. 1990 und 2000 (rechts) im Transekt DE09

LC50	LC90	Flächenanteil am Transekt in %	LC90	LC00	Flächenanteil am Transekt in %
211	231	8,4 %	211	231	10,3 %
324	312	7,2 %	324	312	1,1 %
231	312	2,0 %	322	324	0,8 %
333	211	1,2 %	333	322	0,5 %
312	324	1,0 %	333	324	0,2 %
333	312	0,8 %	324	311	0,1 %
312	311	0,7 %	231	324	0,1 %
231	322	0,7 %	321	324	0,1 %
231	211	0,6 %	211	121	0,1 %

Im Beobachtungszeitraum 1950 bis 1990 wurden mit 8,4 % die größten Flächenänderungen zwischen *Ackerland* und *Weiden* beobachtet. Weiterhin traten Wechsel von kleinflächigen Kahlschlägen zu *Nadelwald* (324 ⇒ 312) und umgekehrt (312 ⇒ 324) sowie die Entwicklung von *Nadelwald* auf früheren *Weideflächen* (231 ⇒ 312) auf. Bereiche des ehemaligen Truppenübungsplatzes wurden landwirtschaftlich (333 ⇒ 211) und forstlich genutzt (333 ⇒ 312). In einigen Regionen (0,7 %) erhöhte sich der Anteil von *Laubwäldern* auf Kosten von *Nadelwäldern* (312 ⇒ 311). Auf 1,3 % der Transektfläche wurden Landnutzungsänderungen von *Weideland* in *Heiden* (231 ⇒ 322) bzw. in *Ackerland* (231 ⇒ 211) beobachtet. In der Periode 1950 bis 1990 spielte die Zunahme von urbanen Flächen, wie *Siedlungsflächen* oder *Industrie*, im Transekt DE09 nur eine untergeordnete Rolle.

In der Dekade 1990 bis 2000 veränderten sich 10,3 % der Testgebietsfläche von *Ackerland* zu *Weiden*. Die Wiederbewaldung von Kahlschlagsflächen (324 ⇒ 312, 311) lag mit 1,2 % an zweiter Stelle der flächenmäßig wichtigen Veränderungen. Die Sukzession auf *Weideland*, *natürlichem Grasland*, *Heiden* und *spärlich bewachsenen Flächen* (231 ⇒ 324, 321 ⇒ 324, 322 ⇒ 324, 333 ⇒ 322, 324) trat auf insgesamt 1,7 % des Transekts auf. Die Erweiterung von *Industrieflächen* im Osten des Testgebiets an der Stadtgrenze von Neustrelitz nahm einen Flächenanteil von 0,1 % ein.

Transekt DE09 Nationalpark Müritz



1:110.000

0 2,5 5 km

Abbildung 5.10: Interpretationsergebnisse für Transekt DE09 (Legende siehe Abbildung A.1 auf Seite 190)

5.1.2 Budgets der Kartenveränderung

In den Budgettabellen sind neben dem Verlust und Gewinn von Flächenanteilen der Landbedeckungsklassen die Nettoflächenveränderung und die Anteile der Translokation (Verlagerung) der Landnutzungsklassen dargestellt (siehe Kapitel 4.3). Tabelle 5.10 dient als Beispiel für eine Flächenbudgettabelle und fasst für das Testgebiet DE01 und den Zeitraum 1950–1990 die Flächenveränderungen im CLC-Level 1 zusammen.

Tabelle 5.10: Budgettabelle für das Transekt DE01 im Zeitraum 1950–1990 in CLC-Level 1. Dargestellt sind die Flächenanteile (%) bezogen auf die Testgebietsfläche.

LC	Verlust	Gewinn	Total	Netto	Verlagerung	Konstanz
1	1,53	5,94	7,48	4,41	3,07	15,86
2	6,34	1,91	8,25	4,42	3,83	29,39
3	1,33	1,35	2,68	0,03	2,65	45,52
5	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,00
Transekt	9,23	9,23	9,23	4,44	4,79	90,77

Bebaute Flächen (LC = 1) wiesen in der Periode 1950–1990 deutlich größere Gewinne als Verluste auf. Landwirtschaftliche Flächen (LC = 2) nahmen hingegen stärker ab (Tabelle 5.10). Die Nettoveränderungen beider LC-Klassen waren nahezu identisch. In beiden Klassen ging ein Teil der Gesamtveränderung auf Translokation zurück. In Wäldern und naturnahen Flächen (LC = 3) hingegen war die Verlagerung die dominierende Veränderungsart, da sich der Verlust und Gewinn von Flächenanteilen dieser Landnutzungsklasse nur marginal unterschieden. Wasserflächen (LC = 5) nahmen nur einen sehr geringen Flächenanteil des Transekts ein. Feuchtgebiete (LC = 4) traten im Testgebiet DE01 nicht auf und waren daher in der Tabelle 5.10 nicht aufgeführt. An diesem Beispiel bestätigt die Budgettabelle ihre Eignung als erweitertes Werkzeug für die Veränderungsanalyse. Beim simplen Vergleich der Flächenanteile in den Jahren 1950 und 1990 würde die Klasse Wälder und naturnahe Flächen irrtümlich als unverändert und somit stabil eingeschätzt werden.

Aufgrund der teilweise extrem unterschiedlichen Zusammensetzung von Landbedeckungsklassen in den Testgebieten führte die Auswertung von Flächenbudgets für einzelne Transekte zu Ergebnissen, die miteinander nicht vergleichbar waren. Deshalb wurden die neun Transekte in dieser Teilanalyse als ein übergreifendes Testgebiet betrachtet. Hierbei können jedoch Flächenverlust und -gewinn zwischen den Testgebieten kompensiert werden, und als Verlagerung in die Budgets eingehen. Alle Felder mit grauem Hintergrund symbolisieren in den folgenden Tabellen einen mindestens doppelt so hohen Wert wie ihr Gegenspieler (Verlust vs. Gewinn; Netto vs. Verlagerung).

Die Tabellen mit den Ergebnissen für die einzelnen Transekte befinden sich im Anhang D (Tabellen D86 bis D113).

1950 – 1990

In der Tabelle 5.11 sind die Flächenveränderungen der Landbedeckungsklassen (CLC-Level 3) für die neun untersuchten Testgebiete im Zeitraum 1950 – 1990 zusammengefasst.

Tabelle 5.11: Budgettabelle für alle neun Transekte im Zeitraum 1950 – 1990. Dargestellt sind die Flächenanteile (%) in CLC-Level 3 bezogen auf die Summe aller Testgebietsflächen.

LC	Verlust	Gewinn	Total	Netto	Verlagerung	Konstanz
112	0,29	1,62	1,91	1,32	0,59	6,77
121	0,20	1,19	1,39	1,00	0,39	1,32
122	0,00	0,14	0,14	0,14	0,01	0,43
123	0,00	0,14	0,14	0,14	0,00	0,00
124	0,00	0,14	0,14	0,14	0,00	0,13
131	3,34	0,94	4,28	2,39	1,89	0,08
132	0,06	0,26	0,32	0,19	0,13	0,00
133	0,31	0,06	0,37	0,25	0,13	0,00
141	0,06	0,26	0,32	0,20	0,12	0,24
142	0,08	0,14	0,23	0,06	0,17	0,28
211	9,69	1,01	10,70	8,69	2,01	24,88
222	0,13	0,14	0,28	0,01	0,26	0,23
231	2,12	4,61	6,73	2,49	4,24	3,20
242	0,39	0,34	0,73	0,04	0,69	0,41
243	0,03	0,04	0,07	0,02	0,05	0,06
311	0,93	2,16	3,09	1,24	1,85	10,00
312	2,64	3,55	6,19	0,91	5,29	15,65
313	1,16	3,70	4,86	2,55	2,31	3,19
321	0,23	0,33	0,56	0,11	0,45	0,25
322	0,05	0,20	0,25	0,15	0,10	0,08
324	2,98	2,56	5,54	0,42	5,12	0,19
331	0,05	0,06	0,11	0,02	0,09	0,10
332	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
333	1,05	1,41	2,45	0,36	2,09	1,58
411	0,03	0,13	0,16	0,10	0,05	0,08
412	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
511	0,13	0,03	0,16	0,10	0,07	1,48
512	0,11	0,91	1,02	0,80	0,22	0,53
521	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,12
523	0,05	0,02	0,07	0,04	0,03	2,47
Testgebiet	26,12	26,12	26,12	11,95	14,17	73,88

Zwischen 1950 und 1990 wiesen die Klasse *nicht bewässertes Ackerland* (211), *Abbaugebiete* (131), *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) sowie *Nadelwald* (312) und *Weiden* (231) die bedeutendsten Flächenverluste in den Testgebieten auf. Der größte Flächengewinn wurde für *Weideland* beobachtet, gefolgt von den Waldtypen (311, 312, 313) und *Strauch-Wald-Übergangsstadium*.

Zu den Klassen, die im Zeitraum 1950 bis 1990 einen bedeutenden Netto-Flächengewinn aufwiesen, gehörten *Siedlungsflächen* (112), *Industriegebiete* (121), *Verkehrsnetze* (122), *Hafen-* (123) und *Flughafengebiete* (124), *Abraumhalden und Deponien* (132), *urbane Grünflächen* (141), *Weideland* (231), *Laub-* (311) und *Mischwald* (313), *Heiden* (322), *Sümpfe* (411) und *Wasserflächen* (512). Dagegen war bei Regionen für die mineralische Rohstoffgewinnung bzw. *Tagebaue* (131), *Baustellen* (133), *nicht bewässertem Ackerland* (211) und *Wasserläufen* (511) sowie *Mündungsgebieten* (521) und *Meer* (523) der Verlust von Flächen bedeutend größer als der Gewinn. Die LC-Klassen mit den größten Totalveränderungen waren *Ackerland* (211), *Weiden* (231), die Waldklassen (311–313), die *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) und *Tagebaue* (131). Bei *Siedlungsflächen* (112), *Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen* (121–124), *Ackerland* (211) und *Wasserflächen* (512) war der überwiegende Teil der Flächenveränderung reale Nettoänderungen, also Zunahme bzw. Abnahme von Flächenanteilen in der Periode. Dagegen gingen die Veränderungen in den Klassen *Sport- und Freizeitanlagen* (142), *Obstanbauflächen* (222), landwirtschaftliche Flächen mit heterogener Struktur (242, 243), *Nadelwald* (312), *natürliches Grasland* (321), *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) und *Regionen mit spärlicher Vegetation* (333) vorwiegend auf Translokation bzw. Verlagerung von Flächenanteilen zurück.

1990 – 2000

Der Zeitraum 1990 bis 2000 wurde untersucht, um festzustellen, ob sich die Muster der Veränderungen der LC-Klassen geändert haben. Tabelle 5.12 auf der nächsten Seite zeigt die Flächenanteile der Landnutzungsklassen (CLC-Level 3) für die Periode 1990–2000.

Auch in der zweiten Periode (1990–2000) wies die Klassen *Ackerland* (211) den größten Flächenverlust in den Transekten auf, gefolgt von *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324), *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) sowie *Weiden* (231), *Abbaugelände* (131) und *Industriegebiete* (121). Wie bereits in der ersten Periode zeigte die LC-Klasse 231 ebenfalls im Zeitraum 1990–2000 den größten Flächengewinn. Weitere Klassen mit bedeutenden Gewinnen waren *Nadelwald* (312), *natürliches Grasland* (321) sowie *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324).

In der Dekade 1990–2000 konnte für *Siedlungsflächen* (112), *Hafen-* (123) und *Flughafengebiete* (124), *Weideland* (211), Wald (311–313), *natürliches Grasland* (321), *Sümpfe* (411), *Torfmoore* (412) und *Süßwasserflächen* (512) ein größerer Gewinn gegenüber dem Verlust von Flächen beobachtet werden. Abweichend zur Periode 1950–1990 nahmen die Flächenanteile der *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) stärker ab als zu. Außerdem war der Flächenverlust bei *Abbauflächen* (131), *nicht bewässertem Ackerland* (211), *Regionen mit spärlicher Vegetation* (333) und Meeresgewässern (521, 523) größer als der Gewinn. Die LC-Klassen mit den größten Totalveränderungen in der Dekade 1990 bis 2000 waren *Acker- und Weideland* (211, 231), *Nadelwald* (312), *natürliches Grasland* (321), die *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) und *Regionen mit spärlicher Vegetation* (333). Der überwiegende Teil der Flächenveränderung bei *Siedlungsflächen* (112), *Hafen-* (123) und *Flughafengebieten* (124), *Abbauflächen* (131), *Ackerland* (211), *Nadelwald* (312) und *natürliches Grasland* (321) war die Nettoveränderung. Dagegen waren die Klassen *Verkehrsnetze* (122), *Abraumhalden und Deponien* (132), *Baustellen* (133), künstliche, nicht landwirtschaftlich genutzte Grünflächen (141, 142), *Heiden* (322), *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) und *Wasserläufe*

5.1 Flächensummen und Anteile der LC-Klassen

Tabelle 5.12: Budgettabelle für alle neun Transekte im Zeitraum 1990–2000. Dargestellt sind die Flächenanteile (%) in CLC-Level 3 bezogen auf die Summe aller Testgebietsflächen.

LC	Verlust	Gewinn	Total	Netto	Verlagerung	Konstanz
112	0,07	0,48	0,56	0,41	0,14	8,31
121	0,69	0,27	0,96	0,42	0,54	1,82
122	0,06	0,09	0,15	0,04	0,11	0,52
123	0,01	0,12	0,13	0,11	0,03	0,12
124	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,26
131	0,78	0,05	0,84	0,73	0,10	0,24
132	0,12	0,06	0,19	0,06	0,12	0,14
133	0,06	0,10	0,16	0,03	0,13	0,00
141	0,04	0,04	0,08	0,00	0,08	0,46
142	0,06	0,03	0,09	0,03	0,06	0,36
211	3,19	0,30	3,49	2,89	0,60	22,69
222	0,02	0,02	0,05	0,00	0,04	0,35
231	0,91	2,79	3,71	1,88	1,83	6,89
242	0,03	0,03	0,05	0,00	0,05	0,73
243	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
311	0,09	0,33	0,42	0,24	0,18	12,07
312	0,18	1,27	1,44	1,09	0,35	19,02
313	0,18	0,56	0,73	0,38	0,36	6,71
321	0,11	1,10	1,20	0,99	0,21	0,48
322	0,16	0,16	0,31	0,00	0,31	0,13
324	1,65	1,02	2,67	0,64	2,03	1,09
331	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,16
332	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
333	1,57	0,76	2,32	0,81	1,51	1,42
411	0,04	0,15	0,18	0,11	0,07	0,18
412	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01
511	0,02	0,03	0,05	0,00	0,04	1,49
512	0,09	0,45	0,53	0,36	0,17	1,35
521	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,11
523	0,09	0,00	0,09	0,09	0,00	2,39
Testgebiet	10,24	10,24	10,24	5,69	4,55	89,76

(511) von Verlagerungen der Flächen dominiert.

Unterschiede zwischen den beiden betrachteten Perioden zeigten sich unter anderem für die Landnutzungsklassen *Industrie- und Gewerbegebiete* (121), *Verkehrsnetze* (122) und *Nadelwald* (312). Zwischen 1950 und 1990 stieg der Flächenanteil der Klassen netto an. In der Dekade 1990–2000 waren weitere Flächengewinne für die LC-Klassen 122 und 312 sowie Flächenverluste von *Industriegebieten* zu beobachten. Die Verlagerung von Flächen nahm zwischen 1990 und 2000 für die beiden bebauten LC-Klassen (121, 122) einen größeren Stellenwert als im Zeitraum 1950–

1990 ein. Dagegen wurde *Nadelwald* (312) vorwiegend in der Periode 1950–1990 verlagert, da Flächenverlust und -gewinn ähnlich waren. Der Flächenanteil von *Nadelwald* nahm im Zeitraum 1990–2000 zu, die Verlagerung trat jedoch in den Hintergrund.

5.1.3 Veränderungen der Landbedeckung in Abhängigkeit von der neuen bzw. ursprünglichen LC-Klasse

In den folgenden Tabellen (Tabelle 5.13 bis Tabelle 5.16) werden nur die LC-Klassen beschrieben, die bezogen auf die Summe der Testgebietsflächen einen Flächengewinn bzw. -verlust von mindestens 0,5 % (1950 bis 1990) bzw. 0,2 % (1990 bis 2000) aufweisen (Auswahl nach Tabelle 5.11 auf Seite 89 bzw. Tabelle 5.12 auf der vorherigen Seite). Diese Schwellenwerte wurden an die untere Grenze des 95 %-Konfidenzintervalls der mittleren Veränderung der jeweiligen Periode angelehnt. Jede Zelle einer Tabelle stellt den Flächenanteil einer ursprünglichen bzw. neuen Klasse bezogen auf den gesamten Gewinn bzw. Verlust einer Klasse dar. Flächenanteile, die größer als 10 % sind, werden in Tabellenfeldern mit grauem Hintergrund dargestellt. Leere Zellen in den Tabellen symbolisieren Varianten der LC-Veränderungen, die in den Testgebieten nicht auftraten.

Es ist zu beachten, dass in den Tabellen **keine** Aussage über die **absolute** Flächengröße der Veränderung (bzw. den Anteil bezogen auf das Testgebiet) gemacht wird. Diese Information kann jedoch aus Tabelle 5.11 auf Seite 89 und Tabelle 5.12 auf der vorherigen Seite des Kapitels 5.1.2 (Budgets der Kartenveränderung) entnommen werden.

Veränderungen in Abhängigkeit vom Gewinn einer Klasse

In der ersten Teilanalyse wurden die Flächenanteile bezogen auf den Gewinn der Landbedeckungsklassen, d. h. die neu entstandenen Flächen, berechnet. Folgende Frage kann mit der Untersuchung beantwortet werden:

Aus welchen ursprünglichen LC-Klassen i (Zeitpunkt t_0) entwickelten sich neue Flächen einer Klasse j (Zeitpunkt t_1)?

1950 – 1990

In Tabelle 5.13 auf der nächsten Seite sind die Ergebnisse aller Testgebiete für den Zeitraum 1950 bis 1990 beschrieben.

Zwischen 1950 und 1990 entwickelten sich *Siedlungen* (112), *Industrie- und Gewerbegebiete* (121), *Abbaugebiete* (131) und *Weideflächen* (231) vorrangig auf landwirtschaftlichen Flächen, wobei die Landbedeckungsklasse *nicht bewässertes Ackerland* (211) dominierte.

Neue *Ackerflächen* (211) bildeten sich vorwiegend auf *Abbaugebieten*, *Weiden* und *Flächen mit spärlicher Vegetation*.

Waldflächen (311, 312, 313) entstanden auf Flächen mit *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324), entwickelten sich aber auch aus anderen Waldklassen. Für *Laub-* (311) und *Nadelwald* (312) spielten *Acker-* und *Weideland* ebenfalls eine Rolle als ursprüngliche Landbedeckung. *Mischwald* (313)

5.1 Flächensummen und Anteile der LC-Klassen

Tabelle 5.13: Flächenanteile der Veränderungen (in %) von 1950 bis 1990 bezogen auf den Gewinn der LC-Klasse

		1990										
		112	121	131	211	231	311	312	313	324	333	512
1950	112		8,0	3,7	0,7	0,6	1,1	0,3	0,3	0,2		
	121	0,6		0,7		0,5	0,6	0,6	0,4	1,1	1,9	3,7
	122		0,1									
	131	0,5	8,0		38,2	1,6	1,9	6,3	42,3	15,1	9,2	27,1
	132	0,0	2,8							0,6		
	133	1,1	1,1		0,9	2,9				0,6		
	141	1,2	0,8	2,3	0,2	0,0						
	142	0,0	0,4	1,4				0,5	0,3	0,4	0,3	
	211	58,2	46,3	71,3		86,5	17,5	11,3	6,2	13,5	55,8	48,6
	222	0,9	2,5	0,4	1,9	0,6	0,3		0,0	0,4		
	231	14,3	13,8	4,2	33,1		13,7	7,9	3,5	6,3	10,9	8,8
	242	14,0	0,8	2,8	1,1	0,5	0,9	0,1	0,5	0,2		2,3
	243		0,6				0,8			0,1		
	311	2,7	0,7	5,4		1,3		6,5	8,6	3,7	0,1	0,1
	312	0,9	5,0	1,5	8,3	3,2	12,8		16,9	35,5	14,5	2,0
	313	1,1	2,5	0,3	0,1	0,3	17,2	13,7		5,9	2,1	
	321	0,6			0,7	0,2	2,3	2,4	0,1	1,4	0,4	
	322						0,7	0,4	0,2	0,5		
	324	3,3	4,1	3,1	1,0	0,6	27,8	46,5	10,7		3,1	5,8
	331		0,2	0,3	0,1		0,3	0,2		0,0	0,1	
	333	0,4	2,2		12,7	0,2	0,5	3,2	9,9	13,5		0,3
	411						0,1			0,3		0,8
	511	0,1	0,1	2,7	0,2	0,4	0,6			0,3	0,2	0,5
	512	0,1			0,9	0,5	0,9		0,0	0,4	1,5	
	521						0,0					
	523											
		Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

wurde dagegen vorwiegend auf ehemaligen *Abbauflächen* angepflanzt.

Die natürliche Sukzession auf *Abbaugeländen*, *Ackerflächen* und *Flächen mit spärlicher Vegetation* spiegelte sich in den Anteilen der neuen Flächen mit *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) wider. Mit der LC-Klasse 324 wurden aber auch Kahlschläge in ehemaligen Waldgebieten erfasst.

Neue *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) bildeten sich vor allem auf *Ackerland*, *Nadelwald* sowie *Weiden*.

Süßwasserflächen (512) entstanden vorwiegend auf *Ackerland* und *Abbaugeländen*.

Die Ergebnisse zeigten dieselbe Tendenz wie die Auswertung der Kartenbudgets. Im Untersu-

5 Ergebnisse und Diskussion

chungszeitraum 1950 bis 1990 stellte vor allem die Klasse *nicht bewässertes Ackerland* die Ausgangslandbedeckung für neue LC-Klassen im Jahr 1950 dar, gefolgt von *Weideland*, *Nadelwald* und *Abbaugebieten*. Bebaute Flächen entstanden vorwiegend aus landwirtschaftlichen Klassen, wohingegen die naturnahen Flächen sich vor allem aus Wäldern und semi-natürlichen Gebieten entwickelten.

1990–2000

In Tabelle 5.14 sind die Ergebnisse aller Testgebiete für den Zeitraum 1990–2000 beschrieben.

Tabelle 5.14: Flächenanteile der Veränderungen (in %) von 1990 bis 2000 bezogen auf den Gewinn der LC-Klasse

		2000										
		112	121	211	231	311	312	313	321	324	333	512
1990	112		7,0	2,0	0,6	0,5	0,2			0,4	1,2	
	121	3,4		1,3	6,9	3,7	0,0		5,3	6,2	31,7	
	122		0,8		0,1	0,4			0,2	0,5	5,5	
	123				0,3	0,9						
	124				0,2							
	131				0,3	1,7	1,6		7,3		42,1	78,3
	132			4,9	0,5	0,5	2,1	0,1	1,7		5,5	1,2
	133	0,8	16,3		0,4					0,4		
	141	1,2	8,0		0,1	0,5						
	142	0,0	3,1	0,9	0,6		1,1	1,1			0,8	
	211	68,7	48,8		85,0	0,5	0,2	0,9	2,2	5,5	4,9	4,7
	222	0,4		6,1						0,1		
	231	21,2	8,9	84,8		7,7	7,0	0,2	4,4	11,1		0,6
	242	2,2	1,0		0,4	0,4				0,2		
	311	0,9	0,6		0,5		0,2	0,2	2,0	1,8		3,4
	312	0,1	2,2			1,0		16,0	0,3	4,4	0,3	1,9
	313		0,4	0,1	0,2	9,7	5,3		1,4	2,3	3,6	
	321	0,8				0,9	3,0	0,5		5,0	0,8	
	322					14,8	0,3			10,2		
	324	0,4	3,0		0,9	53,0	73,7	75,9	0,6		1,7	
	331						0,7					
	333				2,3		4,2	4,9	73,2	51,4		8,5
	411				0,1				0,5			0,3
	412											1,1
	511				0,4					0,4		
	512				0,2	2,7		0,3	1,0		2,0	
521					1,1	0,4						
523												
	Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Auch für den Zeitraum 1990–2000 entwickelten sich *Siedlungsflächen* (112), *Industriegebiete* (121) und *Weideflächen* (231) auf landwirtschaftlichen Flächen, vorrangig auf *Ackerland* (211).

Neue Flächen *nicht bewässerten Ackerlandes* entstanden wie in der ersten Untersuchungsperiode vor allem auf *Weiden*.

Waldflächen (311, 312, 313) entstanden größtenteils auf Flächen mit *Strauch-Wald-Übergangsstadium* bzw. Kahlschlägen (324). Der Wandel zwischen verschiedenen Waldklassen spielte in der Dekade 1990–2000 eine geringere Rolle als zwischen 1950 und 1990.

Natürliches Grasland (321) sowie Flächen mit *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) entwickelten sich vorwiegend auf *Flächen mit spärlicher Vegetation*. Kahlschläge (Klasse 324 auf ehemaligen Waldflächen) traten im Untersuchungszeitraum 1990–2000 nur selten auf.

Flächen mit spärlicher Vegetation (333) bildeten sich als Folge der natürlichen Sukzession vorrangig auf *Abbauflächen* und ehemaligen *Industriegebieten*.

Neue *Süßwasserflächen* (512) entstanden insbesondere im Rahmen der Renaturierung auf ehemaligen *Abbauflächen*, z. B. im Tagebau Bitterfeld (DE07).

Während für die neuen bebauten Flächen auch im Untersuchungszeitraum 1990–2000 die landwirtschaftlichen Flächen die häufigsten ursprüngliche Landbedeckung darstellte, entstanden die meisten Wälder und naturnahe Flächen aus anderen semi-natürlichen Landbedeckungen. Auffällig waren die LC-Klassen *Flächen mit spärlicher Vegetation* und *Süßwasserflächen*, deren Flächengewinn mit der Renaturierung von *Tagebauflächen* bzw. der Stilllegung von *Industriegebieten* einhergingen.

Veränderungen in Abhängigkeit vom Verlust einer Klasse

In der zweiten Teilanalyse wurden die Flächenanteile bezogen auf den Verlust der Landbedeckungsklassen, d. h. die instabilen Flächen, berechnet. Folgende Frage kann mit der Untersuchung beantwortet werden:

In welche neuen LC-Klassen j (Zeitpunkt t_1) entwickelten sich ursprüngliche Flächen einer Klasse i (Zeitpunkt t_0)?

1950–1990

In Tabelle 5.15 auf Seite 97 sind die Ergebnisse aller Testgebiete für den Zeitraum 1950–1990 beschrieben.

Auch in dieser Analyse spiegelte sich deutlich die Renaturierung der *Abbauflächen* (131) wider, da sich bedeutende Anteile der zwischen 1950 und 1990 verschwundenen *Abbauflächen* zu *Mischwald*, *Strauch-Wald-Übergangsstadium* bzw. *Ackerland* änderten.

Der überwiegende Anteil der Verluste von *Ackerflächen* (211) war auf neues *Weideland* zurückzuführen. Die meisten Verluste von *Weideflächen* gingen auf *Ackerland*, Waldflächen (311, 312) und *Siedlungsflächen* (112) zurück. Der Flächenanteil von *Weiden* auf ehemaligen *Ackerflächen* sowie von *Acker* auf ursprünglichen *Weiden* beschreibt die alternierende Abfolge von intensiver

und extensiver Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen.

Der Verlust von Flächen der Waldklassen (311, 312, 313) beruhte vor allem auf der Änderung in andere Waldtypen und Kahlschläge (324).

Insgesamt über 88 % des Verlustes der Klasse *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) ging auf die Entwicklung zu Wald zurück.

Zwischen 1950 und 1990 veränderten sich die ursprünglich mit *spärlicher Vegetation* (333) bedeckten Flächen vor allem in naturnahe Flächen (*Misch- und Nadelwald, Strauch-Wald-Übergangsstadium*) gefolgt von *Ackerland*.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse der ausgewählten LC-Klassen für die Periode 1950–1990 eine deutliche Affinität zur Entwicklung zu naturnahen Flächen. Nur die beiden landwirtschaftlichen Klassen 211 und 231 wichen von dieser Tendenz ab.

1990–2000

In Tabelle 5.16 auf Seite 98 sind die Ergebnisse aller Testgebiete für den Zeitraum 1990–2000 beschrieben.

Ein großer Teil des Flächenverlusts der *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) im Jahr 2000 ging auf neue *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) und *Weiden* (231) zurück. Diese Flächen stellten Industriebrachen dar, die nach der politischen Wende 1990 in den Transekten entstanden.

Der Großteil der *Abbauflächen* (131), die im Jahr 2000 verschwanden, veränderten sich im Rahmen der anhaltenden Renaturierung des Tagebaus Bitterfeld in *Wasserflächen* (512), *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) und *natürliches Grasland* (321).

Ackerflächen (211) veränderten sich wie in der ersten Periode vor allem in *Weideland* und *Siedlungsflächen*.

Der Flächenverlust von *Weideland* (231) war vorrangig auf neue *Ackerflächen* zurückzuführen, gefolgt von *Siedlungsflächen* (112), *Heiden* (322) und *Strauch-Wald-Übergangsflächen* (324).

Wie in der ersten Periode veränderte sich auch im Zeitraum 1990–2000 der Großteil der verschwundenen *Strauch-Wald-Übergangsflächen* zu Wald (311, 312, 313).

Die *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) unterlagen vorwiegend der natürlichen Sukzession, bei Entwicklung von *natürlichem Grasland* (321) bzw. *Strauch-Wald-Übergangsstadien*.

Mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Flächen und der *Industriegebiete* entwickelten sich in der Periode 1990–2000 die ausgewählten LC-Klassen hauptsächlich zu naturnahen Flächen.

5.1 Flächensummen und Anteile der LC-Klassen

Tabelle 5.15: Flächenanteile der Veränderungen (in %) von 1950 bis 1990 bezogen auf den Verlust der LC-Klasse

		1950							
		131	211	231	311	312	313	324	333
1990	112	0,3	9,7	10,9	4,7	0,5	1,5	1,8	0,6
	121	2,9	5,7	7,8	0,8	2,3	2,6	1,6	2,6
	122	1,3	0,6	0,6	0,9	0,0	0,4	0,0	0,2
	123		0,9		0,3			0,0	
	124			1,1					
	131		6,9	1,9	5,5	0,5	0,3	1,0	
	132	2,4	0,1	0,1	0,3	4,1	1,9	0,6	
	133		0,4	0,4					
	141		1,4	2,2	0,9		0,2	0,2	
	142		0,8	1,1	0,2	0,5		0,3	0,4
	211	11,5		15,7		3,2	0,1	0,3	12,2
	222		1,3	0,2	1,1		0,2		
	231	2,3	41,1		6,6	5,5	1,4	1,0	1,0
	242		2,4	1,2	1,3		0,1	0,3	2,0
	243		0,4	0,0					
	311	1,2	3,9	14,0		10,5	32,2	20,2	1,0
	312	6,8	4,2	13,3	24,9		42,2	55,3	10,9
	313	47,0	2,4	6,2	34,3	23,7		13,3	35,0
	321	1,3	1,1	0,3	1,6	3,5	1,3	0,5	0,5
	322		0,0	3,8	6,5	2,1			
	324	11,6	3,6	7,6	10,2	34,3	13,1		33,0
	331		0,1			0,7			
	332								
	333	3,9	8,1	7,2	0,1	7,7	2,6	1,5	
	411	0,2	0,3	0,2		0,1		0,3	
	412		0,1						
	511		0,1	0,4					0,3
	512	7,4	4,6	3,8	0,1	0,7		1,8	0,3
521									
523									
Summe		100	100	100	100	100	100	100	

Tabelle 5.16: Flächenanteile der Veränderungen (in %) von 1990 bis 2000 bezogen auf den Verlust der LC-Klasse

		1990					
		121	131	211	231	324	333
2000	112	2,4		10,4	11,2	0,1	
	121			4,1	2,6	0,5	
	122	2,2		1,4	1,4	0,1	
	123			0,5	0,9		0,1
	124	0,7			2,0		
	131			1,5			
	132	5,1		0,5		0,3	
	133	2,7		0,8	3,7	0,6	
	141	4,3		0,1	0,9		
	142	0,3		0,4	0,9		0,1
	211	0,6			27,7		
	222			0,4	0,4		
	231	27,9	1,2	74,5		1,6	4,1
	242			0,4	0,3	0,3	
	243						
	311	1,8	0,7	0,0	2,8	10,7	
	312	0,0	2,5	0,1	9,7	56,5	3,4
	313			0,1	0,1	25,6	1,8
	321	8,4	10,2	0,7	5,3	0,4	51,2
	322				11,1		3,5
	324	9,1		1,8	12,3		33,3
	331						0,1
	332						
	333	34,6	40,6	1,2		0,8	
	411			0,1	4,1	2,7	
	412			0,2	2,1		
	511						
	512		44,7	0,7	0,3		2,4
521							
523							
Summe		100	100	100	100	100	100

5.1.4 Veränderung der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitraum

In diesem Kapitel werden die Veränderungsdaten zwischen den Perioden 1950–1990, 1990–2000 und 1950–2000 verglichen. Die Tabellen 5.17, 5.18 und 5.19 auf der nächsten Seite zeigen die Summe der veränderten Flächen in km² und den prozentualen Flächenanteil an der gesamten Transektfläche für alle Testgebiete, Interpretationslevel und Untersuchungszeiträume.

Die Raten der Veränderungen der Landbedeckung in der Periode 1990–2000 waren, unabhängig vom Klassifikationslevel (CLC-Level 1 bis 3), in allen untersuchten Transekten geringer als im Zeitraum 1950 bis 1990 (Tabellen 5.17, 5.18 und 5.19 auf der nächsten Seite). Die Landbedeckungsänderungen in den Transekten zwischen 1950 und 1990 waren durch den Wiederaufbau in den Nachkriegsjahren, die großflächige genossenschaftliche Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen (LPGs) aber auch Reparationsleistungen (z. B. Kahlschläge in der Forstwirtschaft) gekennzeichnet. Wenn man jedoch berücksichtigt, dass die erste Zeitperiode (1950–1990) viermal so lang wie der zweite Untersuchungszeitraum (1990–2000) war, unterscheiden sich die Veränderungen pro Zeiteinheit weitaus weniger. Zum Beispiel waren die nach CLC-Level-3-Nomenklatur bestimmten Gesamtveränderungen des Transekts DE05 in der Dekade 1990 bis 2000 (7,0 %) bedeutend größer als ein Viertel der Veränderungen im Zeitraum 1950–1990 (17,5 %) (Tabelle 36).

Die Gesamtfläche der Landnutzungsänderungen in der Periode 1950–2000 waren nicht gleich der Summe der Veränderungen für die Zeiträume 1950–1990 und 1990–2000. Einige Veränderungen ließen sich in der Periode 1950–2000 nicht mehr erkennen, da sich Landbedeckungsklassen nach der ersten Periode (1950–1990) wieder in ihrer ursprünglichen LC-Klasse zurück änderten, z. B. Nadelwald-Kahlschlag-Nadelwald (312 ⇒ 324 ⇒ 312). So kann sich die Landschaft mehrmals verändern, einmal von der originalen Klasse in 1950 zu einem neuen Landbedeckungstyp (1990) und wieder zurück in die ursprüngliche LC-Klasse im Jahr 2000.

Da die Inventur von Landbedeckungen anhand von historischen Fernerkundungsdaten den Zustand der Landschaft zum jeweilig betrachteten Zeitpunkt widerspiegelt, können die Veränderungsergebnisse nicht einfach interpoliert werden, um z. B. Informationen zur Landschaftskomposition im Jahr 1975 zu erhalten. Auch die Bildung von Szenarien für eine Extrapolation durch die einfache lineare Fortführung der Veränderungen über einen längeren Zeitraum hinaus muss kritisch hinterfragt werden.

Tabelle 5.17: Gesamtveränderungen der Landbedeckung in den Transekten auf Grundlage von Interpretationen nach CLC-Level 3. Die Veränderungen sind in km² bzw. als relativer Anteil an der Gesamtfläche des Transekts dargestellt.

Transekt	1950 – 1990		1990 – 2000		1950 – 2000	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
DE01	8,1	24,3	2,7	8,0	8,0	24,1
DE02	3,9	11,9	2,2	6,8	5,4	16,2
DE03	7,0	21,2	1,7	5,2	6,6	19,9
DE04	3,8	11,4	1,3	3,8	4,0	12,2
DE05	5,8	17,5	2,3	7,0	7,0	21,2
DE06	8,8	26,6	3,6	11,0	10,6	32,0
DE07	24,1	72,7	9,6	29,1	24,9	75,3
DE08	7,0	21,1	2,5	7,5	8,5	25,6
DE09	9,4	28,3	4,6	13,8	12,0	36,3

Tabelle 5.18: Gesamtveränderungen der Landbedeckung in den Transekten auf Grundlage von Interpretationen nach CLC-Level 2. Die Veränderungen sind in km² bzw. als relativer Anteil an der Gesamtfläche des Transekts dargestellt.

Transekt	1950 – 1990		1990 – 2000		1950 – 2000	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
DE01	7,6	22,9	2,6	7,9	7,4	22,3
DE02	3,4	10,4	2,2	6,7	4,9	14,7
DE03	5,2	15,7	1,4	4,2	4,7	14,3
DE04	3,3	9,9	1,2	3,7	3,5	10,6
DE05	5,3	15,9	2,3	6,9	6,5	19,5
DE06	8,3	25,2	3,6	11,0	10,1	30,4
DE07	23,1	69,6	9,4	28,4	23,8	72,0
DE08	5,3	16,2	2,3	7,0	6,8	20,7
DE09	8,9	27,0	4,3	12,9	11,5	34,8

Tabelle 5.19: Gesamtveränderungen der Landbedeckung in den Transekten auf Grundlage von Interpretationen nach CLC-Level 1. Die Veränderungen sind in km² bzw. als relativer Anteil an der Gesamtfläche des Transekts dargestellt.

Transekt	1950 – 1990		1990 – 2000		1950 – 2000	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
DE01	3,1	9,2	1,2	3,5	3,6	10,8
DE02	1,6	5,0	1,1	3,5	2,6	7,9
DE03	2,5	7,5	0,4	1,2	2,5	7,6
DE04	1,1	3,5	0,6	1,7	1,5	4,6
DE05	2,5	7,6	0,7	2,0	3,1	9,3
DE06	2,8	8,4	0,8	2,4	3,3	10,0
DE07	19,0	57,4	4,6	14,0	20,2	60,9
DE08	3,1	9,5	1,4	4,3	4,0	12,1
DE09	2,4	7,3	0,2	0,6	2,5	7,6

5.1.5 Veränderung der Landbedeckung in Abhängigkeit vom Interpretationslevel

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Auswertung des Einflusses der Aggregation von thematischen Landbedeckungsklassen zur Simulation von unterschiedlichen Interpretationsmaßstäben. Dafür werden die Interpretationsergebnisse auf Basis der drei Level der CLC-Nomenklatur gegenübergestellt und die Flächenanteile der Veränderungen zwischen den Transekten verglichen. Die Nomenklatur des CORINE-Projekts Land Cover ist in drei hierarchische Ebenen bzw. Level unterteilt (siehe auch HEYMANN ET AL., 1994; FERANEC ET AL., 2003, 2004). In Tabelle A.1 auf Seite 193 (Anhang A) sind die drei Ebenen gegenübergestellt. Die erste Ebene (Level 1) beschreibt mit Hilfe von fünf Klassen die wichtigsten Bodenbedeckungstypen der Erde. In der zweiten Ebene (Level 2) befinden sich 15 Klassen, die die Landschaft detaillierter als Level 1 beschreiben. Sie können zu den fünf Klassen der ersten Ebene zusammengefasst werden. Level 3 umfasst maximal 44 Klassen der Landbedeckung bzw. Landnutzung und stellt den höchsten Detailgrad der Klassifizierungseinheiten in der vorliegenden Untersuchung dar. Die Tabellen 5.17, 5.18 und 5.19 auf der vorherigen Seite im Kapitel 5.1.4 beschreiben die veränderte Flächensumme in km² und den prozentualen Flächenanteil an der Transektfläche für alle Testgebiete, Interpretationslevel und Perioden.

Gesamtveränderungen in den Transekten je CLC-Level

Die Tabelle 5.17 auf der vorherigen Seite zeigt die Variation der Gesamtveränderungen zwischen den Testgebieten in CLC-Level 3. So reichte der Flächenanteil der Landschaft, die sich von 1950 bis 1990 änderte, von 11,4 % im Transekt DE04 bis zu 72,7 % im Testgebiet DE07. In der Dekade 1990–2000 betrug der minimale bzw. maximale Flächenanteil der veränderten Landbedeckung 3,8 % bzw. 29,1 % in denselben Transekten. Auch zwischen 1950 und 2000 waren die geringsten Veränderungen im Transekt DE04 mit 12,2 % und die größten Flächenveränderungen in DE07 mit 75,3 % zu finden.

In Tabelle 5.18 auf der vorherigen Seite sind die Gesamtveränderungen nach CLC-Level 2 zusammengefasst. Aufgrund der Aggregation der 44 Landbedeckungsklassen in CLC-Level 3 zu 16 Klassen in CLC-Level 2 sind die Flächenanteile der veränderten Landnutzung kleiner. Der Flächenanteil der Landschaft, die sich von 1950 bis 1990 änderte, reichte daher von 9,9 % im Transekt DE04 bis zu 69,6 % im Testgebiet DE07. In der Dekade 1990–2000 reichte die Spanne von 3,7 % bis 28,4 % und im Zeitraum 1950–2000 von 10,6 % bis 72,0 % in denselben Transekten.

Eine Zusammenfassung der gesamten Veränderungen der Flächenanteile der Landbedeckung nach CLC-Level 1 ist in Tabelle 5.19 auf der vorherigen Seite dargestellt. Der Flächenanteil der Landschaft, die sich von 1950 bis 1990 änderte, reichte von 3,3 % bis zu 57,4 %, wobei die Testgebiete mit dem minimalen bzw. maximalen Flächenanteil der Veränderung dieselben wie bei Interpretationslevel 2 und 3 sind; die Transekte DE04 bzw. DE07. In der Dekade 1990–2000 reichte die Spanne von 0,6 % im Testgebiet DE09 bis 14,0 % im Transekt DE07. Der veränderte Flächenanteil der Transekte in der Periode 1950–2000 lag zwischen 4,6 % in DE04 und 60,9 % in DE07.

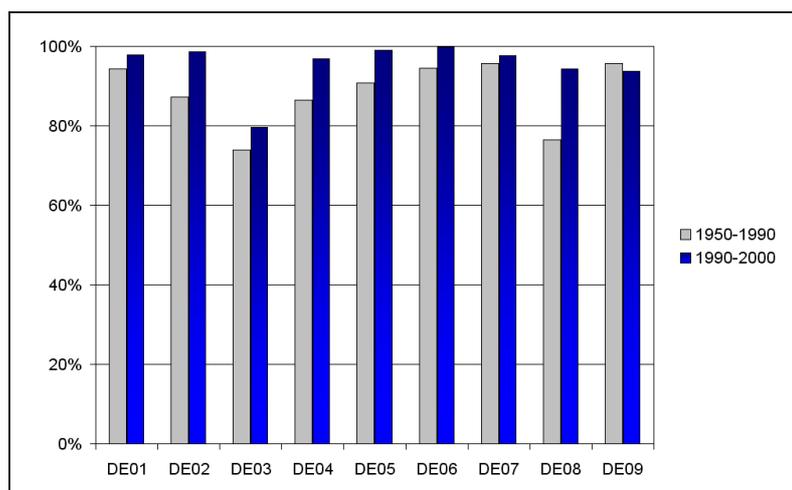


Abbildung 5.11: Quotienten aus den beobachteten Veränderungen in CLC-Level 2 und Level 3

Einfluss der Aggregation auf die Veränderungsrate

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben wurde, führte die Aggregation von Landbedeckungsklassen zu geringeren Flächenanteilen der Veränderung. In diesem Absatz wurden die Veränderungen in Level 3 mit der Fläche in Level 2 bzw. 1 verglichen und ein Parameter berechnet, der den Erfassungsanteil bezogen auf die Veränderungsfläche in Level 3 beschreibt. Wenn z. B. die veränderte Fläche $8,1 \text{ km}^2$ in Level 3 und $7,6 \text{ km}^2$ in Level 2 beträgt (DE01, 1950–1990), dann berechnet sich der prozentuale Erfassungsanteil als Quotient aus Level 2 und Level 3 und beträgt 94 %. Der Erfassungsanteil beschreibt, welcher Flächenanteil der Veränderung bezogen auf Level 3 noch beobachtet werden kann, wenn anstatt der Level-3-Nomenklatur die aggregierten thematischen Klassen von Level 2 (15 Klassen) bzw. 1 (5 Klassen) für die Interpretation genutzt werden.

In Abbildung 5.11 sind die Level-2-/Level-3-Quotienten dargestellt. Mit Ausnahme von Transekt DE09 lagen die Quotienten in der Periode 1990–2000 höher als in den Periode 1950–1990. Trotz der rapiden Verringerung der Anzahl der beobachteten Klassen in den Testgebieten von 29 (Level 3) auf 14 (Level 2) blieben die entsprechenden Flächenanteile der Veränderungen in den einzelnen Testgebieten und Perioden vergleichsweise ähnlich. So sank zwar die Klassenanzahl in Level 2 auf 48 % verglichen mit der Klassenanzahl in Level 3, trotzdem wurden noch zwischen 73,9 % im Testgebiet DE03 (1950–1990) und 99,9 % in DE06 (1990–2000) der in Level 3 klassifizierten Veränderungen durch die Interpretation in Level 2 erfasst (durchschnittlich 92,1 %).

Die weitere Aggregation der CLC-Nomenklatur zu fünf Landbedeckungsklassen in Level 1 führte jedoch zu erheblich deutlicheren Unterschieden, die in Abbildung 5.12 auf der nächsten Seite veranschaulicht sind.

Die Klassenanzahl in Level 1 sank auf 17 % verglichen mit der Anzahl in Level 3. Bei der Interpretation auf Grundlage von CLC-Level 1 konnten durchschnittlich nur noch 45,3 % der in Level 3 beobachteten Flächenveränderungen nachgewiesen werden. Der minimale Level-1-/Level-3-Quotient lag bei 4,0 % im Transekt DE09 (1990–2000), der maximale bei 78,9 % in DE07

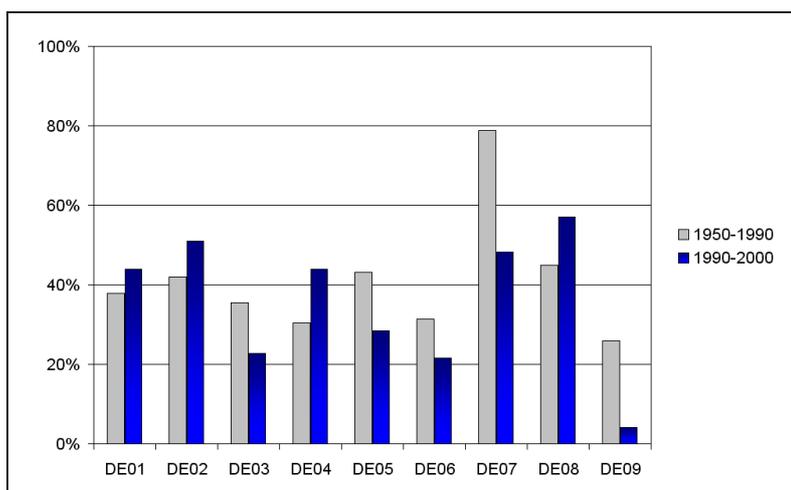


Abbildung 5.12: Quotienten aus den beobachteten Veränderungen in CLC-Level 1 und Level 3

(1950–1990) (Abbildung 5.12). Die Erfassungsanteile zeigten zwischen den Transekten größere Schwankungen als beim Vergleich von Level 2 und Level 3. Auch war kein mit dem Level-2-/Level-3-Verhältnis vergleichbarer genereller Anstieg des Quotienten im Zeitraum 1990–2000 zu beobachten. In den Transekten DE03, DE05, DE06, DE07 und DE09 war der Quotient in 1990–2000 teilweise deutlich niedriger als in 1950–1990.

Zusammenfassung

Aus den Level-2-/Level-3-Quotienten bzw. Level-1-/Level-3-Quotienten kann geschlossen werden, dass der größte Teil der Veränderungen zwischen Landbedeckungstypen stattfand, die nicht in derselben Level-2-Klasse zusammengefasst werden konnten. Zum Beispiel traten von 1990 bis 2000 Veränderungen zwischen *Nadel-* (312) und *Mischwald* (313) weniger häufig auf, als zwischen Wald (31) und Flächen mit Strauch- und Krautvegetation (32) (siehe Kapitel 5.1.3).

Eine Aggregation von thematischen Klassen kann den Anteil der Gesamtveränderung in einem Testgebiet nicht erhöhen (PONTIUS JR. und MALIZIA, 2004). Jedoch kann das Zusammenfassen von detaillierten Landbedeckungsklassen einige Vorteile bei gleichzeitig nur geringem Informationsverlust bringen. Dazu zählen Zeitersparnis bei der Interpretation durch eine kleinere Klassenanzahl und möglicherweise eine größere Genauigkeit der resultierenden thematischen Karten. Jedoch beschreiben einige Untersuchungen, dass der Klassifizierungsfehler einen weit geringeren Einfluss auf den gesamten thematischen Fehler als der Lokalisierungsfehler hat (CARMEL ET AL., 2001). Bei stark fragmentierten Landschaften muss dem Klassifizierungsfehler jedoch größere Beachtung geschenkt werden (CARMEL, 2004, 2005). Wenn man Veränderungen analysieren möchte, hat somit die Aggregation der Landbedeckungsklassen nur bis zu einer bestimmten minimalen Klassenanzahl eine Berechtigung. Zu starke Zusammenfassungen, wie z. B. CLC-Level 1, gehen mit einem möglicherweise inakzeptablen Informationsverlust einher. Unterschiedliche minimale Kartiereinheiten und somit verschiedene Interpretationsmaßstäbe führen zu unterschiedlichen Interpretationsergebnissen von Fernerkundungsdaten (GALLEGO, 2004) und wirken daher auch auf die

Veränderungsanalysen ein. Der Einfluss dieser Faktoren wurde in dieser Arbeit nicht untersucht. Für weitere diesbezügliche Untersuchungen wird z. B. auf GRIFFITH ET AL. (2000) verwiesen.

5.2 Landschaftsstruktur

5.2.1 Landschaftsstrukturmaße

Die Ergebnisse aller Landschaftsstrukturmaße (LSM) aus Tabelle 4.6 auf Seite 41 sind für die Zeitpunkte 1950, 1990 und 2000 im Anhang D dargestellt (Tabellen D114 bis D120). Ebenso sind im Anhang D die Korrelationskoeffizienten und die Signifikanz für die Landschaftsebene (Tabellen D3 bis D5) bzw. Klassenebene (Tabellen D6 bis D8) abgebildet. In diesem Kapitel wird nur auf die Ergebnisse jener LSM näher eingegangen, die anhand der Korrelationsanalysen ausgewählt wurden.

Landschaftsebene

Die Rangkorrelationsanalyse führte zur Reduktion der Anzahl der Landschaftsstrukturmaße von 21 auf 11 (Tabelle 5.20 auf der nächsten Seite). Die Gesamtfläche (TA) der Transekte betrug jeweils etwa $33,1 \text{ km}^2$ und änderte sich im Zeitverlauf nicht. Dieser Index wird daher in der Tabelle nicht aufgeführt. In Tabelle 5.20 auf der nächsten Seite sind die anhand der Korrelationsanalyse ausgewählten Strukturmaße für die einzelnen Testgebiete und Zeitpunkte dargestellt.

Die Anzahl der Patches (NP) streute von 133 im Transekt DE04 (1950) bis zu 353 in DE03 (2000). Abgesehen vom Testgebiet DE09 stieg der Parameter NP in den Transekten von 1950 bis 1990 bzw. 2000 deutlich. Für die Transekte DE01, DE03 und DE07 fallen die höchsten Werte im Jahr 1990 auf. Der Index NP zeigt Veränderungen wie z. B. Zerteilungen von Landschaftselementen deutlich, bezieht sich dabei aber nicht auf tatsächliche Flächenanteile.

Die Anzahl der Landbedeckungsklassen (PR) rangierte zwischen 14 im Transekt DE09 (1950, 2000) und 25 in DE08 (1990). Zwischen 1950 und 2000 war kein genereller Trend für alle Testgebiete erkennbar. In einigen Transekten, z. B. DE02, DE03, DE04 und DE05, nahm PR zu. In anderen konnte keine eindeutige Tendenz beobachtet werden, z. B. DE01, DE08 und DE09. In DE07 wurde dagegen eine Abnahme der Klassenanzahl festgestellt. Auch wenn der Verlust einer LC-Klasse aus ökologischer Sicht gravierend sein kann, so ist der Index PR allein nicht geeignet, Veränderungen der Landbedeckung eindeutig abzubilden.

Die durchschnittliche Patchgröße (MPS) berechnet sich aus der konstanten Gesamtfläche (TA) durch die Anzahl der Patches (NP). Demzufolge gelten für MPS bzgl. der Tendenzen im Zeitverlauf gegensätzliche Aussagen im Vergleich zu NP. Der niedrigste Wert von MPS von $0,094 \text{ km}^2$ trat in DE03 (1990) auf. Den höchsten Wert von $0,249 \text{ km}^2$ erreichte MPS im Testgebiet DE04 (1950). Eine abnehmende mittlere Patchgröße kann für eine stärkere Fragmentierung der Landschaft sprechen (WALZ und BERGER, 2004).

Der GröÙte-Patch-Index (LPI) beschreibt den Anteil des größten Patches an der Gesamtfläche

Tabelle 5.20: Ausgewählte Landschaftsstrukturmaße auf Testgebietsebene

Transekt	Jahr	NP	PR	MPS (km ²)	LPI	MPAR	DI	MSI	AWMSI	SHEI	IJI
DE01	1950	166	16	0,199	0,318	0,033	0,916	1,741	3,738	0,670	0,680
	1990	234	17	0,141	0,298	0,035	0,848	1,697	3,382	0,701	0,683
	2000	213	16	0,155	0,328	0,036	0,830	1,708	3,161	0,701	0,701
DE02	1950	227	18	0,146	0,211	0,038	0,896	1,875	3,104	0,690	0,714
	1990	274	18	0,121	0,210	0,040	0,828	1,824	3,079	0,714	0,712
	2000	314	20	0,105	0,212	0,041	0,854	1,791	3,115	0,715	0,700
DE03	1950	280	17	0,118	0,139	0,037	0,854	1,832	2,555	0,699	0,704
	1990	353	19	0,094	0,128	0,040	0,820	1,801	2,571	0,721	0,704
	2000	340	19	0,097	0,124	0,041	0,862	1,820	2,613	0,707	0,696
DE04	1950	133	16	0,249	0,371	0,035	1,505	1,788	3,030	0,457	0,600
	1990	182	18	0,182	0,356	0,037	1,482	1,720	2,819	0,487	0,632
	2000	186	18	0,178	0,342	0,037	1,456	1,728	2,868	0,496	0,627
DE05	1950	177	17	0,187	0,161	0,034	1,233	1,864	2,699	0,565	0,618
	1990	225	18	0,147	0,083	0,037	1,170	1,816	2,701	0,595	0,617
	2000	230	20	0,144	0,082	0,038	1,256	1,837	2,703	0,581	0,576
DE06	1950	159	19	0,208	0,199	0,034	0,983	1,746	2,748	0,666	0,633
	1990	202	17	0,164	0,158	0,034	0,603	1,801	2,328	0,787	0,709
	2000	220	21	0,151	0,080	0,035	0,713	1,809	2,403	0,766	0,660
DE07	1950	175	22	0,189	0,186	0,034	1,138	1,789	2,237	0,632	0,696
	1990	252	20	0,131	0,078	0,035	0,540	1,851	2,092	0,820	0,760
	2000	242	19	0,137	0,108	0,033	0,580	1,834	2,208	0,803	0,774
DE08	1950	135	22	0,245	0,283	0,036	1,149	1,735	3,095	0,628	0,647
	1990	191	25	0,173	0,257	0,036	0,994	1,785	3,045	0,691	0,682
	2000	197	24	0,168	0,257	0,037	0,928	1,774	3,072	0,708	0,684
DE09	1950	239	14	0,139	0,255	0,039	1,059	1,614	3,931	0,599	0,596
	1990	148	16	0,224	0,295	0,036	1,291	1,696	2,924	0,534	0,648
	2000	134	14	0,247	0,303	0,036	1,313	1,720	2,884	0,503	0,632

des Testgebiets und ist damit ein einfaches Dominanzmaß. LPI wies Werte zwischen 0,078 in DE07 (1990) und 0,371 in DE04 (1950) auf. LPI sank von 1950 bis 2000 in den Testgebieten DE03 bis DE08. In DE09 stieg der LPI im Zeitverlauf an. In den Transekten DE01 und DE02 war kein eindeutiger Trend zu beobachten.

Der durchschnittliche Umfang-Flächen-Ratio (MPAR) beschreibt die mittlere Form aller Patches in der Landschaft und lag zwischen 0,033 und 0,041. Es konnten keine Veränderungen des LSM in Bezug auf den Untersuchungszeitpunkt festgestellt werden. Möglicherweise ist die Maßstabsabhängigkeit des Parameters für das indifferente Ergebnis verantwortlich.

Der Dominanz-Index (DI) wurde in O'NEILL ET AL. (1988) vorgestellt und beschreibt die Dominanz der Landschaft durch wenige LC-Klassen (0...viele Klassen mit gleichmäßigem Flächenanteilen – Anstieg bei wenigen Klassen). Er lag zwischen 0,540 in DE07 (1990) und 1,505 in DE04 (1950). DI sank von 1950 bis 2000 in den Testgebieten DE01, DE04, DE06, DE07 und DE08. In DE09 stieg der Dominanz-Index. In DE02, DE03 und DE05 gab es keine eindeutigen Veränderungen des DI von 1950 bis 2000. In einigen Testgebieten (DE02, DE03, DE05, DE06, DE07) wies der DI in 1990 die geringsten Werte im internen Vergleich der Zeitpunkte auf.

Der durchschnittliche Form-Index (MSI) beschreibt die mittlere Form der Patches im Bezug zum Kreis. Niedrige Werte nahe 1 symbolisieren einfache, kompakte Formen, wohingegen komplexe Patchformen durch höhere Indizes angezeigt werden. In den Untersuchungsgebieten lag der MSI zwischen 1,614 in DE09 (1950) bis 1,875 in DE02 (1950). Es waren keine allgemeingültigen Tendenzen im Zeitverlauf für die einzelnen Transekte erkennbar. Regelmäßige Flächenformen weisen auf intensive anthropogene Landnutzung hin, wohingegen unregelmäßige Formen auf naturnähere Landbedeckungen schließen lassen (WALZ und BERGER, 2004).

Der flächengewichtete durchschnittliche Form-Index (AWMSI) lag zwischen 2,092 in DE07 (1990) und 3,931 in DE09 (1950). Interessanterweise lagen der höchste Wert für AWMSI und der niedrigste Wert von MSI im selben Transekt DE09 (1950). Der Vergleich dieser beiden Indizes weist auf das Auftreten von vielen kleinen Patches mit relativ regelmäßiger Form und wenigen großen Polygonen mit komplexer Form in DE09 (1950) hin. Die Tendenzen der beiden Maße waren in DE09 gegenläufig, was den Verlust von kleinen kompakten Patches und gleichzeitig ein Trend zu regelmäßigeren großen Polygonen beschreibt. Dieser Prozess kann mit der Abnahme von Kahlschlagsflächen in den Wäldern in Verbindung gebracht werden. In DE01 und DE09 sanken die Werte für AWMSI von 1950 bis 2000. AWMSI stieg im Testgebiet DE03 leicht mit dem Zeitverlauf. In allen anderen Transekten ist kein eindeutiger Trend erkennbar.

Als Maß der Gleichverteilung der Flächenanteile von Klassen innerhalb einer Landschaft gibt der Gleichmäßigkeits-Index nach Shannon (SHEI) an, wie viel Prozent der maximalen Diversität erreicht werden (WALZ und BERGER, 2004). Der Index charakterisiert die Vielfalt der Flächen und kann Werte zwischen 0 (Landschaft besteht aus einem Patch) und 1 (alle Flächenanteile der Klassen sind gleichmäßig verteilt) annehmen. Das Strukturmaß lag zwischen 0,457 in DE04 (1950) und 0,820 in DE07 (1990). SHEI stieg im Zeitverlauf in DE04 sowie DE08 an. In DE03, DE06 und DE07 lagen die jeweils höchsten Werte im Jahr 1990. In DE09 nahm SHEI von 1950 bis 2000 ab.

Der Interspersion- und Juxtapositions-Index (IJI) gibt den Grad der räumlichen Gleichverteilung von Flächen in der Landschaft an. Hierbei spielt jedoch nicht der Flächenanteil sondern die Kantenlängen zwischen verschiedenen Klassen eine Rolle. IJI lag zwischen 0,576 in DE05 (2000) und 0,774 in DE07 (2000). Der Index stieg von 1950 bis 2000 in DE01, DE07 und DE08. In den Transekten DE02, DE03, DE05 nahm IJI ab. In DE04, DE06 und DE09 lagen die jeweils höchsten Werte im Jahr 1990.

LC-Klassenebene

Die Korrelationsanalyse führte zur Reduktion der Anzahl der Strukturmaße von 13 auf 7. Tabelle 5.21 auf der nächsten Seite zeigt die ausgewählten Strukturmaße für die einzelnen Landbedeckungsklassen in allen Testgebieten. Die Untersuchung wurde auf ein synthetisches, zusammengefasstes Testgebiet angewendet, welches aus der Summe der einzelnen Transekte entstand.

Die Gesamtfläche der Klassen (TAC) rangierte von 0,014 km² (Klasse 412) bis 103,51 km² (Klasse 211). Wie bereits in dem Kapitel 5.1 beschrieben, nahm TAC für die Klassen *Ackerland* (211), *Abbaugelände* (131) und *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) zwischen 1950 und 2000 deutlich ab. Gewinne verzeichneten vor allem die LC-Klassen urbane *Flächen mit nicht durchgängig*

Tabelle 5.21: Ausgewählte Landschaftsstrukturmerkmale auf LC-Klassenebene

LC	TAC (km ²)		NP		MPS (km ²)				MPAR		AWMPAR		AWMSI		LJI		
	1950	2000	1950	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	
112	21,041	24,985	169	177	176	0,125	0,141	0,149	0,032	0,032	0,016	0,016	0,016	2,635	2,770	0,637	0,695
121	4,523	7,490	67	132	153	0,068	0,057	0,041	0,033	0,035	0,017	0,019	0,024	1,552	1,716	0,747	0,720
122	1,302	1,707	13	21	23	0,100	0,081	0,079	0,059	0,055	0,045	0,045	0,044	5,005	4,692	0,654	0,701
123	0,409	0,722	2	2	1	0,205	0,722	0,722	0,046	0,016	0,023	0,016	0,023	2,956	3,832	0,420	0,382
124	0,392	0,796	3	1	1	0,131	0,796	0,852	0,020	0,012	0,018	0,012	0,012	1,901	3,055	0,265	0,222
131	10,188	3,057	8	4	5	1,273	0,764	0,175	0,016	0,012	0,020	0,004	0,006	1,823	1,902	0,630	0,715
132	0,198	0,775	5	12	14	0,040	0,065	0,042	0,034	0,035	0,022	0,015	0,020	1,359	1,362	0,593	0,669
133	0,924	0,191	10	6	12	0,092	0,032	0,024	0,035	0,038	0,045	0,016	0,024	1,891	1,316	0,561	0,472
141	0,888	1,476	38	65	66	0,023	0,023	0,022	0,042	0,043	0,044	0,030	0,033	1,527	1,605	0,449	0,454
142	1,081	1,254	21	36	38	0,051	0,035	0,031	0,031	0,035	0,037	0,021	0,026	2,314	2,445	0,647	0,673
211	103,051	77,152	134	168	156	0,769	0,459	0,439	0,021	0,021	0,022	0,007	0,008	3,073	2,376	0,689	0,654
222	1,067	1,108	40	40	39	0,027	0,028	0,029	0,037	0,039	0,038	0,029	0,029	1,442	1,488	0,495	0,595
231	15,838	23,270	227	291	327	0,070	0,080	0,088	0,036	0,039	0,038	0,023	0,021	2,386	2,566	0,654	0,666
242	2,384	2,254	60	68	67	0,040	0,033	0,034	0,033	0,038	0,038	0,026	0,027	1,644	1,685	0,568	0,609
243	0,254	0,309	7	8	8	0,036	0,039	0,039	0,032	0,035	0,035	0,028	0,032	1,560	2,004	0,336	0,413
311	32,551	36,242	222	316	318	0,147	0,115	0,116	0,043	0,044	0,044	0,014	0,017	3,270	3,628	0,643	0,681
312	54,511	57,208	120	139	137	0,454	0,412	0,441	0,028	0,030	0,030	0,009	0,009	4,188	3,617	0,660	0,654
313	12,951	20,542	123	159	161	0,105	0,129	0,135	0,032	0,034	0,034	0,018	0,015	2,373	2,418	0,651	0,690
321	1,432	1,756	48	70	81	0,030	0,025	0,058	0,043	0,046	0,044	0,029	0,036	1,919	2,082	0,509	0,592
322	0,404	0,842	2	3	4	0,202	0,281	0,211	0,021	0,012	0,017	0,016	0,010	2,469	1,505	0,275	0,453
324	9,436	8,178	259	209	137	0,036	0,039	0,046	0,040	0,040	0,045	0,028	0,027	1,904	1,894	0,556	0,640
331	0,444	0,500	3	3	4	0,148	0,167	0,120	0,055	0,053	0,067	0,044	0,029	7,774	4,094	0,573	0,462
332	0,388	0,388	20	20	20	0,019	0,019	0,019	0,053	0,053	0,053	0,045	0,045	2,096	2,096	0,282	0,288
333	7,838	8,916	20	24	35	0,392	0,372	0,185	0,038	0,037	0,036	0,007	0,006	2,486	2,179	0,573	0,649
411	0,331	0,641	13	15	18	0,025	0,043	0,054	0,056	0,049	0,048	0,047	0,039	2,521	2,703	0,459	0,466
412	0,014	0,042	1	2	1	0,014	0,021	0,100	0,033	0,029	0,014	0,033	0,027	1,110	1,148	0,313	0,416
511	4,794	4,499	19	16	19	0,252	0,281	0,237	0,037	0,037	0,036	0,020	0,019	3,362	3,446	0,509	0,479
512	1,899	4,292	35	50	52	0,054	0,086	0,103	0,043	0,040	0,040	0,021	0,015	1,798	1,561	0,622	0,666
521	0,408	0,361	2	2	1	0,204	0,181	0,335	0,023	0,030	0,008	0,011	0,011	1,382	1,353	0,208	0,354
523	7,515	7,405	2	2	2	3,757	3,703	3,568	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003	1,627	2,014	0,175	0,321

städtischer Prägung (112), *Weideland* (231), sowie die Waldklassen (311, 312, 313), *natürliches Grasland* (321) und *Süßwasserflächen* (512). Aber auch die Fläche der *Verkehrswege* (122), von *Hafen* (123), *Flughafen* (124) und Feuchtflächen (411, 412) nahm zu.

Die Anzahl der Flächen einer Klasse (NP) lag zwischen 1 und 327. NP stieg für die meisten Landnutzungsklassen zwischen 1950 und 2000 an. Die Klasse 324 fiel hierbei als einzige Ausnahme mit nennenswertem Verlust von Einzelflächen auf.

Die mittlere Flächengröße (MPS) schwankte zwischen 0,014 km² (412) und 3,757 km² (523). Die deutlichsten Veränderungen des Indexes zwischen 1950 und 2000 sind die Verringerungen für die Klasse 131, 211 und 333. Vergleichbare Zunahmen der Werte wurden für die anderen LC-Klassen nicht beobachtet.

Der mittlere Umfang-Flächen-Ratio (MPAR) zeigte Ergebnisse zwischen 0,005 (523, 1950-2000) und 0,067 (331, 2000). Der flächengewichtete MPAR (AWMPAR) wies Werte von 0,003 (523) bis 0,047 (411) auf.

Der flächengewichtete mittlere Form-Index (AWMSI) ist maßstabsunabhängig und daher für Veränderungsanalysen besser geeignet als PAR. Die Werte rangieren zwischen 1,110 für LC-Klasse 412 (1950) und 7,774 für 331 (1950). Die Verbindung von intensiv anthropogen genutzten Flächen und einer regelmäßigen Form, d. h. kleinem AWMSI, kann in den Testgebieten nicht beobachtet werden. So wiesen gerade die bebauten Klassen 112, 122, 123, 124 hohe Werte auf. Allerdings deuten die Ergebnisse auch für naturnahen Klassen, wie 311, 312, 331 und 511, relativ komplexe Formen an. *Ackerflächen* (211), *Nadelwald* (312), *Heide* (322), *Sandflächen* (331) sowie Wasserflächen wurden im beobachteten Zeitverlauf kompakter, wohingegen die Flächenkomplexität der LC-Klassen *Hafen* (123), *Flughafen* (124) und *Industriegebiete* (121) zunahm.

Der Interspersion- und Juxtaposition-Index (IJI) nahm Werte zwischen 0 (521 in 2000) und 0,747 (121 in 1950) ein. Niedrige Werte symbolisieren isolierte Landbedeckungsklassen, dagegen beschreiben hohe Werte nahe 1 eine gleichmäßige Verteilung der Klassen. Für viele Klassen nahm der IJI im Zeitverlauf zu.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigten, dass nur mit Hilfe mehrerer verschiedener Strukturmaße die Komplexität der Landschaftsveränderung umfassend quantifiziert werden kann. Schon die Ergebnisse der Studie von LAUSCH (2000) belegen, dass nicht ein Landschaftsstrukturmaß allein die Dynamik der Landschaftsstrukturen quantitativ erfassen kann, sondern nur ein Set von Indizes geeignet ist, die Landschaft und Veränderungen umfassend zu beschreiben. Diese Erkenntnis kann durch die vorliegenden Untersuchungen bestätigt werden. Viele LSM wurden entwickelt, um Limitationen von anderen Indizes aufzuheben. So ist z. B. der SHDI abhängig von der Anzahl der Klassen und somit für die Veränderungsanalyse nicht geeignet, wenn sich die Klassenanzahl ändert (WALZ und BERGER, 2004). Der SHEI besitzt diese Einschränkung nicht, war aber dennoch hoch korreliert mit SHDI. Bei der Interpretation von LSM sollte unbedingt die Art der statistischen Zusammenfassung der einzelnen Indizes beachtet werden. So zeigte z. B. der Form-Index (SI) in Abhängigkeit von der Art der Mittelwertbildung (arithmetisches Mittel: MSI vs. flächengewichtetes Mittel: AWMSI)

unterschiedliche Tendenzen im Zeitverlauf.

LI und WU (2004) kritisierten, dass viele Landschaftsanalysen die räumlichen Muster nur quantitativ beschreiben, aber nicht die Beziehung zwischen Muster und Prozess untersuchen. Dem ist entgegenzuhalten, dass bereits die Beschreibung der Struktur zu einem besseren Verständnis von Prozessen führen kann.

Ein Problem bei der Berechnung der LSM war die Form der Testgebiete. So sind 78,1 % (1990) bis 84 % (2000) der Polygonfläche der Testgebiete von Randeffekten (Grenzlinien-Effekte) betroffen. Gerade die Berechnung von Strukturmaßen, z. B. von Formmaßen, wird dadurch erheblich beeinflusst. Patches werden an der Außengrenze der Transekte abgeschnitten, wodurch die Interpretation der Ergebnisse der LSM problematisch ist. Jedoch war das Ziel der Untersuchung nicht nur die Ableitung korrekter Strukturmaße, sondern auch die Untersuchung der Anwendbarkeit der Indizes für die Veränderungsanalyse sowie die Bereitstellung einfacher beschreibender Landschaftsparameter für das Extrapolationsmodell. Für die Veränderungsanalyse waren die einzelnen ausgewählten Strukturmaße nur eingeschränkt anwendbar. Jedoch als Set mehrerer Maße konnte die Landschaftsveränderung umfassend quantifiziert werden.

5.2.2 Hemerobie-Index M

Hemerobie-Index für die Testgebiete

Der Hemerobie-Index M beschreibt den Grad des anthropogenen Einflusses auf die Landschaft (siehe Kapitel 4.4.2). In Tabelle 5.22 sind die Ergebnisse für die Untersuchungszeiträume 1950, 1990 und 2000 für die neun Testgebiete dargestellt.

Tabelle 5.22: Hemerobie-Index M der Transekte (Grundlage: 2D-Flächenanteile basierend auf CLC-Level 3)

Transekt	Hemerobie-Index M		
	1950	1990	2000
DE01	52,48	52,32	52,33
DE02	56,28	57,07	56,19
DE03	47,79	48,98	48,67
DE04	56,54	55,61	55,83
DE05	54,01	53,54	53,08
DE06	54,86	52,97	52,05
DE07	65,94	47,22	41,75
DE08	43,37	43,15	43,34
DE09	43,12	41,46	39,83

Der Index M nahm für die neun Testgebiete Werte zwischen 39,8 (DE09, 2000) und 65,9 (DE07, 1950) ein. Mit Ausnahme des Transekts DE07 wurden zwischen 1950 und 2000 in allen Testgebieten nur geringe Veränderungen des Indexes beobachtet.

Für das Transekt DE01 wurden nur minimale Änderungen des Hemerobie-Indexes zwischen den Jahren 1990 und 2000 (jeweils 52,3) gegenüber 1950 (52,5) beobachtet. So wurden im Rahmen der Erweiterung des Flughafens Dresden-Klotzsche bereits vor dem Aufnahmezeitpunkt der historischen Luftbilder von 1956 Arbeiten an den Start- und Landebahnen sowie Flughafengebäuden begonnen. Der Ausbau des Flughafens hatte daher auf den Hemerobie-Index keinen gesteigerten Einfluss, da die Landnutzungsklassen Flughafen bzw. Baustellen derselben Hemerobiestufe (metahemerob) zugeordnet wurden (siehe Tabelle 4.7 auf Seite 42 bzw. Tabelle A.2 auf Seite 194 im Anhang A). Die Zunahme der Flächenanteile der Industrieanlagen und Wohngebiete zwischen 1950 und 2000 (siehe Kapitel 5.1.1) wurde durch die Veränderung von Ackerland zu Weiden und durch den Gewinn von Wäldern und naturnahen Flächen kompensiert.

Der Anstieg des Hemerobie-Indexes im Transekt DE02 zwischen 1950 und 1990 ist durch den Ausbau des Industriegebiets Pirna/Heidenau sowie der Zunahme von Wohngebieten im Pirnaer Stadtgebiet erklärbar. Trotz der Erweiterung der Verkehrsinfrastruktur und der Erschließung weiterer urbaner Flächen sank M im Jahr 2000 wieder, begründet durch den Rückgang von industriellen Anlagen ab 1990 im Industriegebiet Pirna/Heidenau und der Extensivierung von Ackerland.

Das Transekt DE03 wies relativ geringe Werte des Indexes M auf, was auf den hohen Flächenanteil von Wald zurückzuführen ist. Der geringe Anstieg des Wertes zwischen 1950 und 1990 im Testgebiet DE03 kann unter anderem durch die Bergbauaktivitäten der SDAG WISMUT erklärt werden. Im Jahr 2000 sank der Index auf 48,7, begründet durch die Verkleinerung der durch den Bergbau genutzten Flächen.

Das Transekt DE04 ist durch große Flächenanteile intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen gekennzeichnet, was sich in einem relativ hohen Hemerobie-Index widerspiegelt. Trotz einer Zunahme der Anteile der urbanen Flächen in den Jahren 1990 und 2000 sank M, da diese Flächen ebenso wie ein neuer Autobahnabschnitt (BAB4) im Vergleich zu der Umwandlung von Acker zu Weiden nur einen geringen Flächenanteil des Transekts einnahmen.

Die Schaffung von zwei künstlichen Seen im Stadtrandgebiet von Magdeburg sowie die höheren Flächenanteile von Weiden im Vergleich zum Jahr 1950 führten trotz Zunahme der urbanen Gebiete zu geringeren M-Werten in den Jahren 1990 und 2000 im Transekt DE05.

Im Testgebiet DE06 führte der Rückgang von industriellen Anlagen im Industriegebiet am Chemiestandort Wolfen ab 1990 sowie die natürliche Sukzession von Waldflächen auf dem militärischen Truppenübungsplatz Oranienbaum zur Reduktion des Indexes im Zeitverlauf. Auch die Zunahme von Weiden auf Kosten von Ackerflächen unterstützte diese Entwicklung.

Das Absinken des Hemerobie-Indexes von 65,9 im Jahr 1950 zu 41,8 im Jahr 2000 dokumentiert die veränderte Landschaftszusammensetzung im Transekt DE07 besonders deutlich. Anfang der 90er Jahre setzte hier nach der Einstellung des Förderbetriebs im Braunkohletagebau im Bitterfelder-Gräfenhainicher Bergbaugesamt die land- und forstwirtschaftliche Rekultivierung der Bergbaufolgelandschaft ein, die bis zum Jahr 2005 abgeschlossen war bzw. bis 2007 abgeschlossen sein sollte (SCHÖNFELDER ET AL., 2004).

Die Ostsee und der bewaldete Nationalpark Sassenitz nahmen einen hohen Anteil an der Gesamtfläche des Testgebiets DE08 ein, was in einem vergleichsweise geringen Hemerobie-Index resultierte.

Der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur, z. B. die Erweiterung des Fährhafens Sassnitz-Mukran sowie die Ausdehnung der Siedlungsflächen der Stadt Sassnitz auf Kosten von landwirtschaftlichen Nutzflächen sind Prozesse, die zu erhöhten Hemerobie-Indizes führen sollten. Jedoch wurden diese Veränderungen flächenmäßig durch die Zunahme von Weiden und durch Bewaldungen kompensiert.

Das Transekt DE09 zeigte, verglichen mit den anderen Testgebieten, die geringsten Werte, was auf den großen Flächenanteil von Wald und naturnahen Flächen zurückzuführen ist (68,8% im Jahr 2000). Der Rückgang von intensiven Nutzungen in Land- und Forstwirtschaft sowie die Umwandlung von Ackerland in beweidetes Grünland führten zur Abnahme der M-Werte in den Jahren 1990 und 2000.

Hemerobie-Index für das Bundesgebiet

Der Hemerobie-Index kann auf großflächig verfügbare Geodaten, wie z. B. CLC für das Bundesgebiet, angewendet werden. Abbildung 5.15 auf der nächsten Seite zeigt die geografische Verteilung des Hemerobie-Indexes M in Deutschland für die Zeiträume 1990 und 2000 auf der Datengrundlage von CORINE-Landnutzungsklassen. Das linke und mittlere Bild zeigen die bundesweiten Ergebnisse von 1990 bzw. 2000, die Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen sind im rechten Bild dargestellt. Eine Abnahme der Werte war am auffälligsten im südöstlichen Teil Deutschlands, was auf die großflächigen Rekultivierungs- und Renaturierungsmaßnahmen von Tagebauflächen in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt zurückzuführen ist. Im südlichen Brandenburg und im Osten von Sachsen waren gleichzeitig die größten Zunahmen der Hemerobie-Indizes festzustellen, da die gesteigerte Braunkohleförderung zum Ausbau der Tagebaue Jänschwalde und Nochten führte (Abbildung 5.13 und Abbildung 5.14).



Abbildung 5.13: Das Braunkohle-Kraftwerk Boxberg grenzt an den Tagebau Nochten.



Abbildung 5.14: Vordergrund: renaturierte Fläche des Tagebaus Nochten; Hintergrund: aktives Braunkohleförderungsgebiet des Tagebaus

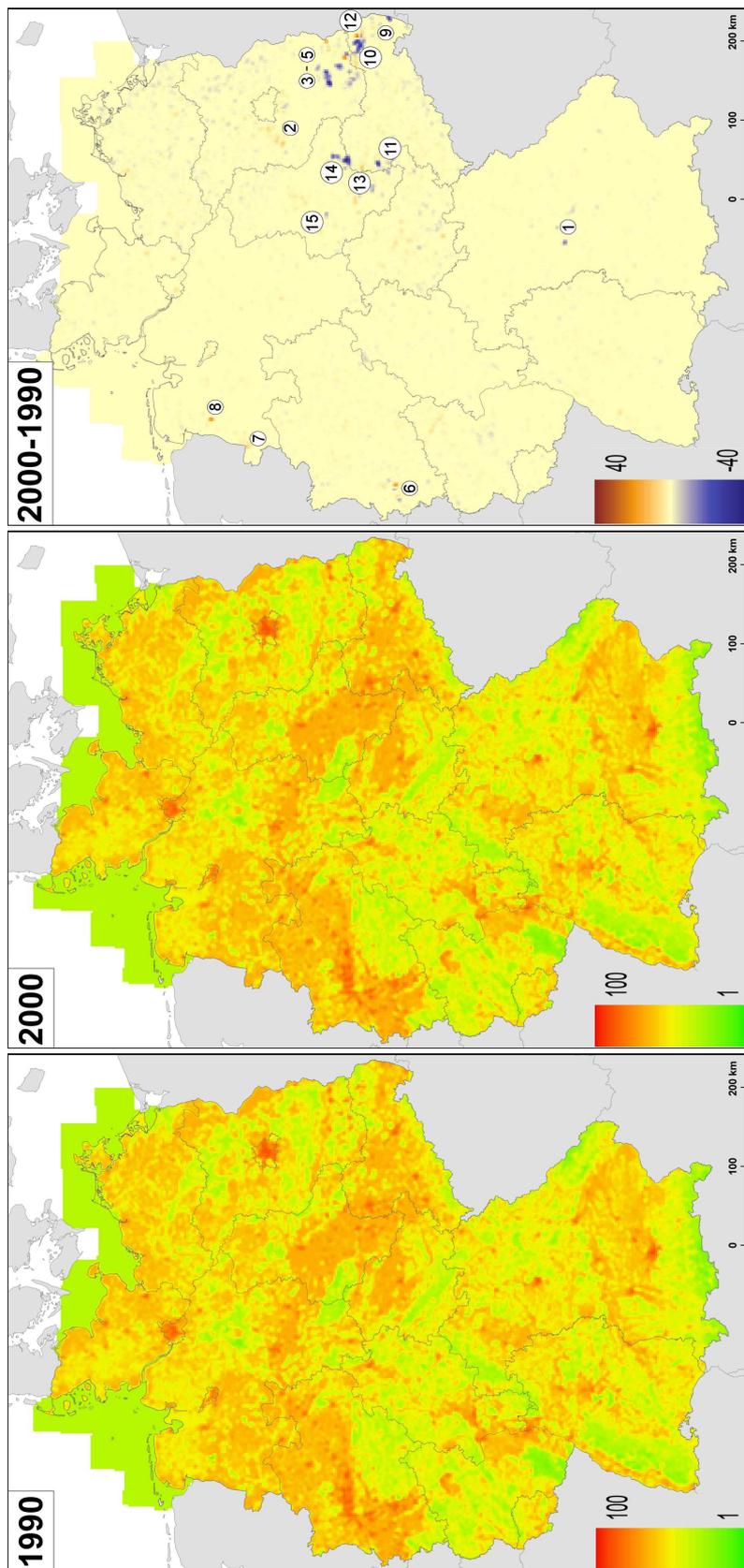


Abbildung 5.15: Darstellung des Hemerobie-Indexes M für das Bundesgebiet für 1990 (links), 2000 (Mitte) sowie ein Differenzbild der Ergebnisse beider Zeitpunkte (rechts). Der Index kann maximal 100 erreichen. Die auffälligsten Veränderungen sind nummeriert und in der Tabelle 5.23 auf der nächsten Seite zusammengefasst.

In Tabelle 5.23 sind die Regionen mit den auffälligsten Veränderungen des auf Grundlage von CLC-Daten kalkulierten Hemerobie-Indexes zwischen 1990 und 2000 (Abbildung 5.15 auf der vorherigen Seite) zusammengefasst.

Tabelle 5.23: Regionen mit bedeutenden Veränderungen des Hemerobie-Indexes M zwischen 1990 und 2000 in der Bundesrepublik (vergleiche Nummer in Abbildung 5.15 auf der vorherigen Seite)

Nr.	Beschreibung	Ort	Veränderung (1990 – 2000)
1	Großer Brombachsee	südlich von Spalt (Nürnberg)	Neubau (Bauzeit: 1983 – 1999)
2	Umwandlung von Obstplantagen in Ackerland	bei Brandenburg	landwirtschaftlicher Nutzungswandel
3	Schlabendorfer Felder, Schlabendorfer See	bei Calau	Renaturierung von Tagebauen
4	Tagebau Jänschwalde	östlich von Cottbus	Erweiterung
5	Tagebau Welzow-Süd	bei Welzow	Erweiterung
6	Tagebaue Hambach, Garzweiler, Inden	bei Düren	Erweiterung, Renaturierung
7	Erdölförderungsgebiet Twist	bei Twist westlich von Meppen	Erweiterung
8	Prüfgelände Mercedes-Benz-AG	östlich von Papenburg	Neubau
9	Berzdorfer See	südlich von Görlitz	Renaturierung von Tagebauen
10	Lausitzer Seengebiet	bei Hoyerswerda	Renaturierung von Tagebauen
11	Speicherbecken Witznitz, Zwenkauer See, Cospudener See	südlich von Leipzig	Renaturierung von Tagebauen
12	Tagebau Nochten	bei Boxberg	Erweiterung
13	Flughafen Leipzig-Halle	bei Schkeuditz	Erweiterung
14	Großer Goitzscher See	bei Bitterfeld	Renaturierung von Tagebauen
15	ehemaliger Tagebau Nachterstedt (bei Schadeleben)	nordwestlich von Aschersleben	Renaturierung von Tagebauen

Zusammenfassung

Die Möglichkeit der Kompensation von einzelnen Landbedeckungsänderungen beeinflusste das Ergebnis des Hemerobie-Indexes stark. So war der Wandel von intensiver Ackerwirtschaft zur Beweidung von landwirtschaftlichen Flächen eine häufige Veränderung in den Testgebieten. Diese Umwandlung nahm meist größere Flächenanteile als die Zunahme von Verkehrsinfrastruktur, Industrie und Siedlungsflächen ein. Da in der vorliegenden Untersuchung die Veränderung von Ackerland in Weide mit demselben Wichtungsfaktor (Differenz zwischen den beiden jeweiligen Hemerobiefaktoren der betrachteten Veränderung) belegt war, wie zum Beispiel die Veränderung von Acker zu urbanem Wohngebiet, verringerte sich häufig der auf Flächenanteilen der Landbedeckungsklassen basierende Hemerobie-Index je Transekt im Zeitverlauf. Die Zuordnung der Landbedeckungsklassen zu Hemerobiestufen bzw. Hemerobiefaktoren (siehe Kapitel 4.4) sollte deshalb nur mit dem Wissen über ihre Einschränkungen genutzt werden.

Die Nomenklatur von CORINE Landcover ist nicht ideal zur Bestimmung des Hemerobie-Indexes geeignet, da die Landnutzungsklassen nicht immer eindeutig einer Hemerobiestufe (oligo-

bis metahemerob) zugewiesen werden können. Beispielsweise beinhaltet die Klasse *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) einerseits eine natürliche Entwicklungsstufe des Waldes aber andererseits auch Kahlschläge. In einer Untersuchung, die ausschließlich die Kartierung der Hemerobie von Wäldern zum Ziel hat, muss neben der Landnutzung eine Vielzahl von Parametern erhoben werden, z. B. die Menge an Totholz, touristische und forstliche Nutzung die Naturnähe der Baumartenkombinationen oder das Standortpotenzial (vergleiche GRABHERR ET AL., 1995).

Die Berechnung des Indexes M ist ein Schätzverfahren für die Hemerobie von Landschaften auf Grundlage von Flächenanteilen der Landbedeckungs- bzw. Nutzungsklassen. Obwohl die Ergebnisse dementsprechend vorsichtig bewertet werden müssen, hat das Verfahren auch Vorteile gegenüber Methoden, welche die Hemerobie mit einer Vielzahl komplexer Parameter beschreiben. Der Index M ist ein einfach zu berechnendes und großflächig anzuwendendes Werkzeug, um den Grad der menschlichen Nutzungskultur auf die Landschaft zu beschreiben und im beschränkten Umfang somit auch ein Maß für die Veränderung der Umwelt.

5.3 Nachbarschaftsanalysen

5.3.1 Häufigkeiten von Nachbarflächen derselben LC-Klasse

In den folgenden zwei Diagrammen (Abbildung 5.16 auf der nächsten Seite und Abbildung 5.17 auf Seite 116) sind die Ergebnisse der ersten Teilanalyse von Nachbarschaften der Landbedeckungsklassen dargestellt. Die Methodik ist für LC-Klassen mit geringem Flächengewinn bzw. geringer Anzahl von neuen Patches nur eingeschränkt geeignet. Wenn z. B. insgesamt nur eine Fläche im Jahr 1990 neu entstanden ist, entscheidet diese über das Nachbarschaftsverhalten der LC-Klasse im gesamten Testgebiet (0 = kein Anschluss oder 1 = Anschluss). Anlehnend an Kapitel 5.1.3 werden daher nur die LC-Klassen beschrieben, die bezogen auf die Testgebietsfläche einen Flächengewinn von mindestens 0,5 % (1950 bis 1990) bzw. 0,2 % (1990 bis 2000) aufweisen. Die fehlenden bzw. weißen Säulen für die LC-Klasse 131 (1990) bzw. 321 (1950) symbolisieren Klassen, die im dargestellten Zeitraum Flächengewinne unter 0,2 % bzw. 0,5 % aufweisen und daher nicht ausgewertet wurden.

Die Erweiterungen von bestehenden Flächen einer Klasse sowie die Verlagerungen von Flächen werden getrennt beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die Summe von Erweiterungen und Verlagerungen je Klasse größer als 100 % sein kann, da jedes Gebiet mehrere Nachbarn mit unterschiedlichem Verhalten im Hinblick auf die Stabilität ihrer Landbedeckungsklasse haben können.

Die Untersuchung wurde auf ein synthetisches Testgebiet angewendet, welches aus der Summe der einzelnen Transekte entstand.

Erweiterungen von Flächen zwischen 1950 und 1990 sowie zwischen 1990 und 2000

In Abbildung 5.16 auf der nächsten Seite sind die Erweiterungen von Flächen mit einer Landbedeckung LC90 (bzw. LC00) dargestellt, bei denen mindestens eine angrenzende Fläche die identische LC-Klasse in dem Ursprungsjahr 1950 (bzw. 1990) und im Zieljahr 1990 (bzw. 2000) aufweist.

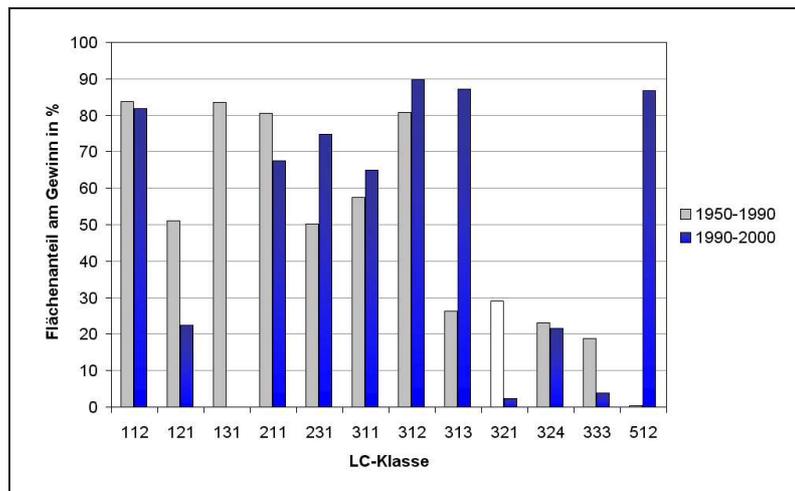


Abbildung 5.16: Summierte Flächenanteile der Veränderungen, deren LC-Klasse im Jahr 1990 (bzw. 2000) identisch mit der LC-Klasse eines stabilen Nachbarn im Jahr 1950 und 1990 (bzw. 1990 und 2000) ist. Bezug ist hierbei der Flächen Gewinn der LC90 (bzw. LC00).

Beispielsweise werden so die Erweiterungen von Siedlungsflächen quantifiziert, die bereits im Jahr 1950 vorhanden waren und 1990 noch bestehen.

83,9% aller zwischen 1950 und 1990 neu entstandenen *Flächen mit nicht durchgängig städtischer Prägung* (112) hatten mindestens eine Grenze zu einer bereits im Jahr 1950 bestehenden Siedlung. In der Periode 1990–2000 sank der Wert nur geringfügig auf etwa 81,8%.

Der Flächenanteil von erweiterten *Industrie- und Gewerbegebieten* (121) mit Nachbarschaftspatches derselben Klasse erreichte im ersten Untersuchungszeitraum einen Wert von 51,1%. In der Dekade 1990 bis 2000 fiel der Anteil auf 22,5%.

83,7% der neuen *Abbauflächen* (131) im Untersuchungszeitraum 1950 bis 1990 waren Erweiterungen bereits bestehenden *Abbauflächen*. Der größte Anteil geht dabei auf den Tagebau in Bitterfeld zurück. Der summierte Flächengewinn der Klasse *Abbauflächen* zwischen 1990 und 2000 lag bei nur 0,05% (siehe Tabelle 31). Deshalb wurde auf eine Auswertung der Nachbarschaftsanalyse dieser Klasse für den Zeitraum 1990 bis 2000 verzichtet.

In der ersten Periode (1950–1990) entstanden 80,9% der neuen Flächen *nicht bewässerten Ackerlands* (211) mit Anschluss an bestehende *Ackerflächen*. Der Anteil ging im Untersuchungszeitraum 1990 bis 2000 auf 67,6% zurück.

Dagegen stieg der Flächenanteil neu entstandenen *Weidelands* (231) mit Anschluss an mindestens eine benachbarte Weidefläche von 50,2% in der ersten Periode auf 74,8% in der Dekade 1990 bis 2000 an.

Die Werte der drei Waldklassen (311, 312, 313) rangieren zwischen 26,3% für *Mischwald* (313) in 1950–1990 und 89,7% für *Nadelwald* (312) in 1990–2000. Bei allen Waldklassen nahmen die Flächenanteile in der zweiten Periode gegenüber dem ersten Zeitraum zu, wobei der Anteil für *Mischwald* besonders deutlich anstieg.

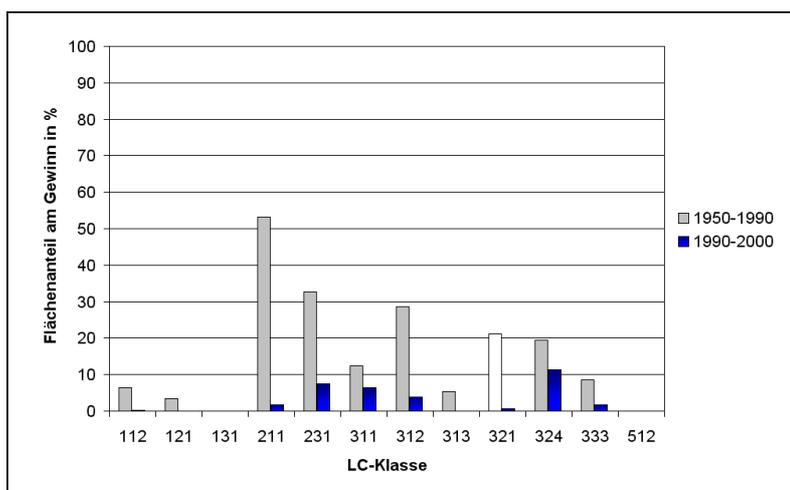


Abbildung 5.17: Summierte Flächenanteile der Veränderungen, deren LC-Klasse im Jahr 1990 (bzw. 2000) identisch mit der LC-Klasse eines *nicht* stabilen Nachbarn im Jahr 1950 (bzw. 1990) ist. Bezug ist hierbei der Flächengewinn der LC90 (bzw. LC00).

Der summierte Flächengewinn der *natürlichen Grasflächen* (321) zwischen 1950 und 1990 liegt bei 0,33 % (siehe Tabelle 31). Deshalb wurde die Auswertung der Nachbarschaftsanalyse dieser Klasse für diesen Zeitraum nicht durchgeführt. Nur 2,4 % der zwischen 1990 und 2000 neu entstandenen *natürlichen Grasflächen* sind Erweiterungen vorhandener Flächen.

Die Flächenanteile der Erweiterungen von Gebieten mit *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) unterscheiden sich in den beiden Untersuchungsperioden nur marginal. Es wurden Werte von 23,1 % für 1950 – 1990 und 21,5 % für 1990 – 2000 berechnet.

18,8 % aller zwischen 1950 und 1990 neu entstandenen *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) hatten mindestens eine benachbarte Fläche derselben Landbedeckung. In der Periode 1990 – 2000 sank der Wert auf 3,8 %.

Die Flächenanteile der neuen erweiterten *Süßwasserflächen* (512) unterschieden sich in beiden Zeiträumen deutlich voneinander. Während von 1950 bis 1990 nur 0,4 % aller neuen Wasserflächen eine bereits bestehende *Wasserfläche* als benachbarten Patch hatte, grenzten 86,7 % der zwischen 1990 und 2000 entstandenen *Wasserflächen* an Flächen derselben LC-Klasse.

Verlagerungen von Flächen zwischen 1950 und 1990 sowie zwischen 1990 und 2000

In Abbildung 5.17 sind die Verlagerungen von Flächen mit einer Landbedeckung LC90 (bzw. LC00) dargestellt, bei denen mindestens eine angrenzende Fläche die identische LC-Klasse in dem Ursprungsjahr 1950 (bzw. 1990), aber nicht im Zieljahr 1990 (bzw. 2000) aufweist. So können z. B. die Verlagerungen von *Ackerflächen* (211) quantifiziert werden, die im Jahr 1950 vorhanden waren und 1990 verschwunden sind.

Mit Ausnahme der *Ackerflächen* (211), des *Weidelands* (231) sowie des *Nadelwalds* (312) liegen die Anteile der neuen Flächen, die nur 1950 einen Nachbarn derselben LC-Klasse hatten (und

1990 keinen mehr), unter 20 %. In der Periode 1990 bis 2000 sind die Werte teilweise deutlich geringer als zwischen 1950 und 1990, was auf einen abnehmenden Trend der Verlagerungen von Nachbarschaftsflächen derselben LC-Klasse hinweist.

Die verhältnismäßig hohen Werte für *Ackerland* von 53,2% und *Weiden* von 32,6 % in 1950–1990 können möglicherweise auf Wechsel zwischen den beiden Klassen im Rahmen von landwirtschaftlichen Brachen zurückgeführt werden. Die Klassen *Nadelwald* und *Strauch-Wald-Übergangsstadium* (324) weisen auf ein dynamisches Nebeneinander von Kahlschlagsflächen und Aufforstungen im Zeitraum 1950 bis 1990 hin, wie z. B. beim schlagweisen Hochwald.

Für die LC-Klassen *Siedlung* (112), *Industrie- und Gewerbegebiete* (121), *Abbaugelände* (131), *Laubwald* (311), *Mischwald* (313), *natürliches Grasland* (321), *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) sowie *Wasserflächen* (512) spielen die Verlagerungen von direkten Nachbarflächen derselben Klasse nur eine geringe bzw. keine Rolle in den beiden Untersuchungszeiträumen.

5.3.2 Standortstypisierung neuer Flächen

Die Standortstypisierung von neuen Flächen wurde exemplarisch für die Landbedeckungskategorien *nicht durchgängig städtische Prägung* (112), *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) sowie Waldflächen (311 + 312 + 313 \Rightarrow 31) durchgeführt. Die Patches wurden einem von vier Typen (siehe Tabelle 4.8 auf Seite 44; Typ 1 — Lückenauffüllung, Typ 2 — Arrondierung, Typ 3 — Erweiterung mit geringem Anschluss, Typ 4 — Erweiterung ohne Anschluss an bestehende Flächen derselben LC-Klasse) zugeordnet. Die absoluten Flächen der vier Typen sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 5.18 bis Abbildung 5.20 auf Seite 120) für beide Untersuchungszeiträume und jedes Transekt visualisiert. Aufgrund der unterschiedlich großen Veränderungsanteile in den beiden Perioden und der Heterogenität der Testgebiete sind die Betrachtungsmaßstäbe der Abbildungen nicht identisch.

Häufigkeiten der Standortstypen

Die Ergebnisse der Standortstypisierung von *Siedlungsflächen* von 1950–1990 sind den Resultaten von 1990–2000 in Abbildung 5.18 auf der nächsten Seite gegenübergestellt.

In der ersten Periode nahmen die Typen 2 und 3 die größten Flächenanteile ein. Lückenauffüllung (Typ 1) trat nur in geringem Maß auf. Auch die Erweiterung von *Siedlungsflächen* ohne Anschluss (Typ 4) an bestehendes Siedlungsgebiet war nicht häufig (vergleiche auch Kapitel 5.3.1). Zwischen 1990 und 2000 sind die absoluten Flächengrößen des Gewinns von urbanen Flächen geringer als in der ersten Periode. In den Transekten DE01, DE02, DE03 und DE09 haben alle Erweiterungen der *Siedlungen* Anschluss an bereits bestehende *Flächen mit nicht durchgängig städtischer Prägung*. Mit Ausnahme von DE08 sind die Flächenanteile der neuen Flächen ohne Anschluss in den übrigen Testgebieten niedrig bis moderat. Zusammenfassend betrachtet, ist der überwiegende Teil der neuen *Siedlungsflächen* als Erweiterungen mit geringem Anschluss oder als Abrundung bestehender urbaner Gebiete einzuschätzen. Diese Charakterisierung hat sich im Laufe der beiden Untersuchungsperiode nicht wesentlich geändert.

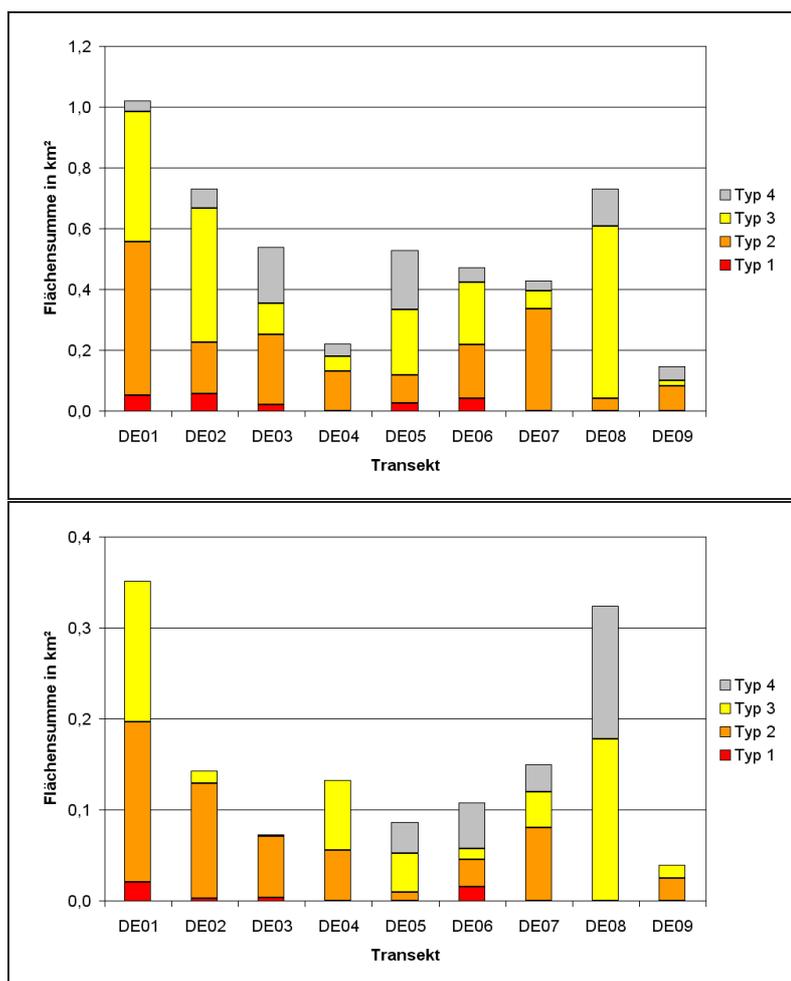


Abbildung 5.18: Typisierung des Flächengewinns von *Siedlungsflächen* (112) für die Periode 1950 bis 1990 (oben) bzw. 1990 bis 2000 (unten). Typ 1 — Lückenauffüllung, Typ 2 — Arrondierung, Typ 3 — Erweiterung mit geringem Anschluss, Typ 4 — Erweiterung ohne Anschluss an bestehende Flächen derselben LC-Klasse.

Die Resultate der Standortstypisierung von *Industrie- und Gewerbeflächen* der Zeitperiode 1950–1990 werden mit den Ergebnissen für 1990–2000 in der Abbildung 5.19 auf der nächsten Seite verglichen.

In 1950–1990 sind die Anteile des Typs 4 (Erweiterung ohne Anschluss) für die *Industriegebiete* deutlich höher als für *Siedlungsflächen*. Gleichzeitig konnte eine größere Varianz zwischen den Transekten beobachtet werden. Testgebiete wie z. B. DE03, DE04 und DE05 wiesen kaum bzw. keine Erweiterungsflächen mit Anschluss an bestehende *Industriegebiete* auf. Im Transekt DE09 dagegen waren die Flächenerweiterungen fast vollständig mit den Typen 2 und 3 verbunden. In der zweiten Periode (1990–2000) wurde bei geringerem absolutem Flächengewinn eine deutliche Zunahme der Anteile von Erweiterungsflächen des Typs 4 bei gleichzeitigem vollständigem Verlust des Typs 1 beobachtet. Mit Ausnahme des Transekts DE02, DE06 und DE09 wiesen die Testgebiete nur sehr geringe Anteile von Flächen mit Typ 2 und 3 auf. DE09 stellt wie in 1950–1990 eine

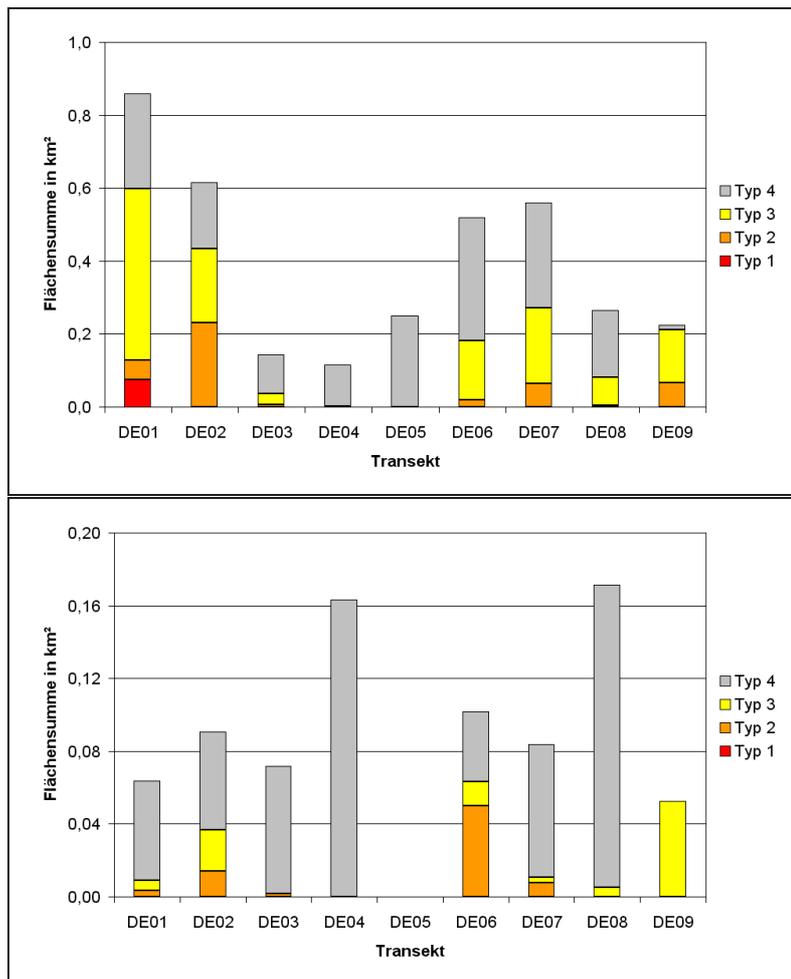


Abbildung 5.19: Typisierung des Flächengewinns von *Industriegebieten* (121) für die Periode 1950 bis 1990 (oben) bzw. 1990 bis 2000 (unten). Typ 1 — Lückenauffüllung, Typ 2 — Arrondierung, Typ 3 — Erweiterung mit geringem Anschluss, Typ 4 — Erweiterung ohne Anschluss an bestehende Flächen derselben LC-Klasse.

Ausnahme dar, da die neuen Flächen ausschließlich Erweiterungen bestehender *Industriegebiete* waren.

Abbildung 5.20 auf der nächsten Seite zeigt die Standortstypisierung von Waldflächen in den Perioden 1950–1990 und 1990–2000.

Mit Ausnahme des Transekts DE07 entstanden in beiden Perioden fast alle erweiterten Waldflächen mit Anschluss an bestehende Wälder. Dabei waren hier Flächen zur Lückenauffüllung (Typ 1) stärker vertreten als bei den bebauten Flächen (112, 121), was auf die verstärkte Wiederaufforstung von Kahlschlagsflächen im Waldinnern gegenüber der Neubegründungen von Beständen am Waldrand hinweist. Die Erweiterung von Waldflächen ohne Anschluss an bestehende Flächen (Typ 4) im Transekt DE07 ist auf die Renaturierung von Flächen des ehemaligen Braunkohletagebaus Bitterfeld zurückzuführen.

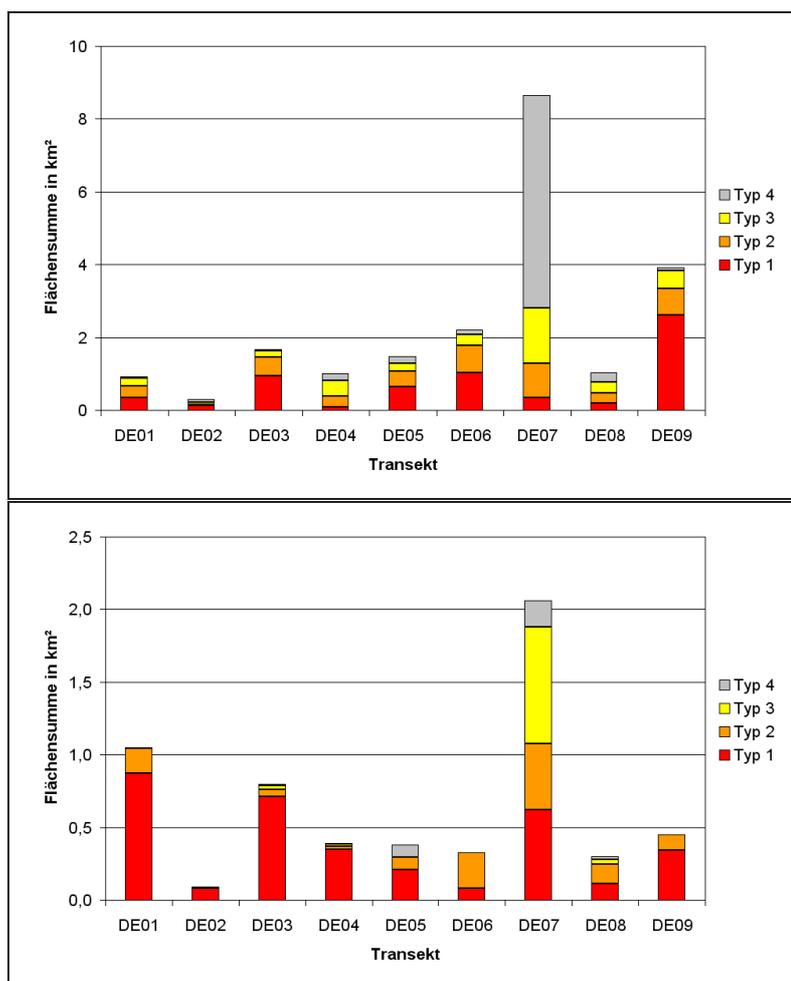


Abbildung 5.20: Typisierung des Flächengewinns von Wäldern (31) für die Periode 1950 bis 1990 (oben) bzw. 1990 bis 2000 (unten). Typ 1 — Lückenauffüllung, Typ 2 — Arrondierung, Typ 3 — Erweiterung mit geringem Anschluss, Typ 4 — Erweiterung ohne Anschluss an bestehende Flächen derselben LC-Klasse.

Statistischer Vergleich von Fläche und Struktur der Standortstypen

Neben der visuellen Darstellung der Verteilung von Standortstypen wurden die Flächengröße sowie drei Strukturmaße (auf Patchebene) mit Hilfe statistischer Tests ausgewertet. Dabei war das Ziel die Differenzierung der vier Standortstypen anhand der Parameter Flächengröße (A), Umfang-Flächen-Ratio (PAR), Formindex (SI) sowie der fraktalen Dimension (FD), um mögliche Unterschiede in das Extrapolationsmodell einfließen zu lassen. Die Felder mit grauem Hintergrund verdeutlichen in den folgenden Tabellen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Tabelle 5.24 auf der nächsten Seite zeigt die Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Veränderungen der LC-Klasse *nicht durchgängig städtische Prägung* (112).

Tabelle 5.24: Teststatistik für die Typen der Standortstypisierung (siehe Tabelle 4.8 auf Seite 44) für *Flächen mit nicht durchgängig städtischer Prägung* (112)

Test	1950 – 1990				1990 – 2000			
	A	PAR	SI	FD	A	PAR	SI	FD
H	0,000	0,000	0,062	0,000	0,080	0,111	0,112	0,351
U (1 vs. 2)	0,452	0,065	0,015	0,001	0,495	0,323	0,801	0,298
U (1 vs. 3)	0,215	0,530	0,021	0,187	0,590	0,476	0,846	0,714
U (1 vs. 4)	0,000	0,000	0,139	0,000	0,138	0,101	0,138	1,000
U (2 vs. 3)	0,003	0,000	0,952	0,002	0,963	0,549	0,300	0,222
U (2 vs. 4)	0,000	0,000	0,216	0,000	0,008	0,023	0,053	0,187
U (3 vs. 4)	0,005	0,000	0,308	0,000	0,025	0,062	0,012	0,621

LC-Klasse 112, 1950 – 1990

Mit Hilfe des H-Tests wurden Unterschiede zwischen den Standortstypen für die Parameter A, PAR und FD in der ersten Periode (1950 – 1990) festgestellt. Der Formindex (SI) unterschied sich dagegen nicht signifikant. Während der Paarvergleich von 1 vs. 4, 2 vs. 3, 2 vs. 4 sowie 3 vs. 4 für A, PAR und FD signifikante Differenzen aufwies, ließ sich für SI nur für 1 vs. 2 und 1 vs. 3 ein signifikanter Unterschied darstellen.

LC-Klasse 112, 1990 – 2000

Für den H-Test konnte die Nullhypothese¹ für alle betrachteten Parameter in dem Zeitraum 1990 – 2000 nicht abgelehnt werden. Auch für die U-Tests der Paarungen 1 vs. 2, 1 vs. 3, 1 vs. 4 und 2 vs. 3 wurden die Nullhypothesen für die Flächengröße und die Formmaße nicht abgelehnt. Zwischen den Typen 2 und 4 sowie 3 und 4 wurden dagegen signifikante Unterschiede der Flächengröße festgestellt. PAR für 2 vs. 4 sowie der SI für 3 vs. 4 unterschieden sich ebenfalls signifikant.

Tabelle 5.25 beschreibt die Ergebnisse der statistischen Tests der Veränderungen der *Industrie- und Gewerbegebiete* (121).

Tabelle 5.25: Teststatistik für die Typen der Standortstypisierung (siehe Tabelle 4.8 auf Seite 44) für *Industrie- und Gewerbegebiete* (121)

Test	1950 – 1990				1990 – 2000			
	A	PAR	SI	FD	A	PAR	SI	FD
H	0,012	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,460	0,003
U (1 vs. 2)	0,148	0,222	0,148	0,889	n/v	n/v	n/v	n/v
U (1 vs. 3)	0,229	0,514	0,114	0,800	n/v	n/v	n/v	n/v
U (1 vs. 4)	0,024	0,415	0,098	0,317	n/v	n/v	n/v	n/v
U (2 vs. 3)	0,022	0,015	0,069	0,006	0,038	0,031	0,370	0,056
U (2 vs. 4)	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,268	0,001
U (3 vs. 4)	0,888	0,318	0,046	0,026	0,079	0,059	0,706	0,121

¹ Die unabhängigen Stichproben stammen aus derselben Grundgesamtheit.

LC-Klasse 121, 1950 – 1990

Mit Hilfe des H-Tests wurden signifikante Unterschiede zwischen den Standortstypen für alle untersuchten Merkmale in der ersten Periode (1950 – 1990) festgestellt. Beim Vergleich der Typen 1 und 2 bzw. Typ 1 und 3 unterschieden sich die Merkmale dagegen nicht signifikant. Mit Ausnahme der Flächengröße konnten auch für den Vergleich von Typ 1 vs. 4 keine Unterschiede nachgewiesen werden. Beim paarweisen Vergleich der Typen wurden zwischen den Typen 2 und 3 sowie 2 und 4 für A, PAR und FD sowie für SI (nur 2 vs. 4) signifikante Unterschiede beobachtet. Die Nullhypothese der U-Tests der Standortstypen 3 und 4 konnte für die Flächengröße (A) und den Umfang-Flächen-Ratio (PAR) nicht abgelehnt werden, wohingegen für SI und FD signifikante Unterschiede nachgewiesen wurden.

LC-Klasse 121, 1990 – 2000

Die Nullhypothese der H-Tests wurde für die Parameter A, PAR und FD in dem Zeitraum 1990 – 2000 abgelehnt. Die U-Tests 1 vs. 2, 1 vs. 3 und 1 vs. 4 konnten aufgrund des zu geringen Stichprobenumfangs des Typs 1 nicht durchgeführt werden. Die Nullhypothese der Tests 2 vs. 3 sowie 2 vs. 4 wurde für die Flächengröße und die Formmaße PAR und FD (nur 2 vs. 4) abgelehnt. Zwischen den Typen 3 und 4 wurden keine signifikanten Unterschiede der Flächengröße sowie aller Formmaße festgestellt.

Tabelle 5.26 zeigt die Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Veränderungen der Waldklassen (311, 312, 313).

Tabelle 5.26: Teststatistik für die Typen der Standortstypisierung (siehe Tabelle 4.8 auf Seite 44) für Waldflächen (31)

Test	1950 – 1990				1990 – 2000			
	A	PAR	SI	FD	A	PAR	SI	FD
H	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,230	0,000
U (1 vs. 2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,153	0,000
U (1 vs. 3)	0,278	0,000	0,000	0,000	0,264	0,009	0,095	0,003
U (1 vs. 4)	0,259	0,002	0,000	0,000	0,204	0,023	0,325	0,067
U (2 vs. 3)	0,000	0,000	0,391	0,000	0,473	0,875	0,424	0,678
U (2 vs. 4)	0,000	0,000	0,000	0,001	0,214	0,498	0,856	0,595
U (3 vs. 4)	0,084	0,478	0,007	0,428	0,713	0,512	0,775	0,325

LC-Klasse 31, 1950 – 1990

Mit Hilfe des H-Tests wurden signifikante Unterschiede zwischen den Standortstypen für alle untersuchten Merkmale in der ersten Periode (1950 – 1990) festgestellt. Die Nullhypothese der U-Tests für Typ 1 vs. 2 wurden ebenfalls für alle Merkmale abgelehnt. Mit Ausnahme von A unterschieden sich die Parameter beim Vergleich der Typen 1 und 3 bzw. Typ 1 und 4 signifikant. Zwischen den Typen 2 und 3 sowie 2 und 4 wurden signifikante Unterschiede für A, PAR und FD sowie für SI (nur 2 vs. 4) beobachtet. Die Nullhypothese des U-Tests der Standortstypen 3 und 4 konnte für die Flächengröße (A), den Umfang-Flächen-Ratio (PAR) und die fraktale Dimension nicht abgelehnt werden, wohingegen für SI signifikante Unterschiede nachgewiesen wurden.

LC-Klasse 31, 1990–2000

Die Nullhypothese des H-Tests wurde für die Parameter A, PAR und FD in dem Zeitraum 1990–2000 abgelehnt. Auch die Ergebnisse des U-Tests 1 vs. 2 zeigten für diese Merkmale signifikante Unterschiede. Die Nullhypothese der Tests 1 vs. 3 wurden nur für die Formmaße PAR und FD abgelehnt. Zwischen den Typen 1 und 4 wurden nur für PAR signifikante Unterschiede festgestellt. Die Nullhypothese der U-Tests 2 vs. 3, 2 vs. 4 und 3 vs. 4 konnte für keines der Merkmale abgelehnt werden.

Zusammenfassung

In den unter 5.3.1 beschriebenen Ergebnissen der Erweiterung von Flächen einer LC-Klasse in Abhängigkeit der Nachbarschaft derselben Klasse ist der Einfluss der Auswahl der Testgebiete zu erkennen. So ist z. B. der Unterschied der Erweiterungen von *Mischwald* (131) mit Nachbarpolygonen derselben Klasse zwischen 1950–1990 und 1990–2000 auf den großen Flächenanteil der Renaturierungsgebiete im Testgebiet „Untere Mulde“ (DE07) in der ersten Periode zurückzuführen.

Die visuelle Darstellung der Verteilung der Standortstypen (Abbildung 5.18 bis Abbildung 5.20 auf Seite 120) zeigt deutlich die Unterschiede zwischen den LC-Klassen *Siedlung*, *Industriegebiete* und *Wald* bezüglich der Erweiterung von bestehenden Flächen. So entstanden die neuen Siedlungen und Waldflächen vorrangig im Anschluss an bereits bestehende Flächen derselben Klasse. Bemerkenswert ist dabei der hohe Anteil an Flächen des Standortstyps 1 im Wald, was auf Aufforstungen ehemaliger Kahlschlagsflächen hinweist. Neue *Industriegebiete* waren dagegen vorwiegend Erschließungen ohne direkt benachbarte *Industrie- und Gewerbeflächen*.

Die statistischen Untersuchungen hatten das Ziel der Differenzierung von erweiterten Flächen für die weitere Nutzung im Extrapolationsmodell. Dabei war von vorrangigem Interesse, ob sich die Flächenerweiterungen ohne Anschluss an bestehende Flächen derselben Landnutzungs-klasse (Typ 4; siehe auch Tabelle 4.8 auf Seite 44) von den anderen Standortstypen in Größe und Form unterschieden. Mit Hilfe der ausgewählten Parameter war diese Unterscheidung jedoch nicht grundsätzlich möglich.

Die Testergebnisse von Flächengröße (A) und Umfang-Flächen-Quotient (PAR) ähnelten einander. Jedoch ist der Strukturindex PAR nicht unabhängig von der Größe des betrachteten Polygons, so dass aus zwei unterschiedlich großen Patches mit derselben Form unterschiedliche PAR-Werte resultieren. Auch die fraktale Dimension (FD) ändert sich bei unterschiedlicher Flächengröße trotz identischer Form. Daher ähnelten die Testergebnisse der fraktalen Dimension denen des PAR. Der Formindex SI ist das einzige hier betrachtete Strukturmaß, das unabhängig von der Flächengröße ist. So standen die Ergebnisse des Formindex SI häufig im Gegensatz zu den beiden anderen Formmaßen. Er zeigte jedoch mit einer Ausnahme (LC-Klasse 112, U-Test (3 vs. 4)) zwischen 1990 und 2000 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standortstypen an.

Die beschriebenen Ergebnisse wurden durch die längliche Form der Transekte beeinflusst, da zwischen 3,9 % (112: 1990–2000) und 39,7 % (31: 1950–1990) aller betrachteten Veränderungsflächen durch die Außengrenze der Testgebiete begrenzt wurden. Das bedeutet, dass die vollständige

Flächengröße und Form dieser Patches im Rahmen der Untersuchung nicht erfasst wurden und die abgeschnittenen Grenzpolygone die Ergebnisse verfälschen können. Voraussetzung für eine erfolgreiche Einschätzung des Potenzials des statistischen Ansatzes ist die Nutzung von Daten, bei denen der Einfluss der Grenzpolygone minimiert werden kann, z. B. durch Auswahl von Kernflächen (core areas). Daher ist der statistische Ansatz zur Differenzierung der Standortstypen für die hier genutzten Daten und Strukturmaße nicht geeignet.

Eine weitere lohnende Untersuchung ist die Bestimmung des Einflusses der Größe oder der Form einer Nachbarschaftsfläche auf verschiedene Parameter neu entstehender Flächen. So könnten z. B. in Angrenzung an große urbane Regionen, wie Großstädte, andere Entwicklungen auftreten als in der Nähe von kleinen Gemeinden. Natürlich spielen hier ökonomische und politische Bedingungen eine wesentliche Rolle, die sich jedoch in der Veränderung der Landbedeckung manifestieren können. Diese Auswertungen konnten aufgrund der Form und Größe der Transekte nicht erfolgreich durchgeführt werden, da nur kleine Ortschaften komplett mit den Testgebieten erfasst wurden.

5.4 Distanzanalysen

5.4.1 Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu FFH-Gebieten

Veränderungen innerhalb und außerhalb der NATURA2000-Gebiete

In der ersten Teilanalyse wurden Landbedeckungsänderungen in Relation zur Entfernung zu NATURA2000-Gebieten untersucht, um den Zusammenhang zwischen Unterschutzstellung einer Region und LC-Veränderungen zu analysieren. In Tabelle 5.27 sind die Flächengrößen der FFH-Gebiete (innerhalb) den umliegenden Regionen (außerhalb) auf dem Areal der Transekten gegenübergestellt.

Tabelle 5.27: Flächengröße (in km²) der NATURA2000-Gebiete (innerhalb) und der umliegenden Regionen (außerhalb) auf dem Areal der Transekte

Transekt	Fläche außerhalb (km ²)	Fläche innerhalb (km ²)
DE01	31,87	1,24
DE02	20,64	12,47
DE03	26,58	6,52
DE04	24,11	9,04
DE05	21,97	11,16
DE06	21,99	11,14
DE07	32,47	0,65
DE08	21,37	11,72
DE09	5,62	27,49

In den Testgebieten nahmen die NATURA2000-Gebiete Flächengrößen zwischen 0,65 km²

(DE07) und 27,49 km² (DE09) ein. Die Flächenanteile der Veränderungen von Landbedeckungsklassen innerhalb bzw. außerhalb von NATURA2000-Gebieten wurden miteinander verglichen, indem die absoluten Veränderungen anhand der Gesamtflächengröße der Region mit bzw. ohne Schutzstatus normiert wurden (siehe Tabelle 5.27 auf der vorherigen Seite).

Die Ergebnisse der neun Transekte sind in Abbildung 5.21 dargestellt.

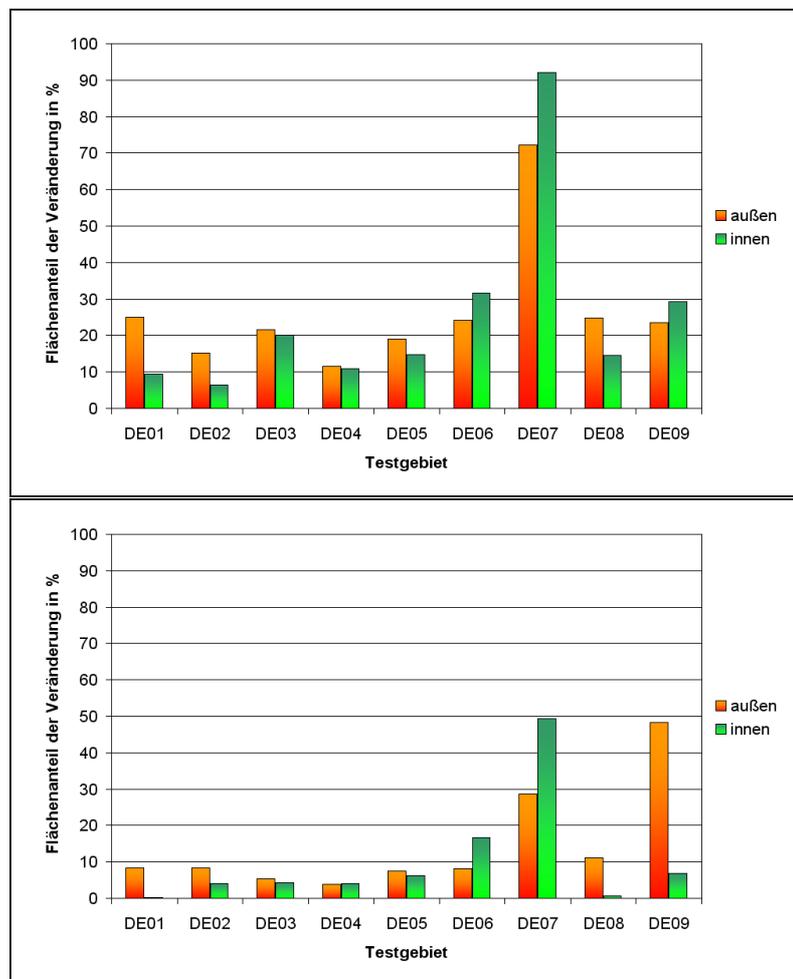


Abbildung 5.21: Flächenanteil der Gesamtveränderungen in den Perioden 1950 bis 1990 (oben) bzw. 1990 bis 2000 (unten) innerhalb und außerhalb der NATURA2000-Gebiete

Die in beiden Perioden erwarteten größeren Flächenanteile der Veränderung außerhalb der FFH-Gebiete zeigten sich nur für die Transekte DE01, DE02, DE05 und DE08. Obwohl einige Schutzgebiete erst 1990 und später ausgewiesen wurden, konnten auch im Zeitraum 1950–1990 die größeren Gesamtveränderungen außerhalb der NATURA2000-Gebiete beobachtet werden. So wurde z. B. der Nationalpark (NLP) Sächsische Schweiz (DE02, DE03) zwar erst 1990 eingerichtet, jedoch wurden einzelne kleinere Naturschutzgebiete (NSG) schon früher ausgewiesen, so z. B. das NSG „Bastei“ (in DE02) im Jahr 1938. Der Nationalpark Jasmund (DE08) wurde ebenfalls 1990 errichtet, jedoch bestand ein gleichnamiges NSG bereits seit 1929. Auch ein Teil des FFH-Gebiets „Elbauen zwischen Saalemündung und Magdeburg“ (DE05) besitzt bereits seit 1961 einen aktiven

Schutzstatus (NSG Kreuzhorst).

Für DE03 und DE04 waren die Unterschiede zwischen Schutzgebieten und Umland nur marginal. Der Nationalpark Hainich (DE04) wurde erst 1997 eingerichtet, und es wurden Teile des heutigen NLPs bis zum Anfang der 90er Jahre als militärischer Übungsplatz (Kindel) genutzt.

Sowohl in der Periode 1950–1990 als auch in 1990–2000 zeigten die Testgebiete DE06 und DE07 dagegen größere Flächenanteile von Veränderungen innerhalb der NATURA2000-Gebiete, wobei jedoch die geringe Flächengröße der Schutzgebiete in DE07 beachtet werden muss (siehe Tabelle 5.27 auf Seite 124). Die drei FFH-Gebiete in DE06 und DE07 entstanden in ihrer heutigen Form erst nach 1990. Während das Flussbett der Mulde schon 1975/76 im Rahmen von Tagebauaktivitäten geändert wurde, entstand das NSG „Schlauch Burgkernitz“ erst im Jahr 1995 aus einem offengelassenen Tagebau. Nach der Aufgabe der militärischen Nutzung des Truppenübungsplatzes (TÜP) „Oranienbaumer Heide“ in den 90er Jahren wurde im Jahr 1998 die „Mittlere Oranienbaumer Heide“ als NSG ausgewiesen.

Das Transekt DE09 nimmt eine Sonderstellung ein. Während in der Periode 1950–1990 die Veränderungen innerhalb des heutigen Nationalparks Müritz größer als im Umland waren, stieg der Flächenanteil der Veränderungen zwischen 1990 und 2000 außerhalb deutlich an, bei gleichzeitig deutlich geringeren Änderungen im Schutzgebiet. Dieser Wechsel kann durch die Ausweisung des Nationalparks Müritz im Jahr 1990 sowie die Stilllegung des TÜP Granzin-Adamsdorf im Jahr 1993 erklärt werden.

Mit Hilfe der Flächenanteile der Gesamtveränderung innerhalb und außerhalb von NATURA-2000-Gebieten konnte keine eindeutige Aussage über den Einfluss von Schutzgebieten auf die Landbedeckungsveränderung getroffen werden (Abbildung 5.21 auf der vorherigen Seite). Daher wurden in einem weiteren Schritt die Veränderungstypen innerhalb und außerhalb aller FFH-Gebiete in den Testgebieten untersucht. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten LC-Veränderungstypen sind in Tabelle 5.28 erklärt.

Tabelle 5.28: Typen von Veränderungen der LC-Klasse eines Initialzeitpunkts t_0 und Zielpunkt t_1 , zusammengefasst auf CLC-Level 1; z. B. intern 1 = Veränderungen innerhalb der CLC-Klasse 1 (bebaute Flächen), z. B. von Siedlung zu Gewerbegebiet.

LC_{t_0}	LC_{t_1}	LC-Veränderungstyp
$\neq 1$	1	zu 1
$\neq 2$	2	zu 2
$\neq 3$	3	zu 3
$\neq 4$	4	zu 4
$\neq 5$	5	zu 5
1	1	intern 1
2	2	intern 2
3	3	intern 3
4	4	intern 4
5	5	intern 5

Wie die Abbildung 5.22 zeigt, unterschieden sich die Veränderungstypen innerhalb und außerhalb aller NATURA2000-Gebiete deutlich voneinander. Für diese Untersuchung wurden alle Transekte auf der Datenbankebene zu einem Testgebiet zusammengefasst.

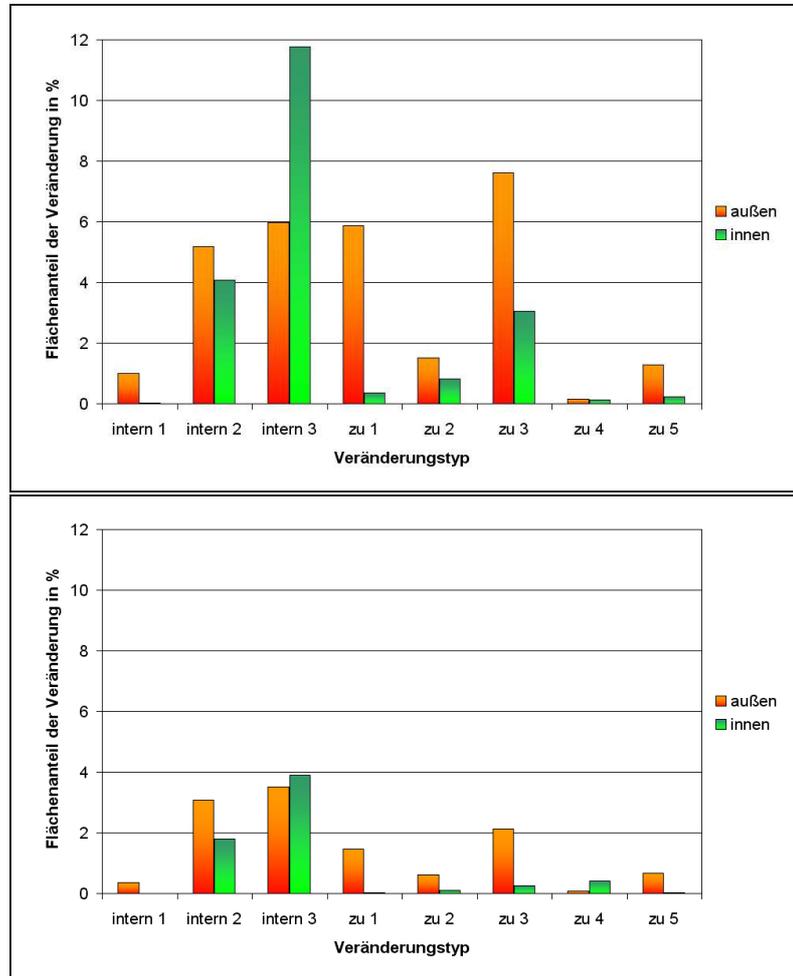


Abbildung 5.22: Flächenanteil der Typen der LC-Veränderungen in den Perioden 1950 bis 1990 (oben) bzw. 1990 bis 2000 (unten) innerhalb und außerhalb der NATURA2000-Gebiete

In beiden Untersuchungsperioden betrafen die Veränderungen innerhalb der Schutzgebiete hauptsächlich interne Veränderungen in Wäldern bzw. naturnahen Flächen (intern 3), sowie landwirtschaftlichen Flächen (intern 2). Die Schutzgebiete waren überdies im Zeitraum 1950–1990 auch durch die Veränderung in Wälder bzw. naturnahe Flächen (zu 3) sowie landwirtschaftliche Flächen (zu 2) gekennzeichnet.

Außerhalb der NATURA2000-Gebiete waren alle Veränderungstypen zu beobachten, wobei gegenüber den inneren Regionen der Schutzgebiete hier vor allem die Veränderungen zu bebauten Flächen (zu 1) hervorzuheben sind. Aber auch interne Veränderungen bebauter Flächen (intern 1), landwirtschaftlicher Flächen (intern 2) und naturnaher Flächen bzw. Wälder (intern 3) sowie die Veränderungen zu naturnahen Regionen (zu 3) traten auf.

Veränderungen in multiplen Pufferzonen

Um festzustellen, ob die Einrichtung von Naturschutzgebieten zu lokalen abrupten Wechseln der LC-Veränderungen führen, wurden jeweils fünf Pufferzonen mit einer Breite von 200 m in und um die Schutzgebiete erstellt. Die für alle Transekte summierten Flächenanteile der Veränderungen in diesen Zonen sind in Abbildung 5.23 dargestellt.

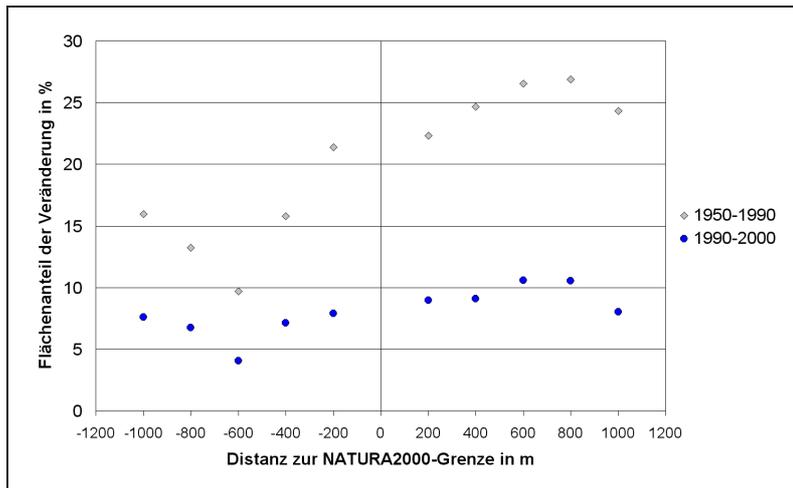


Abbildung 5.23: Flächenanteile der Gesamtveränderungen zwischen 1950 und 1990 (grau) bzw. 1990 und 2000 (blau) in multiplen Pufferzonen innerhalb von (-) und um (+) NATURA2000-Gebiete

Da der überwiegende Teil der Schutzgebiete in den Transekten erst im bzw. nach dem Jahr 1990 eingerichtet wurde, wurden deutliche Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsperioden erwartet. In der zweiten Periode wurden zwar geringere Flächenanteile der Veränderungen in den multiplen Pufferzonen gegenüber dem ersten Zeitraum beobachtet, dennoch ähnelten sich die Verteilungen der Veränderungen in beiden Perioden. In beiden Zeiträumen wurden außerhalb der Schutzgebiete ein Trend zu höheren Werten in Abhängigkeit von der Entfernung festgestellt sowie ein charakteristisches Absinken der Flächenanteile innerhalb der Schutzgebiete bis -600 m. Der Anstieg der Werte bei größerer negativer Distanz als 600 m zur Grenze beruhte z.B. auf großflächigen Veränderungen innerhalb der Oranienbaumer Heide (ehemaliger TÜP) sowie der Nationalparke Müritz und Sächsische Schweiz.

Im abschließenden Arbeitsschritt wurde die differenzierte Betrachtung der Veränderungstypen mit den multiplen Pufferzonen kombiniert. Die Ergebnisse sind den Abbildungen 5.24 auf der nächsten Seite und 5.25 auf Seite 130 zu entnehmen. Die Ordinaten (y) beider Abbildungen sind nicht einheitlich dargestellt, um innerhalb einer Periode die einzelnen Veränderungstypen klarer differenzieren zu können.

Die Verteilungen der Veränderungen in den Zonen ähnelten sich in beiden Untersuchungsperioden, obwohl die prozentuale Ausprägung der Flächenanteile im Zeitraum 1950–1990 gegenüber 1990–2000 etwa doppelt so hoch war. Besonders auffällig sind die Veränderungen zu bebauten Flächen (zu 1), die sich unabhängig vom Zeitraum innerhalb (negative Distanzwerte) und au-

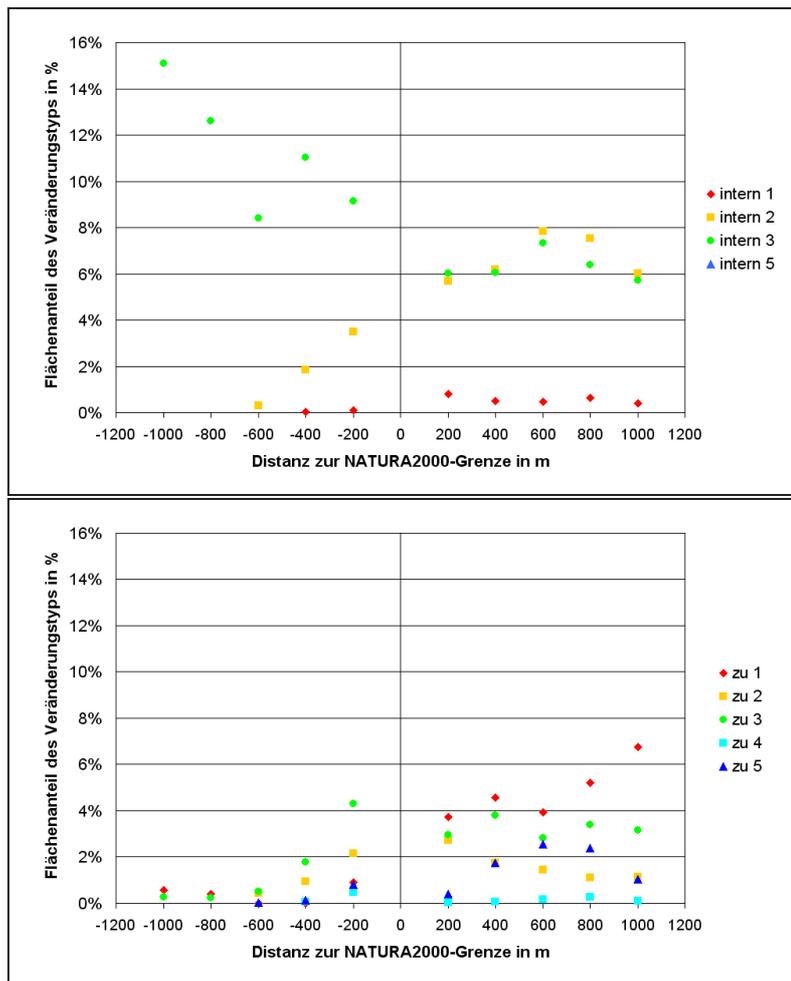


Abbildung 5.24: Flächenanteile der LC-Veränderungstypen zwischen 1950 und 1990 in multiplen Pufferzonen innerhalb von (-) und um (+) NATURA2000-Gebiete

ßerhalb (positive Distanzwerte) der Schutzgebiete deutlich voneinander unterschieden. Hier stellt die Schutzgebietsgrenze eine eindeutige Barriere dar. Ebenso wie die internen Veränderungen in bebauten Flächen (intern 1) waren die Veränderungen zu bebauten Gebieten (zu 1) außerhalb der FFH-Gebiete höher als innen.

Interne Veränderungen landwirtschaftlicher Flächen (intern 2) waren außerhalb der Schutzgebiete in allen Entfernungen der bedeutendste Veränderungstyp. Diese Veränderungen traten auch innerhalb der Schutzgebiete auf. Doch nahmen die Flächenanteile der internen Veränderungen (intern 2) und der Veränderung zu landwirtschaftlichen Flächen (zu 2) innerhalb der NATURA2000-Gebiete bis zu einer Distanz von 600 m zur Grenze drastisch ab.

Innerhalb der Schutzgebiete waren die internen Veränderungen der naturnahen Flächen (intern 3) in beiden Perioden am wichtigsten. Mit zunehmender Entfernung zur Gebietsgrenze nahmen die Flächenanteile deutlich zu. Dagegen sanken die Flächenanteile der Veränderungen zu naturnahen Gebieten (zu 3) mit steigender Distanz zur Schutzgebietsgrenze. Auch außerhalb der FFH-Gebiete wurden bedeutende interne Veränderungen (intern 3) aber auch Veränderungen zu naturnahen

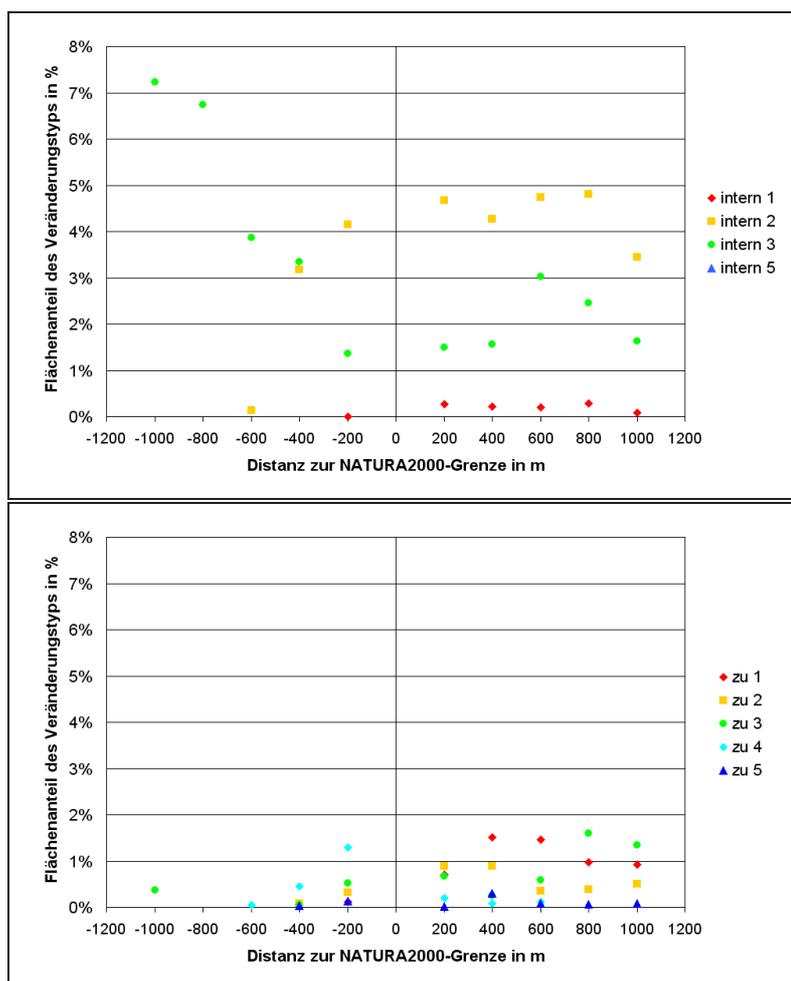


Abbildung 5.25: Flächenanteile der LC-Veränderungstypen zwischen 1990 und 2000 in multiplen Pufferzonen innerhalb von (-) und um (+) NATURA2000-Gebiete

Regionen (zu 3) beobachtet.

Interne Veränderungen in Feuchtgebieten (intern 4) traten in keiner Periode auf. Bemerkenswerte Veränderungen zu Feuchtgebieten (zu 4) wurden nur im Zeitraum 1990–2000 innerhalb der Schutzgebiete in der Nähe der Schutzgebietsgrenze erfasst.

Interne Veränderungen der Wasserflächen (intern 5) waren in beiden Perioden unbedeutend. Dagegen wurde eine Zunahme der Wasserflächen (zu 5) außerhalb der Schutzgebiete zwischen 1950 und 1990 beobachtet, was auf geflutete Tagebaue zurückgeführt werden kann.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigten, dass sich die Landbedeckungsänderungstypen vor und nach der Schutzgebietsausweisung ähnelten, obwohl die meisten Schutzgebiete erst in den 90er Jahren ausgewiesen wurden. Aus dem ähnlichen Verhaltensmuster der LC-Veränderungstypen in beiden

Zeiträumen darf jedoch nicht geschlossen werden, dass eine Unterschutzstellung von Flächen keinen positiven Einfluss im Sinne des Naturschutzes auf die LC-Änderung hat. So traten z. B. in 1950–1990 innerhalb der NATURA2000-Gebiete noch geringe Veränderungen zu bebauten Flächen auf, wohingegen in 1990–2000 überhaupt keine Änderungen beobachtet wurden. Auch MÜCHER ET AL. (2006) stellten fest, dass sich die Typen der Landschaftsveränderungen innerhalb und außerhalb von Naturschutzgebieten deutlich unterschieden, obwohl die Flächenanteile der Gesamtveränderungen ähnlich waren. Die Ergebnisse der ersten Teilanalyse belegen, dass die untersuchten aktuell geschützten Flächen bereits in einer weniger intensiven Art und Weise bewirtschaftet wurden als umliegende Regionen, bevor sie einen aktiven Schutzstatus erhielten. Dies kann durch mangelnde Eignung als nutzbare Flächen (z. B. Hangneigung, Unzugänglichkeit, Bodenfruchtbarkeit, Wasserhaushalt), aber auch durch lokale politische und sozioökonomische Interessen begründet sein.

Eine technische Einschränkung war die fehlende Information zu weiteren Schutzgebieten außerhalb der Testgebietsgrenzen. Dadurch könnten Pufferzonen, welche um diese Gebiete gelegt werden, in die Transekte hineinragen. Um diese Einschränkung teilweise zu minimieren wurde die maximale Pufferzone bei 1000 m begrenzt und die übrige Landschaft (> 1000 m) zu einer Zone zusammengefasst.

5.4.2 Veränderungen in Abhängigkeit von der Distanz zu LC-Klassen

Flächenverlust und -gewinn in Pufferzonen um Grenzen von Landbedeckungspatches

Diese Teilanalyse beruhte auf der Kalkulation von Flächenanteilen in Abhängigkeit von der Entfernung zu allen Patches einer LC-Klasse. Anlehnend an Kapitel 5.3.2 werden exemplarisch die Ergebnisse der LC-Klassen *Siedlungsflächen* (112), *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) und *Nadelwald* (312) in der Abbildung 5.26 auf der nächsten Seite dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Flächenanteile sind die Ordinaten (y) nicht einheitlich skaliert.

Die Flächenverluste sind in den Diagrammen im negativen Bereich dargestellt, die Gewinne in den Distanzklassen größer 0. Der Kurvenverlauf der Veränderungen unterschied sich für die LC-Klassen und Zeiträume teilweise deutlich voneinander. So traten die größten Flächengewinne und Verluste der *Siedlungsflächen* (112) und *Nadelwaldflächen* (312) in der unmittelbaren Nähe der Grenze der Landbedeckungsklasse auf. Die Veränderungen der *Gewerbe- und Industriegebiete* (121) wiesen zwischen 1950 und 1990 eine ähnliche Tendenz wie die LC-Klasse 112 auf. Im Zeitraum 1990–2000 jedoch wurden in den Pufferzonen mit negativem Vorzeichen (< 0) hohe Verluste der LC-Klasse beobachtet.

Das Verhalten der stark zerklüfteten Klassen 112 und 312 ist u. a. auf die unterschiedlichen Flächengrößen der einzelnen Pufferzonen zurück zu führen. Die Zonengröße nahm von der Grenze zu den entfernteren Puffern hin ab. Der hohe Detaillierungsgrad der Interpretationsergebnisse führte zu dieser Verteilung der Pufferflächengröße (Beispiel siehe Abbildung 5.27 auf Seite 133). So traten z. B. innerhalb der *Nadelwaldflächen* (312) viele kleine Flächen auf, die im Ursprungsjahr kein Wald waren, z. B. Kahlschlagsflächen. Dadurch nahmen die Zonen „-100 m bis 0 m“ und „0 m bis 100 m“ die größten Flächen der Testgebiete ein.

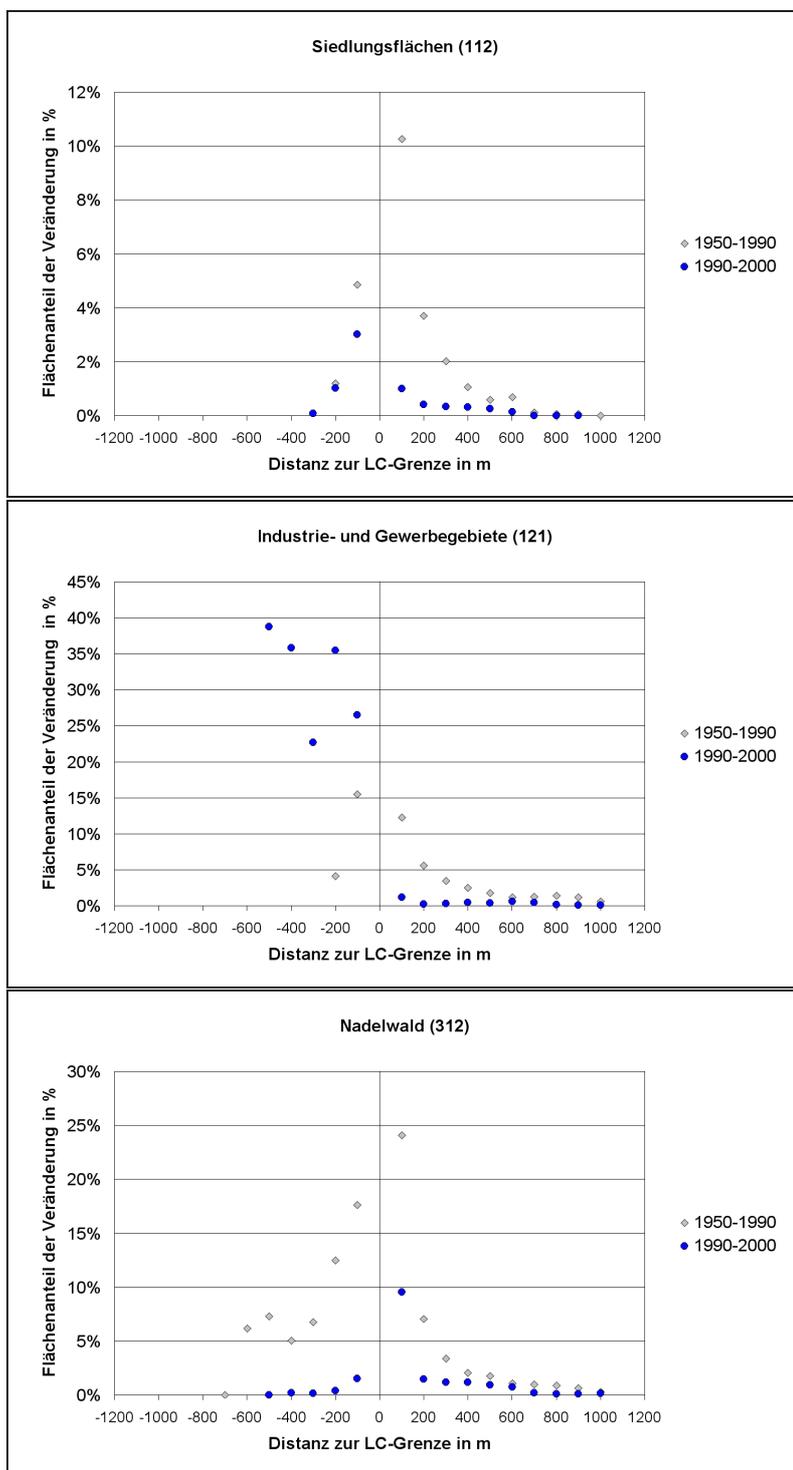


Abbildung 5.26: Flächenanteile des Gewinns (> 0 m) bzw. Verlusts (< 0 m) 1950–1990 (grau) bzw. 1990–2000 (blau) in 100-m-Pufferzonen innerhalb und um bestehende Patches der LC-Klassen 112, 121 und 312

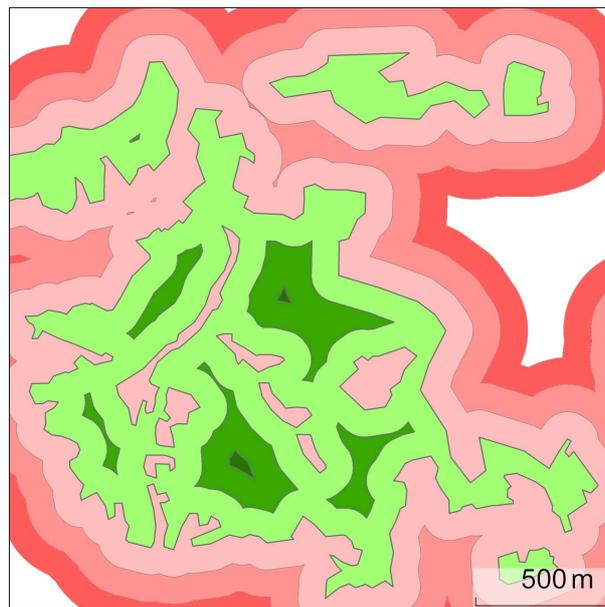


Abbildung 5.27: Beispiel der unterschiedlichen Pufferzonenfläche in (grün) und um (rot) Nadelwald. Die Fläche der Puffer nimmt aufgrund der Komplexität der Polygone mit zunehmender Entfernung zur Nadelwaldgrenze ab. Die Grenze zwischen grünen und roten Flächen stellt die Waldgrenze dar.

Flächengewinn in Abhängigkeit zur euklidischen Distanz

Ein Nachteil bei der Kalkulation mit Pufferzonen ist die Kompartimentierung der neu entstanden Patches im Zieljahr. Daher wurde die minimale euklidische Distanz zwischen den Grenzlinien der neuen und bereits bestehenden Patches einer LC-Klasse ermittelt, um festzustellen, ob Flächengewinne in der Nähe bereits bestehender Polygone derselben Klasse auftraten. Diese Untersuchung ist ebenfalls eine Erweiterung der Nachbarschaftsanalyse (Kapitel 5.3.1). Abbildung 5.28 auf der nächsten Seite zeigt die Ergebnisse für die drei Klassen *nicht durchgängig städtische Prägung* (112), *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) sowie *Waldflächen* (31).

Wie Abbildung 5.28 auf der nächsten Seite zeigt, wurden *Siedlungsflächen* (112) in den Testgebieten vorwiegend durch Flächen erweitert, die direkt an bestehende Patches angrenzen (0 m). In der Periode 1950–1990 entstanden bereits 94,4 % der neuen Siedlungsflächen in einem Abstand bis 200 m zur originalen Fläche. Im Zeitraum 1990–2000 entwickelten sich sogar alle neuen Flächen (100 %) innerhalb des maximalen Abstands von 200 m.

Die Ergebnisse für die *Industrie- und Gewerbegebiete* (121) unterschieden sich deutlich von Klasse 112. Während sich zwischen 1950–1990 noch 51,5 % der neuen *Industrieflächen* mit Anschluss an bestehende *Industriegebiete* entwickelten, waren im Zeitraum 1990–2000 nur 22,5 % der neuen Flächen Erweiterungen mit direktem Kontakt an alte Gebiete. Die Anstiege der Flächenanteile im Diagramm symbolisieren das Entstehen neuer *Industrieflächen* in unterschiedlichen Entfernungen zu bereits bestehenden Gebieten.

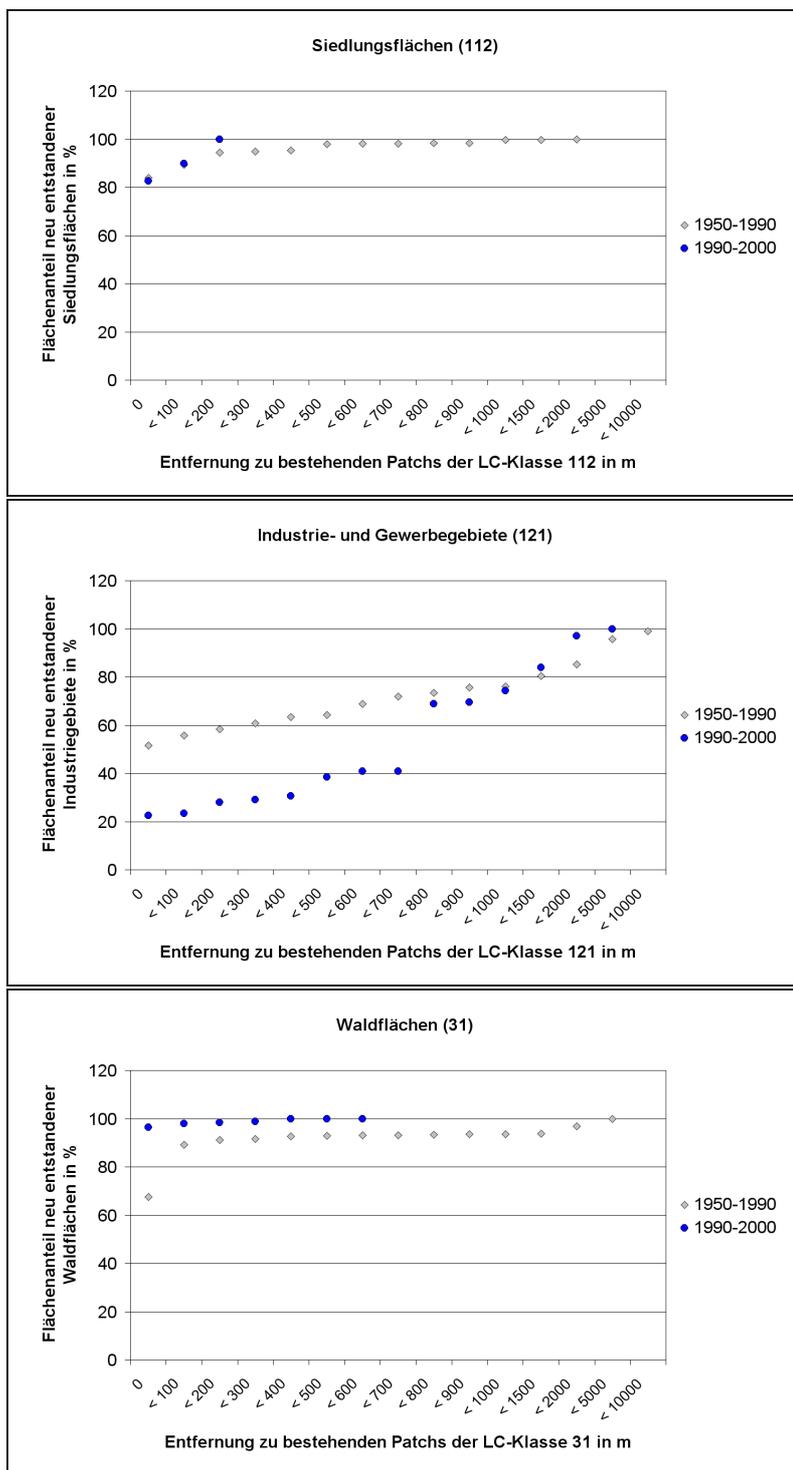


Abbildung 5.28: Kumulierte Flächenanteile des Gewinns 1950–1990 (grau) bzw. 1990–2000 (blau) in Abhängigkeit von der minimalen euklidischen Distanz zwischen Grenzlinien neuer und bestehender Patches der LC-Klassen 112, 121 und 31

Waldflächen (31) entstanden in der Periode 1950–1990 zu 67,6 % mit direktem Anschluss an alte Waldflächen. Allerdings wurden innerhalb eines maximalen Abstands von 200 m schon 91,2 % aller Flächengewinne von Waldflächen beobachtet. Im Zeitraum 1990–2000 entstanden bereits 96,3 % aller neuen Waldflächen mit Anschluss an bestehende Waldgebiete.

Die Ergebnisse unterstützen die bereits gewonnenen Erkenntnisse aus den Nachbarschaftsanalysen bzw. des ersten Teils der Distanzanalysen. Nahezu alle neuen Siedlungen und Waldflächen traten bereits in Distanzen von wenigen hundert Meter entfernt von bestehenden Flächen auf.

Die Analysemethode ist jedoch aufgrund des nicht genau bestimmbareren Zeitpunktes der Entstehung einer neuen Fläche eingeschränkt. Abbildung 5.29 verdeutlicht diesen Sachverhalt. Die rote Fläche — beispielsweise eine Siedlungsfläche — existierte schon vor dem Jahre 1990, wurde also 1990 erfasst. In den folgenden Jahren entstanden neue Siedlungsflächen, im Bild grau dargestellt. Angenommen, die Fläche *X* wurde nun 1992 geschaffen, das Polygon *Y* erst drei Jahre später. Der minimale Abstand zwischen der 1995 bereits bestehenden Fläche *X* und dem neu entstandenen Areal *Y* betrug also nur 25 m (grüner Doppelpfeil). Aufgrund der Interpretation von Fernerkundungsdaten zu den Stichjahren 1990 und 2000 „entstanden“ beide graue Flächen für den Interpretierer jedoch im selben Zeitraum, und die minimale Entfernung von *Y* zu einer bereits bestehenden roten Fläche ist nun mit 70 m (blauer Doppelpfeil) erheblich größer. Je länger der betrachtete Zeitraum ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für Abweichungen von der kalkulierten minimalen Distanz zwischen erweiterter Fläche und bereits bestehender Fläche einer Landbedeckungsklasse.

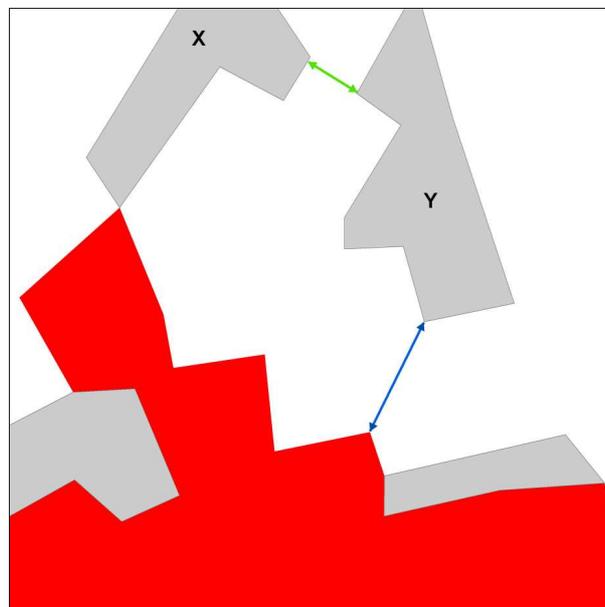


Abbildung 5.29: Einschränkung der Analysemethode aufgrund des nicht exakt bestimmbareren Entstehungszeitpunktes neuer Flächen

5.5 Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren

Dieses Kapitel beschreibt die Auswirkungen der Höheninformationen auf die Flächenanteile der LC-Klassen sowie die Landschaftsstrukturmaße am Beispiel des Transekts „Hintere Sächsische Schweiz“ (DE03). Im zweiten Abschnitt erfolgte die Analyse des Zusammenhanges von Hangneigung und Landbedeckung. Soweit nicht explizit angegeben, wurden alle Untersuchungen mit den LC00-Daten (Jahr 2000) durchgeführt.

5.5.1 Flächen und Veränderungen

Zunächst wurde der Einfluss des Datenformats auf die Flächen der Landbedeckung des Transekts DE03 untersucht. Zu diesem Zweck wurden die planimetrische Gesamtflächen (2D) des Testgebiets DE03 auf Basis von Raster- und Vektordaten miteinander verglichen (Tabelle 5.29).

Tabelle 5.29: Differenzen zwischen raster- und vektorbasierter Berechnung der Gesamtfläche (2D) des Transekts DE03 in Abhängigkeit von der Auflösung des DGM

Auflösung des DGM	Flächendifferenz zwischen raster- und vektorbasierter Datenbasis
m	km ²
20	0,0014
40	0,0198
80	0,0998

Bei einer Auflösung der Rasterdaten von 20 m war der Unterschied der Transektfläche (etwa 33,3 km²) zwischen der raster- und vektorbasierten Kalkulation mit 0,0014 km² vernachlässigbar. Mit abnehmender Bodenauflösung des DGM (20 m ⇒ 40 m ⇒ 80 m) nahmen die Differenzen zwischen raster- und vektorbasierten Kalkulationsergebnissen zu, lagen jedoch selbst beim DGM80 unter 0,1 km².

Obwohl zwischen Raster- und Vektordaten bei der Gesamtflächenbetrachtung keine nennenswerten Unterschiede festgestellt wurden (siehe Tabelle 5.29), führte die Verringerung der Auflösung der Rasterdaten auf 80 m zu einem Verlust von Informationen auf Klassen- bzw. Patchebene. So wurden 30 von 340 Patches im Rasterformat keine Flächeninformationen zugewiesen. Dies betraf Polygone, die kleiner bzw. schmaler als die Auflösung des Geländemodells, also 80 m, waren. Die Interpretationsregeln (siehe Kapitel 4.2; Mindestbreite von 20 m und Mindestfläche von 0,5 ha) verhinderten dieses Problem bei den höher auflösenden DGMs.

3D-/2D-Flächenquotienten

In weiteren Schritten wurden die Ergebnisse der drei methodischen Ansätze zur Berechnung der 3D-Flächen (siehe Kapitel 4.7.1) miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurde der 3D-/2D-

Flächenquotient kalkuliert, der den relativen Unterschied zwischen der 3D-Oberfläche und der projizierten 2D-Fläche hervorhebt. So beschreibt ein Quotient von 1,03 eine 3D-Fläche, die 3 % größer als die entsprechende 2D-Fläche ist.

In Tabelle 5.30 sind die Quotienten zwischen 3D-Oberfläche und planimetrischer Fläche (2D) für die Gesamtfläche des Transekts DE03 zusammengefasst. Dabei wurden die unterschiedlichen Auflösungen der digitalen Geländemodelle verglichen.

Tabelle 5.30: 3D-/2D-Gesamtflächenquotienten für das Transekt DE03 nach den Methoden SLOPE, JENNESS und TIN in Abhängigkeit von der Auflösung des DGM

Auflösung des DGM in m	SLOPE	JENNESS	TIN
20	1,0377	1,0475	1,0442
40	1,0302	1,0382	1,0366
80	1,0230	1,0331	1,0320

Die Quotienten lagen beim DGM20 zwischen 1,0377 (SLOPE) und 1,0475 (JENNESS) und beim DGM80 zwischen 1,0229 (SLOPE) und 1,0331 (JENNESS). Die Methode nach JENNESS zeigte generell größere 3D-/2D-Quotienten als bei der direkten Berechnung mittels Hangneigung (SLOPE). Die Bestimmung der Oberfläche mit Hilfe der irregulären Dreiecksvermaschung (TIN) resultierte in Ergebnissen, die sich zwischen den beiden anderen Methoden positionierten.

Je heterogener das Relief in einem Testgebiet ist, desto größer ist der Unterschied zwischen den projizierten Flächen und den 3D-Oberflächen von thematischen Landschaftsklassen. Wie erwartet, beeinflusste aber auch die Auflösung des digitalen Geländemodells den 3D-/2D-Flächenquotienten. Kleinräumige Höhenunterschiede wurden bei den geringer aufgelösten DGMs ausgeglichen, was zu niedrigeren Quotienten führte (Tabelle 5.30).

Um die Heterogenität des Reliefs innerhalb der Landbedeckung des Transekts aufzuzeigen, wurden die 3D-/2D-Quotienten für die einzelnen LC-Klassen (CLC-Level 3) berechnet und in Abbildung 5.30 auf der nächsten Seite dargestellt.

Abbildung 5.31 auf der nächsten Seite vergleicht die 3D-/2D-Flächenquotienten auf Basis unterschiedlicher Auflösungen des DGM für die LC-Klassen im Transekt DE03 für das Interpretationsjahr 2000.

Die bereits bei der Gesamtfläche erfasste Rangfolge der Methoden bezüglich der 3D-/2D-Quotienten — SLOPE kleiner als TIN kleiner als JENNESS — konnte auch bei den Quotienten der einzelnen Landnutzungsklassen beobachtet werden (Abbildung 5.30 auf der nächsten Seite). Mit Ausnahme der Klasse *Felsen* (332) waren die Differenzen zwischen den Methoden in den LC-Klassen gering. Daher wurden in den weiterführenden Analysen stellvertretend nur die TIN-Oberflächen ausgewertet.

Die Verringerung der Bodenauflösung des DGM führte vor allem in den semi-natürlichen Landnutzungsklassen, wie z. B. Wald (311–313) und *Felsen* (332), aber auch bei den *städtischen Grünflächen* (141) und *Sport- und Freizeitanlagen* (142) zu einer Abnahme des Flächenquotienten

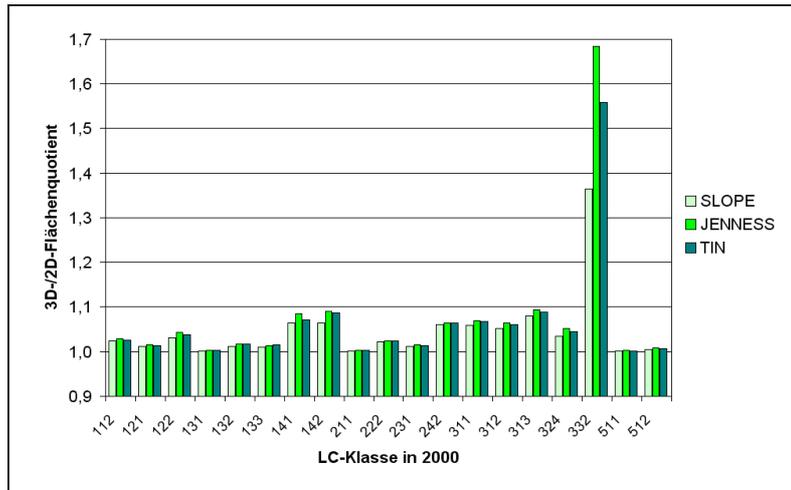


Abbildung 5.30: Vergleich der 3D-/2D-Flächenquotienten für die LC-Klassen auf Basis verschiedener Berechnungsmethoden

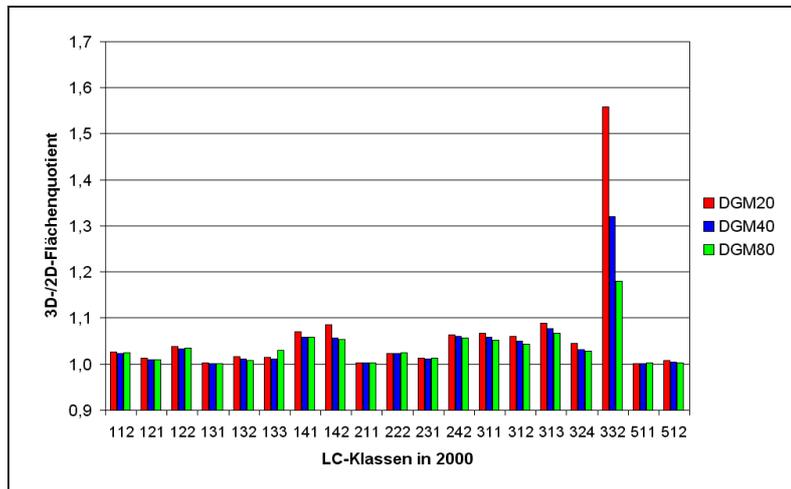


Abbildung 5.31: Vergleich der 3D-/2D-Flächenquotienten für die LC-Klassen auf Basis verschiedener DGMs (Methode: TIN)

(Abbildung 5.31). Diese Klassen unterlagen den größten Reliefschwankungen im Testgebiet und reagierten daher am deutlichsten auf den Effekt der Auflösungsreduktion. Eine Besonderheit stellte die Klasse *Baustellen* (133) dar, die bei DGM80 größere Oberflächenwerte als bei den höheren Auflösungen des Geländemodells zeigte. Die Klasse bestand aus nur einem Polygon am Ufer der Elbe. Aufgrund des angrenzenden Elbhanges führte der Resampling-Prozess, der für die Generierung des DGM80 aus dem DGM20 genutzt wurde, zu einem Anstieg der lokalen Hangneigung in diesem Polygon und somit zu einer größeren Oberfläche.

Mit Ausnahme der Landbedeckungsklasse *Felsen* (332) wurde für keine Klasse ein 3D-/2D-Quotient größer als 1,1 ermittelt (Abbildung 5.30). Die urbanen Landnutzungsklassen wiesen niedrige Quotienten ($< 1,05$) im Testgebiet DE03 auf, da *Siedlungen* (112), *Industrie* (121) und *Verkehrswege* (122) überwiegend im ebenen Gelände des Testgebiets auftraten. Ausnahmen waren *urbane Grünflächen* (141), zu denen z. B. Friedhofsanlagen und Parks zählen, und *Sport- und*

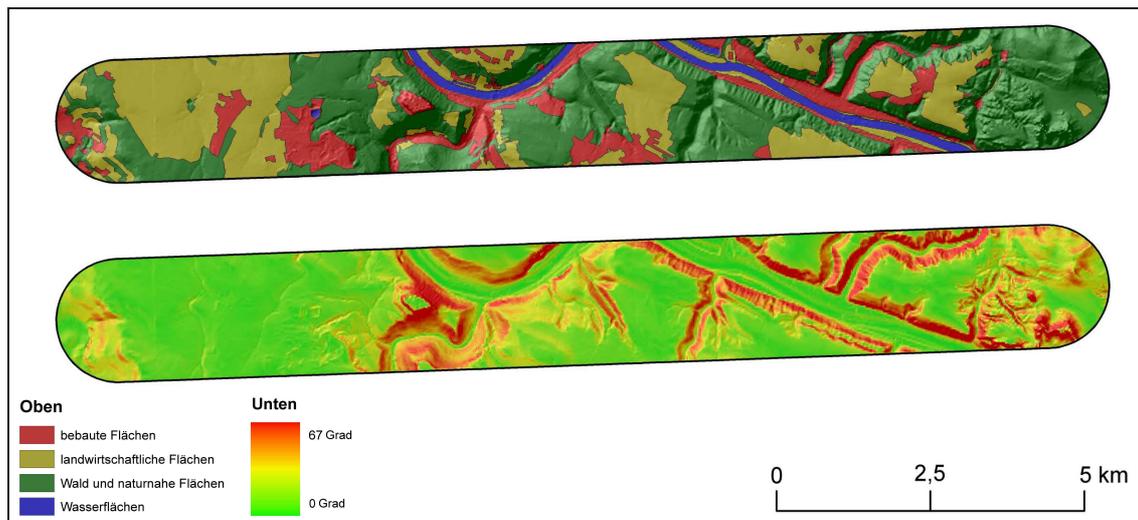


Abbildung 5.32: Gegenüberstellung von LC-Klassen und Hangneigung im Jahr 2000 in DE03. Oben: Landbedeckung mit Reliefschummerung; unten: Hangneigung in Grad (DGM20)

Freizeitanlagen (142), wie z. B. die Festung Königstein. *Nicht bewässertes Ackerland* (211), *Obstplantagen* (222) und *Weideland* (231) wurden anhand von 3D-/2D-Quotienten nahe 1 beschrieben. Diese LC-Klassen befanden sich vorwiegend auf den Ebenen zwischen den Tälern der Elbzuflüsse und der Elbe. Kleingartenanlagen wurden in der vorliegenden Arbeit als Klasse 242 klassifiziert und kamen im Testgebiet DE03 unter anderem auf Flächen mit moderater Hangneigung vor (siehe auch Kapitel 5.5.2). Semi-natürliche Landbedeckungsklassen wie Wald (311, 312, 313) oder *Felsen* (332) dominierten in Gebieten mit größerer Reliefenergie, z. B. in der Sächsischen Schweiz im Osten des Transekts. Bei lokaler Konsistenz zwischen Geländemodell und thematischer Klassifizierung kann für *Wasserläufe* (511) und *Wasserflächen* (512) ein 3D-/2D-Flächenquotient ungleich 1 ausgeschlossen werden.

In Abbildung 5.32 ist die räumliche Verteilung der LC-Klassen (aggregiert auf CLC-Level 1) der Hangneigung im Transekt DE03 gegenübergestellt.

Flächenveränderungen

Im folgenden Abschnitt sind die Untersuchungsergebnisse von Flächenveränderungen der Landbedeckung beschrieben. Soweit nicht anders beschrieben, basieren alle Ergebnisse der Veränderungen auf Interpretationslevel 3 (CLC, vergleiche auch Kapitel 4.2) sowie für die 3D-Flächen auf der Methode TIN und dem DGM20. Tabelle 5.31 auf der nächsten Seite fasst die Ergebnisse der Gesamtveränderungen im Testgebiet DE03 auf Grundlage der 2D- bzw. 3D-Flächen zusammen.

Die Differenzen zwischen den Flächenanteilen der Gesamtveränderung zwischen 2D- und 3D-Fläche betrug bei Nutzung des DGM20 zwischen 0,04% in der Periode 1990–2000 und 0,2% im Zeitraum 1950–2000 (Tabelle 5.31 auf der nächsten Seite). Mit abnehmender Auflösung des Geländemodells stiegen die Flächenanteile der Veränderungen im Transekt und näherten sich der planimetrischen Flächenveränderung.

Tabelle 5.31: Vergleich der Gesamtveränderungen von 2D-Fläche und 3D-Oberflächen in CLC-Level 3, dargestellt als relativer Anteil (in %) an der Testgebietsfläche von Transekt DE03.

Zeitraum	2D	3D	3D	3D
		20 m	40 m	80 m
1950 – 1990	21,21	21,06	21,11	21,14
1990 – 2000	5,23	5,19	5,22	5,23
1950 – 2000	19,93	19,73	19,78	19,82

Die Gesamtfläche des Testgebiets erhöhte sich bei Nutzung von 3D-Flächendaten zwischen 2,3 % und 4,75 % (Tabelle 5.30 auf Seite 137). Gleichzeitig waren die Anteile der Gesamtveränderungen bei Einbeziehung der Höheninformationen (3D) niedriger als bei den 2D-Flächen (Tabelle 5.31). Dies lässt auf eine vorwiegende Beteiligung von LC-Patches an den Gesamtveränderungen schließen, die niedrige 3D-/2D-Flächenquotienten aufwiesen. Dagegen waren Polygone mit großem Quotienten, wie z. B. Felsen-Patches (332), im Untersuchungszeitraum stabiler. Im folgenden Schritt wurde untersucht, ob sich diese These durch Beobachtungen von unterschiedlichen Flächenveränderungen (2D vs. 3D) der einzelnen LC-Klassen unterstützen lässt.

In Tabelle 5.32 auf der nächsten Seite sind die Unterschiede zwischen 2D und 3D für die Veränderungen der Flächenanteile je LC-Klasse abgebildet.

Die größte Differenz zwischen 2D- und 3D-Flächenanteile wurde mit 0,14 % in der Klasse *nicht bewässertes Ackerland* (211) für den Zeitraum 1950 bis 2000 beobachtet. Die Flächenveränderungen von *Weideland* (231), *Nadelwaldflächen* (312), *Abbaugelände* (131), *Abraumhalden* (132) sowie *Siedlungsflächen* (112) zeigten ebenfalls geringere 3D-Werte als 2D-Werte. Mit Ausnahme von *Nadelwald* wiesen diese LC-Klassen niedrige 3D-/2D-Quotienten (~ 1) auf (siehe Abbildung 5.30 auf Seite 138), was die Annahme bezüglich der vorwiegenden Beteiligung an den Veränderungen von Patches mit geringem Quotient untermauert. *Laub-* und *Mischwald* (311, 313) wiesen gegenüber den 2D-Flächenanteilen höhere 3D-Veränderungsanteile auf. Für die übrigen Landbedeckungsklassen wurden nur marginale Unterschiede zwischen 2D und 3D beobachtet. Die Flächenanteile der *Verkehrswege* (122), der *Felsen* (332) sowie von *Wasserlinien* (511) veränderten sich in den Beobachtungszeiträumen nicht.

Die im Kapitel 5.1 getroffenen Aussagen zu den Veränderungen der Landbedeckung im Transekt DE03 bleiben auch bei Beachtung der dritten Dimension bestehen.

Die absoluten Flächengrößen (in km²) der einzelnen LC-Klassen sind in Tabelle 5.34 auf Seite 143 und Tabelle 5.35 auf Seite 144 unter dem Strukturparameter Flächengröße der Klasse (TAC) beschrieben. Weitere Informationen sind in den Kartenbudgets für die 3D-Flächen im Anhang D zu finden (Tabellen D108 bis D113).

5.5 Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren

Tabelle 5.32: Vergleich der Flächenanteile (%) der LC-Veränderungen (Verlust + Gewinn) von 2D- und 3D-Flächen im Transekt DE03

LC-Klasse	1990 – 2000		1950 – 1990		1950 – 2000	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D
112	0,35	0,34	2,04	1,99	2,21	2,15
121	0,25	0,24	0,44	0,42	0,63	0,61
122	0	0	0,17	0,17	0,17	0,17
131	0	0	1,28	1,23	1,28	1,23
132	0,30	0,30	1,36	1,33	1,06	1,03
133	0,06	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04
141	0,05	0,05	0,29	0,29	0,33	0,34
142	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,09
211	1,20	1,16	4,23	4,11	4,90	4,76
222	0,12	0,12	0,77	0,75	0,72	0,71
231	1,43	1,39	4,51	4,43	4,69	4,60
242	0,04	0,04	0,73	0,72	0,77	0,76
311	0,17	0,17	4,66	4,76	4,77	4,87
312	2,69	2,70	8,28	8,18	6,72	6,60
313	1,72	1,74	7,39	7,47	7,04	7,09
324	1,98	1,99	6,11	6,11	4,39	4,38
332	0	0	0	0	0	0
511	0	0	0	0	0	0
512	0,05	0,05	0	0	0,05	0,05

Landschaftsstrukturmaße (LSM)

Um den Einfluss des Reliefs auf Landschaftsstrukturmaße zu untersuchen, wurden die aus der Rangkorrelationsanalyse resultierenden LSM (siehe Kapitel 5.2.1) für das Transekts DE03 bestimmt. Dabei wurden die Strukturmaße wiederum auf Landschafts- bzw. Klassenebene berechnet. Bei der Auswertung lag der Fokus allerdings auf den Differenzen zwischen den 2D- und 3D-Parametern. Alle 3D-LSM wurden auf Basis des DGM20 und der Methode TIN kalkuliert.

In Tabelle 5.33 auf der nächsten Seite sind die LSM auf Landschaftsebene für das Testgebiet DE03 dargestellt.

Trotz unterschiedlicher Werte waren die Veränderungstrends der einzelnen LSM für planimetrische Flächen und 3D-Oberflächen identisch. Einzig die Form-Indizes MSI und AWMSI reagierten auf der Landschaftsebene etwas stärker auf die Flächen- und Längeninformatoren basierend auf dem Relief. Alle anderen untersuchten Strukturmaße zeigten nur minimale Unterschiede. Die Anzahl der Patches (NP) sowie die Klassenhäufigkeit (PR) sind unabhängig von der topographischen Berechnungsgrundlage und unterschieden sich daher zwischen 2D und 3D nicht.

Die Tabelle 5.34 auf Seite 143 und 5.35 auf Seite 144 zeigen die ausgewählten LSM auf Klassenebene für das Transekt DE03. Die Flächengröße der Klasse (TAC) spiegelt die Ergebnisse der

5 Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 5.33: Vergleich der LSM auf Landschaftsebene basierend auf 2D- und 3D-Flächeninformationen des Transekts DE03

Basis	Jahr	NP	PR	MPS (km ²)	LPI	MPAR	DI	MSI	AWMSI	SHEI	IJI
2D	1950	280	17	0,118	0,139	0,037	0,854	1,832	2,555	0,699	0,704
	1990	353	19	0,094	0,128	0,040	0,820	1,801	2,571	0,721	0,704
	2000	340	19	0,097	0,124	0,041	0,862	1,820	2,613	0,707	0,696
3D (TIN)	1950	280	17	0,123	0,133	0,035	0,845	1,815	2,543	0,702	0,704
	1990	353	19	0,098	0,123	0,039	0,814	1,786	2,560	0,723	0,703
	2000	340	19	0,102	0,119	0,040	0,858	1,804	2,601	0,709	0,696

3D-/2D-Flächenquotienten wider. Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Flächenquotienten relative Werte zeigen, wohingegen TAC absolute Angaben darstellt. Die Anzahl der Patches (NP) ist unabhängig von der topographischen Berechnungsgrundlage und unterscheidet sich zwischen 2D und 3D nicht. Die mittlere Patchgröße (MPS) zeigte nur für die *städtischen Grünflächen* (141), die *Sport- und Freizeitanlagen* (142), die *komplexen Parzellenstrukturen* (242), die *Waldflächen* (311, 312, 313) sowie die *Felsen* (332) Unterschiede. Die Umfang-Flächen-Ratio (MPAR, AWMPAR) zeigten mit Ausnahme der *Felsflächen* (3D-Werte < 2D-Werte) keine Differenzen. Der Formindex AWMSI reagierte sensibler als die PAR auf die Reliefinformationen, wobei bei den heterogenen Klassen (122, 141, 142, 242, 311, 312, 313, 332) niedrigere 3D-Werte beobachtet wurden. Dagegen kam es bei den Klassen *nicht durchgängig städtische Prägung* (112) und *nicht bewässertes Ackerland* (211) zu einem leichten Anstieg der Werte gegenüber den planimetrischen Parametern. Der Interspersion- und Juxtaposition-Index (IJI) reagierte nur für die Klassen 141 und 332 mit geringeren 3D-Werten auf die zusätzlichen Reliefinformationen.

Hemerobie-Index M auf Basis von 3D-Oberflächen

In Tabelle 5.36 auf Seite 145 werden die Hemerobie-Indizes, die auf Basis von Flächenanteilen der 3D-Oberfläche für das Transekt DE03 berechnet wurden, mit den Indizes auf Grundlage der 2D-Flächen verglichen.

Der temporale Verlauf ähnelt sich bei den vier Varianten; es ist ein Anstieg von 1950 zu 1990 sowie ein leichter Rückgang des Wertes im Jahr 2000 zu beobachten. In allen Jahren sind die Hemerobie-Indizes auf Grundlage von 3D-Oberflächenanteilen verglichen mit den 2D-Flächenanteilen generell niedriger. Je höher die Bodenaufösung des Geländemodells ist, desto größer sind die Abweichungen der Indizes auf Grundlage von 2D-Flächenanteilen. Im Untersuchungsgebiet weist die Landbedeckungsklasse *Felsflächen ohne Vegetation* (332) die höchsten Quotienten zwischen 3D- und 2D-Oberflächen auf (siehe Abbildung 5.30 auf Seite 138). Dabei wurde diese Klasse der niedrigsten Hemerobiestufe, oligohemerob ($h = 1$), zugeordnet. Bewaldete Hanglagen, enge Täler und Bergkuppen weisen ebenfalls hohe 3D-Oberflächenwerte auf und werden in der Sächsischen Schweiz forstwirtschaftlich genutzt bzw. unterliegen dem Naturschutz. Dagegen befinden sich die thematischen Landnutzungsklassen, denen hohe Hemerobiestufen zugewiesen wurden, wie z. B.

5.5 Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren

Tabelle 5.34: Vergleich der LSM (Teil 1: urbane Klassen) auf Klassenebene basierend auf 2D- (erste Zeile, grau) bzw. 3D-Flächeninformationen (zweite Zeile, schwarz) des Transekts DE03

LC	TAC (km ²)			NP			MPS (km ²)			MPAR			AWMPAR			AWMSI			IJI		
	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000
112	3,007	3,409	3,439	35	42	41	0,086	0,081	0,084	0,038	0,040	0,040	0,025	0,024	0,024	3,846	3,722	3,692	0,745	0,745	0,755
	3,094	3,498	3,528				0,088	0,083	0,086	0,037	0,040	0,040	0,024	0,024	0,024	3,855	3,732	3,703	0,745	0,745	0,755
121	0,169	0,311	0,371	8	16	19	0,021	0,019	0,020	0,042	0,041	0,041	0,034	0,034	0,034	1,542	1,495	1,454	0,645	0,645	0,668
	0,172	0,315	0,376				0,021	0,020	0,020	0,041	0,042	0,041	0,033	0,034	0,033	1,535	1,489	1,450	0,645	0,645	0,668
122	0,335	0,393	0,393	2	6	6	0,168	0,066	0,066	0,049	0,049	0,049	0,040	0,041	0,041	4,866	4,412	4,412	0,574	0,574	0,612
	0,349	0,408	0,408				0,175	0,068	0,068	0,047	0,048	0,048	0,038	0,040	0,040	4,789	4,355	4,355	0,575	0,575	0,613
131	n/v	0,423	0,423	n/v	1	1	n/v	0,423	0,423	n/v	0,009	0,009	n/v	0,009	0,009	n/v	1,642	1,642	n/v	n/v	0,541
	n/v	0,425	0,425				n/v	0,425	0,425	n/v	0,009	0,009	n/v	0,009	0,009	n/v	1,642	1,642	n/v	n/v	0,541
132	n/v	0,450	0,349	n/v	2	2	n/v	0,225	0,175	n/v	0,011	0,016	n/v	0,010	0,012	n/v	1,369	1,390	n/v	n/v	0,392
	n/v	0,458	0,355				n/v	0,229	0,178	n/v	0,011	0,016	n/v	0,009	0,012	n/v	1,365	1,385	n/v	n/v	0,391
133	0,008	0,014	0,007	1	1	1	0,008	0,014	0,007	0,053	0,033	0,102	0,053	0,033	0,102	1,339	1,125	2,375	0,226	0,333	0,322
	0,008	0,014	0,007				0,008	0,014	0,007	0,053	0,033	0,101	0,053	0,033	0,101	1,338	1,125	2,360	0,226	0,333	0,322
141	0,128	0,210	0,224	5	10	10	0,026	0,021	0,022	0,038	0,045	0,042	0,035	0,036	0,036	1,660	1,635	1,651	0,633	0,568	0,581
	0,138	0,224	0,240				0,028	0,022	0,024	0,038	0,044	0,041	0,033	0,035	0,034	1,634	1,615	1,631	0,635	0,572	0,584
142	0,087	0,121	0,119	1	3	3	0,087	0,040	0,040	0,017	0,033	0,035	0,017	0,023	0,023	1,376	1,440	1,447	0,362	0,667	0,672
	0,097	0,131	0,129				0,097	0,044	0,043	0,015	0,032	0,035	0,015	0,022	0,022	1,346	1,412	1,418	0,364	0,668	0,673

Tabelle 5.35: Vergleich der LSM auf Klassenebene (Teil 2: landwirtschaftliche-, semi-natürliche und Wasserklassen) basierend auf 2D- (erste Zeile, grau) bzw. 3D-Flächinformationen (zweite Zeile, schwarz) des Transekts DE03

LC	TAC (km ²)			NP			MPS (km ²)			MPAR			AWMPAR			AWMSI			LJI		
	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	2000	1950	1990	1950	1990	2000	
211	9,012	7,791	7,490	20	18	20	0,451	0,433	0,374	0,021	0,022	0,024	0,008	0,007	0,007	2,090	2,024	2,023	0,654	0,646	0,673
	9,048	7,806	7,504	20	18	20	0,452	0,434	0,375	0,020	0,022	0,024	0,008	0,007	0,007	2,091	2,025	2,023	0,654	0,646	0,673
222	0,171	0,301	0,284	6	9	8	0,029	0,033	0,036	0,040	0,043	0,041	0,026	0,025	0,026	1,372	1,623	1,726	0,511	0,519	0,620
	0,176	0,308	0,291	6	9	8	0,029	0,034	0,036	0,039	0,042	0,041	0,026	0,025	0,026	1,369	1,617	1,721	0,512	0,518	0,620
231	1,951	1,722	1,803	44	47	49	0,044	0,037	0,037	0,040	0,045	0,046	0,033	0,034	0,033	2,607	2,105	2,055	0,742	0,749	0,746
	1,993	1,749	1,827	44	47	49	0,045	0,037	0,037	0,040	0,045	0,046	0,033	0,033	0,032	2,597	2,102	2,051	0,742	0,749	0,746
242	0,357	0,196	0,207	8	8	9	0,045	0,024	0,023	0,029	0,040	0,042	0,024	0,033	0,035	1,546	1,674	1,677	0,621	0,554	0,574
	0,375	0,208	0,220	8	8	9	0,047	0,026	0,024	0,028	0,039	0,041	0,023	0,032	0,033	1,540	1,660	1,663	0,622	0,553	0,574
311	1,630	2,582	2,632	42	63	63	0,039	0,041	0,042	0,045	0,046	0,046	0,030	0,033	0,033	2,066	2,719	2,718	0,665	0,713	0,699
	1,710	2,758	2,808	42	63	63	0,041	0,044	0,045	0,044	0,045	0,044	0,029	0,032	0,032	2,043	2,676	2,675	0,666	0,710	0,698
312	9,183	8,955	9,548	28	33	31	0,328	0,271	0,308	0,026	0,029	0,030	0,010	0,012	0,011	2,573	2,710	2,775	0,708	0,710	0,677
	9,747	9,501	10,127	28	33	31	0,348	0,288	0,327	0,025	0,028	0,029	0,010	0,011	0,010	2,562	2,692	2,758	0,709	0,711	0,676
313	4,477	4,041	4,182	39	44	50	0,115	0,092	0,084	0,035	0,039	0,040	0,020	0,021	0,021	2,755	2,726	2,726	0,725	0,669	0,623
	4,885	4,412	4,553	39	44	50	0,125	0,100	0,091	0,032	0,037	0,037	0,018	0,019	0,020	2,711	2,684	2,686	0,725	0,670	0,624
324	1,243	0,842	0,272	27	36	12	0,046	0,023	0,023	0,037	0,040	0,046	0,023	0,034	0,039	1,782	1,609	1,855	0,555	0,578	0,682
	1,305	0,883	0,285	27	36	12	0,048	0,025	0,024	0,036	0,039	0,045	0,022	0,033	0,038	1,778	1,604	1,844	0,556	0,579	0,684
332	0,193	0,193	0,193	11	11	11	0,018	0,018	0,018	0,053	0,053	0,053	0,041	0,041	0,041	2,051	2,051	2,051	0,321	0,321	0,308
	0,301	0,301	0,301	11	11	11	0,027	0,027	0,027	0,044	0,044	0,044	0,030	0,030	0,030	1,917	1,917	1,917	0,325	0,326	0,312
511	1,099	1,099	1,099	2	2	2	0,550	0,550	0,550	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	3,671	3,671	3,671	0,319	0,355	0,384
	1,101	1,101	1,101	2	2	2	0,550	0,550	0,550	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	3,671	3,671	3,671	0,319	0,355	0,384
512	0,055	0,055	0,071	1	1	2	0,055	0,055	0,035	0,026	0,026	0,028	0,026	0,026	0,026	1,689	1,689	1,548	0,250	0,239	0,431
	0,055	0,055	0,071	1	1	2	0,055	0,055	0,036	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,026	1,689	1,689	1,546	0,250	0,239	0,431

Tabelle 5.36: Vergleich des Hemerobie-Indexes M auf Landschaftsebene basierend auf 2D- und 3D-Flächeninformationen des Transekts DE03

Datenbasis	Auflösung des DGM	Hemerobie-Index M		
		1950	1990	2000
2D	—	47,8	49,0	48,7
3D	20 m	47,2	48,3	48,0
3D	40 m	47,3	48,5	48,2
3D	80 m	47,4	48,6	48,3

Siedlungsflächen ($h = 5$), *Industrie* ($h = 6$) und *intensive Ackerwirtschaft* ($h = 4$), in Regionen mit relativ geringer Hangneigung und besitzen somit 3D-/2D-Oberflächenverhältnisse nahe 1.

Zusammenfassung

Die erwartete Abnahme der 3D-/2D-Quotienten mit abnehmender Auflösung des DGM wurde in der Arbeit bestätigt. HOECHSTETTER ET AL. (2006) konnten ebenfalls eine Verringerung der Quotienten der Testgebietsfläche bei Auflösungsreduktion des DGM von 2 m auf 20 m feststellen.

Der Vergleich der drei methodischen Ansätze zur Bestimmung von 3D-Längen und -Flächen zeigte, dass mit der aufwendigsten Methode JENNESS zwar die größten 3D-Oberflächenwerte bestimmt wurden, aber die Unterschiede zur in ArcInfo bereits implementierten Anwendung TIN bei der genutzten Datengrundlage irrelevant waren.

Das DGM mit einer Bodenauflösung von 20 m (oder geringer) hatte in der vorliegenden Arbeit keinen nennenswerten Einfluss auf die Gesamtveränderung der LC-Flächenanteile. Auch die Landschaftsstrukturmaße sowie der Hemerobie-Index reagierten auf die zusätzlichen Informationen des Geländemodells nur marginal. Verglichen mit der Größenordnung der Fehler, die in einer Veränderungsanalyse von thematischen Karten unvermeidbar sind (siehe Kapitel 4.9), kann daher der Einfluss der Höheninformationen auf die Veränderungsanalyse bei Nutzung eines uni-temporalen Geländemodells mit 20 m Bodenauflösung oder geringer im Testgebiet DE03 als unbedeutend bewertet werden. Der benötigte Aufwand für die Kalkulation von Oberflächen steht in keinem Verhältnis zu den zusätzlich gewonnenen Informationen für das betrachtete Testgebiet.

HOECHSTETTER ET AL. (2006) weisen darauf hin, dass hoch auflösende Input-Daten, d. h. thematische Karten der Landbedeckung sowie das DGM, die Voraussetzung für eine sinnvolle Implementierung von 3D-Daten in die Analyse sind. Mit vorliegender Untersuchung kann diese Aussage bestätigt und erweitert werden. Die räumliche Auflösung der Input-Daten muss außerdem aufeinander abgestimmt sein, da Höhenmodelle mit zu geringen Auflösungen zu Informationsverlusten bei den LC-Klassen aufgrund von restriktiven Interpretationsregeln führen. Die Anwendung von Höhendaten in einer Veränderungsanalyse verspricht bei multitemporalen Höhendaten zusätzlichen Informationsgewinn. Da jedoch nur ein DGM für das Jahr 1996/97 zur Verfügung stand, wurden die Analyse der LC-Veränderungen mit einem temporal unveränderten Geländemodell durchgeführt. Mögliche Reliefveränderungen, wie z. B. Erosion an Hängen und Felsen oder die

Dynamik von Abraumhalden im Uranbergbaugelände Leupoldishain, konnten daher nicht in die Analyse einfließen. Um die Ergebnisse der Veränderungsanalyse signifikant zu verbessern, sind daher multitemporale DGMs mit höheren Auflösungen nötig. Aufgrund der in dieser Arbeit genutzten Klassifizierungsregeln (minimale Kartiereinheit: 0,5 ha, minimale Polygonbreite: 20 m) sind Höhenmodelle mit einer Bodenauflösung von 5 m oder besser zweckmäßig.

In Gebirgen oder stark zerklüfteten Regionen, beispielsweise dem Elbsandsteingebirge, hat das Relief einen bedeutenderen Einfluss als im Tiefland, z. B. der Mecklenburger Seenplatte. So zeigten HOECHSTETTER ET AL. (2008) mit Hilfe von neutralen Modellen die Abhängigkeit der 3D-Patchgröße und verschiedener 3D-Strukturmaße von der Heterogenität des Reliefs. Allerdings arbeiteten die Autoren dabei mit einem Höhenmodell mit einer Auflösung von 2 m. Bei der gezielten Betrachtung von Habitaten mit bedeutenden Reliefschwankungen, wie z. B. Felshabitaten, kann die Nutzung eines geringer auflösenden DGMs jedoch durchaus eine Berechtigung besitzen.

5.5.2 Zusammenhang zwischen Hangneigung und Landbedeckung

Weiterhin wurden die Höheninformationen genutzt, um die Eignungskarten für das Extrapolationsmodell (siehe Kapitel 4.8) zu verbessern. Das Transekt DE03 befindet sich auf einer Höhe über Normalhöhennull (NHN) zwischen 115 m und 425 m. Der Einfluss der absoluten Höhen auf die Landbedeckung infolge von klimatischen Faktoren (Niederschlag, Temperatur) konnte daher vernachlässigt werden. Die Hangrichtungen der LC-Klassen zeigten im Untersuchungsgebiet keine eindeutigen Tendenzen und wurden daher nicht weiter diskutiert. Nur bei der Hangneigung (Inklination) wurden Unterschiede zwischen den LC-Klassen beobachtet.

Inklination im Jahr 2000

Abbildung 5.33 auf der nächsten Seite stellt die Inklination für die Landbedeckungsklassen im Jahr 2000 dar.

Die Klassen *Abbaugelände* (131), *nicht bewässertes Ackerland* (211) und *Wasserrläufe* (511) wiesen nur geringe mittlere Hangneigungen (< 5 Grad) auf. Mit Ausnahme der *urbanen Grünflächen* (141) und *Sport- und Erholungsflächen* (142) lagen die mittleren Inklinationen der bebauten Flächen (112, 121, 122, 132, 133) sowie des *Weidelandes* (231) unter 10 Grad. *Obstanbauflächen* (222) und *komplexe landwirtschaftliche Parzellenstrukturen* (242) wiesen dagegen höhere mittlere Hangneigungen von über 10 bzw. 20 Grad auf. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Klasse 242 auch Kleingartenanlagen beinhaltet, welche im Testgebiet DE03 vor allem an den Hängen in Königstein und Bad Schandau auftraten. Wälder (311, 312, 313) kamen neben den Ebenen auch auf Gelände mit größeren Neigungen (> 10 Grad) vor. Die höchsten Hangneigungen bis maximal 62 Grad traten in der LC-Klasse *Felsen* (332) in der Sächsischen Schweiz auf. Die Inklination der *Wasserflächen* (512) offenbart dagegen die mangelnde Passgenauigkeit sowie Auflösung des Geländemodells. Die Ergebnisse spiegelten sich in den 3D-/2D-Flächenquotienten der LC-Klassen wider (Abbildung 5.30 auf Seite 138).

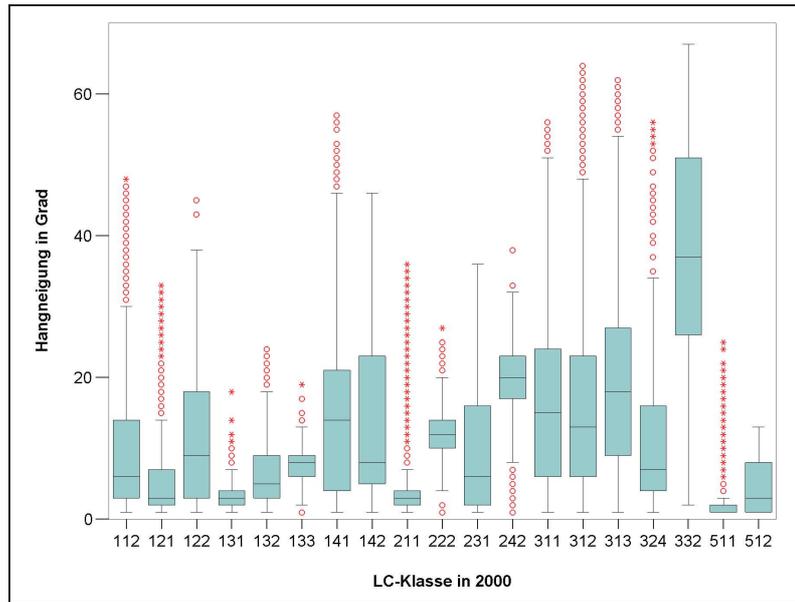


Abbildung 5.33: Boxplot-Darstellung der Hangneigung der LC-Klassen im Jahr 2000 in DE03

Veränderungsanalysen

Es wurde untersucht, inwiefern ein Zusammenhang zwischen der Hangneigung und dem Flächen-
gewinn bzw. -verlust von Landbedeckung besteht. In Abbildung 5.34 bzw. Abbildung 5.35 auf
der nächsten Seite sind die Hangneigungen der veränderten Polygone (Gewinn bzw. Verlust) der
LC-Klassen für die Periode 1990 bis 2000 dargestellt.

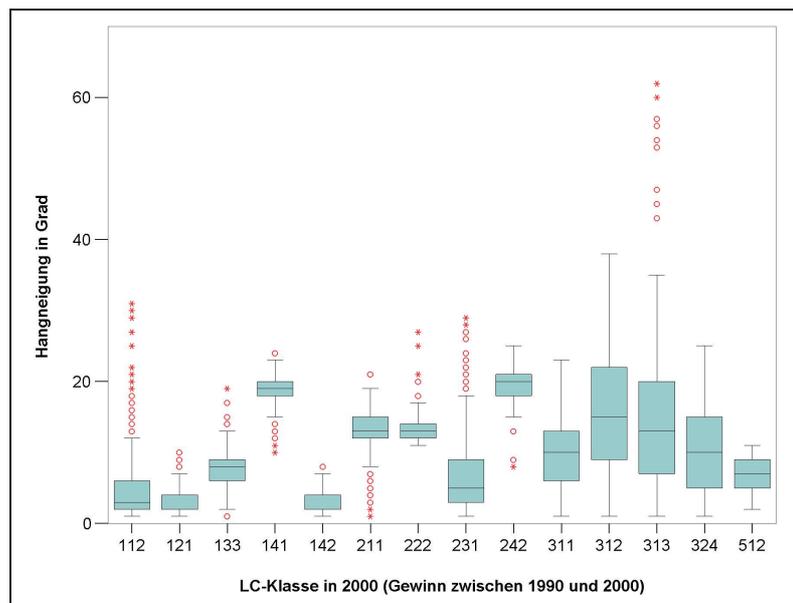


Abbildung 5.34: Boxplot-Darstellung der Hangneigung des Gewinns der LC-Klassen zwischen 1990 und 2000 in DE03

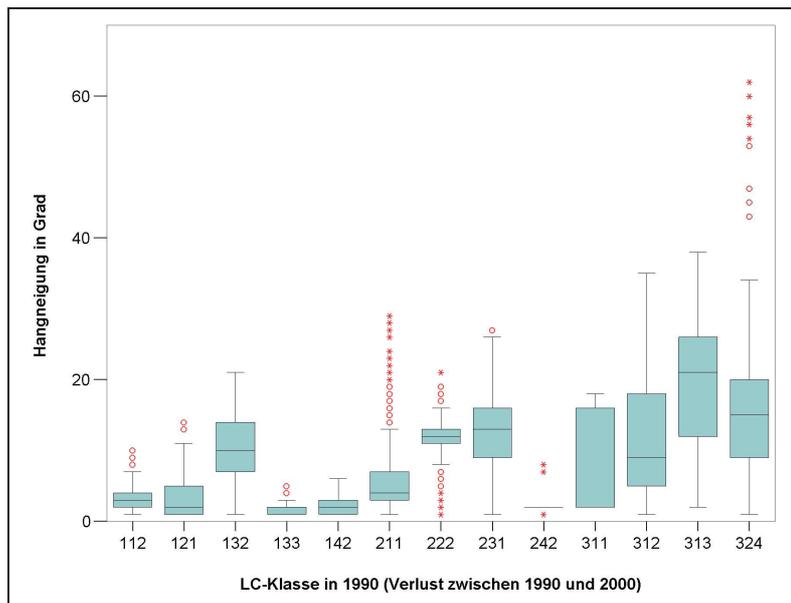


Abbildung 5.35: Boxplot-Darstellung der Hangneigung des Verlusts der LC-Klassen zwischen 1990 und 2000 in DE03

Beim Vergleich von Abbildung 5.33 auf der vorherigen Seite und Abbildung 5.34 auf der vorherigen Seite bzw. 5.35 fällt unter anderem die Klasse *Sport- und Freizeitanlagen* (142) auf. Im Jahr 2000 wurde diese LC-Klasse vorwiegend auf moderaten Hangneigungen zwischen 5 und 23 Grad beobachtet. Die Flächengewinne und -verluste sind jedoch nur mit sehr niedrigen Neigungswerten (< 7 Grad) assoziiert. Neues *Ackerland* (211) wurde bei relativ hohen Inklinationswerten bis zu 20 Grad beobachtet. Der Flächengewinn der Klasse *komplexe landwirtschaftliche Parzellenstrukturen* (242) trat vorwiegend bei Inklinationen zwischen 19 und 21 Grad auf, wohingegen die Verluste auf ebenem Gelände stattfanden. Für die naturnahen Klassen *Wald* sowie *Strauch-Wald-Übergangsstadium* konnten keine eindeutigen Tendenzen abgeleitet werden.

Durch das Relief werden lokale klimatische Parameter wie Sonneneinstrahlung, Temperatur, aber auch Bodenwasserhaushalt und Evaporation beeinflusst (siehe z. B. KANG ET AL., 2004). Diese Parameter können auf die Ausprägung der Landbedeckung einwirken, wenngleich jedoch andere Faktoren in Mitteleuropa bedeutender sind. So wird die Veränderung der Landbedeckung vielmehr durch Faktoren beeinflusst, die nicht direkt vom Relief abhängen, z. B. Grundstückspreise, Infrastruktur oder Schutzstatus einer Fläche.

Die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Testgebiete ist aufgrund nicht vergleichbarer Reliefvoraussetzung unzulässig. Es wurden jedoch Grenzwerte für die Eignungskarten der einzelnen LC-Klassen abgeleitet, die in den Kapiteln 5.6.1 und 5.6.2 Anwendung fanden.

5.6 Extrapolation von Landschaftsveränderungen

In diesem Kapitel werden zuerst das Regelwerk der beobachteten Landschaftsveränderungen sowie die daraus abgeleiteten *Eignungskarten der Veränderung* der einzelnen Landbedeckungsklassen

dargestellt. Anschließend folgen die Ergebnisse der Zuordnung des ähnlichsten Testgebiets zum moving window und die Darstellung der Extrapolationsergebnisse für die neuen Bundesländer und das Jahr 1950. Zum Abschluss werden die Modellergebnisse validiert und zusammenfassend diskutiert.

5.6.1 Regelwerk der Landschaftsveränderungen

In diesem ersten Abschnitt wurde ein Regelwerk aufgestellt, das die wichtigsten Ergebnisse der Kapitel 5.1 bis 5.5 zusammenfasst. Es basiert damit ausschließlich auf den Beobachtungen in den neun Testgebieten. Diese Regeln dienen außerdem als Eingangsparameter für die Erstellung der *Eignungskarten der Veränderungen*, welche in der Extrapolationsstufe 2 angewendet wurden (siehe Kapitel 4.8.2).

Anstatt mit potenziell 44² LC-Veränderungen zwischen zwei Zeitpunkten zu arbeiten (CLC-Level 3), beziehen sich die Regeln auf so genannte Prozesse, die eine Aggregation bzw. Auswahl der flächenmäßig bedeutendsten LC-Veränderungen darstellten. Tabelle 5.37 zeigt die Prozesse, welche aus den Analysen der Transekte abgeleitet wurden und in den folgenden Unterkapiteln beschrieben sind.

Tabelle 5.37: Veränderungsprozesse zwischen zwei Zeitpunkten ($t_0 - t_1$)

Landbedeckung	Gewinn(+)/ Verlust(-)	Prozess
Bebaute Flächen	+	Erweiterung von Siedlungsflächen
	+	Erweiterung von Industrie- und Gewerbeflächen
	-	Stilllegung bebauter Flächen
Landwirtschaftliche Flächen	+	Erweiterung von Ackerflächen (Intensivierung)
	+	Erweiterung von Weideflächen (Extensivierung)
	-	Stilllegung landwirtschaftlicher Flächen
Waldflächen und naturnahe Flächen	+	Bewaldung
	+	natürliche Sukzession/Renaturierung
	-	Entwaldung
Wasserflächen	+	Erweiterung von Wasserflächen/Renaturierung
	-	Entwässerung

Jedem Prozess, der den Gewinn bestimmter Klassen darstellt (z. B. Bewaldung), kann ein gegenläufiger Prozess gegenübergestellt werden (z. B. Entwaldung). Dabei ist zu beachten, dass lokal zwei Prozesse gleichzeitig ablaufen können, z. B. bedeutet die Erweiterung von Siedlungsflächen in einem Waldstück ebenso auch eine Entwaldung.

Die Regeln gelten für beide untersuchten Zeiträume (1950 – 1990 und 1990 – 2000), sofern nicht

explizit auf eine Periode hingewiesen wird.

5.6.1.1 Bebaute Flächen

Erweiterung von Siedlungsflächen

- Neue *Siedlungsflächen* entstehen ausschließlich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, wobei die LC-Klasse *nicht bewässertes Ackerland* dominiert (Kapitel 5.1.3).
- Die Anzahl der einzelnen *Siedlungsflächen* steigt bei zunehmender mittlerer Patchgröße (1950–1990) (Kapitel 5.2.1).
- Die Anzahl von Einzelflächen (Patches) bleibt bei zunehmender mittlerer Patchgröße der *Siedlungsflächen* konstant (1990–2000) (Kapitel 5.2.1).
- *Siedlungsflächen* entstehen direkt an bereits bestehenden *Siedlungen* bzw. in unmittelbarer Umgebung dieser (1950–1990: < 500 m; 1990–2000: < 200 m) (Kapitel 5.3 bzw. 5.4).
- Neue Flächen sind vorrangig Arrondierungen bzw. Erweiterungen mit geringem Anschluss an bestehende Gebiete (Kapitel 5.3).

Erweiterung von Industrie- und Gewerbeflächen

- Neue *Industrie- und Gewerbegebiete* entstehen vorwiegend auf landwirtschaftlichen Flächen, wobei *nicht bewässertes Ackerland* dominiert (Kapitel 5.1.3).
- Die Anzahl der Einzelflächen (Patches) steigt bei gleichzeitiger Abnahme der mittleren Patchgröße (Kapitel 5.2.1).
- Die mittlere Form der *Industrieflächen* wird komplexer (Kapitel 5.2.1).
- *Industriegebiete* entstehen häufig ohne Kontakt zu bereits bestehenden Gebieten und in bis dato industriell unerschlossenen Regionen; Lückenauffüllung tritt nicht auf (Kapitel 5.3).

Eine für die Erweiterung von bebauten Flächen allgemein gültige Hypothese lautet:

- NATURA2000-Gebiete schränken die Erweiterung von bebauten Flächen ein (Kapitel 5.4).

Stilllegung bebauter Flächen

Hiervon waren vor allem *Industrieflächen* zwischen 1990 und 2000 betroffen.

- *Industriegebiete* wandeln sich in Industriebrachen (klassifiziert als *Weideland*).
- *Abbaugebiete* wandeln sich in Landschaften aus naturnahen Flächen und Wasserflächen (Kapitel 5.1.3).

5.6.1.2 Landwirtschaftliche Flächen

Erweiterung von Ackerland

- Neue *Ackerflächen* entstehen auf *Weideflächen*, *Abbauflächen* und *Flächen mit spärlicher Vegetation* (Rekultivierung) (1950–1990) (Kapitel 5.1.3).
- Neue *Ackerflächen* entstehen vorwiegend auf *Weideflächen* (landwirtschaftliche Intensivierung) (1990–2000) (Kapitel 5.1.3).
- Die Anzahl der *Ackerflächen* steigt bei gleichzeitiger Abnahme der mittleren Patchgröße (1950–1990) (Kapitel 5.2.1).
- Die Anzahl der *Ackerflächen* bleibt bei gleichzeitiger Abnahme der mittleren Patchgröße konstant (1990–2000) (Kapitel 5.2.1).
- Die mittlere Form der *Ackerflächen* wird weniger komplex (1950–1990) (Kapitel 5.2.1).
- Neues *Ackerland* entsteht häufig im direkten Anschluss an bereits bestehende Flächen bzw. in Umgebung dieser (1950–1990: < 300 m; bzw. 1990–2000: < 600 m) (Kapitel 5.3 bzw. 5.4).

Erweiterung von Weideland

- Neue *Weideflächen* entstehen auf *Ackerflächen* (landwirtschaftliche Extensivierung) (Kapitel 5.1.3).
- Die Anzahl der *Weideflächen* steigt bei gleichzeitiger Zunahme der mittleren Patchgröße (Kapitel 5.2.1).
- Die mittlere Form der *Weideflächen* wird komplexer (Kapitel 5.2.1).

Für landwirtschaftliche Flächen gilt allgemein:

- Erweiterungen landwirtschaftlicher Flächen sowie interne Veränderungen der landwirtschaftlichen LC-Klassen sind in Kernbereichen von NATURA2000-Gebieten eingeschränkt. Bis zu einer Distanz von 500 m zur Schutzgebietsgrenze treten landwirtschaftlich beeinflusste Veränderungen auch innerhalb von NATURA2000-Gebieten auf (Kapitel 5.4).

Stilllegung landwirtschaftlicher Flächen

- Landwirtschaftliche Gebiete entwickeln sich zu anderen landwirtschaftlichen LC-Klassen, Wäldern und naturnahen Flächen oder *Siedlungen* bzw. *Industriegebieten* (Kapitel 5.1.3).

5.6.1.3 Waldflächen und naturnahe Flächen

Bewaldung und Waldtyp-Änderung

- Waldflächen entstehen auf *Strauch-Wald-Übergangsstadien* bzw. Kahlschlägen, anderen Waldtypen sowie Landwirtschaft. Renaturierung (vorwiegend Mischwald) von *Abbauflächen* spielt ebenfalls eine Rolle (1950–1990) (Kapitel 5.1.3).
- Waldflächen entstehen auf *Strauch-Wald-Übergangsstadien* bzw. Kahlschlägen und anderen Waldtypen (1990–2000) (Kapitel 5.1.3).
- Die Anzahl der Einzelflächen (Patches) steigt bei gleichzeitiger Abnahme der mittleren Patchgröße (1950–1990) (Kapitel 5.2.1) (Ausnahme: *Mischwald*).
- Die Anzahl der Einzelflächen (Patches) bleibt bei gleichzeitiger Zunahme der mittleren Patchgröße konstant (1990–2000) (Kapitel 5.2.1).
- Waldflächen entstehen vorwiegend in unmittelbarer Umgebung (< 100 m) bereits bestehender Waldflächen (Ausnahme: *Mischwald* im Rahmen der Renaturierung von Tagebauen) (Kapitel 5.3).
- Neue Flächen sind vorrangig Lückenauffüllungen und Arrondierungen (Kapitel 5.3).

Natürliche Sukzession/Renaturierung

- *Strauch-Wald-Übergangsflächen* sowie *Flächen mit spärlicher Vegetation* entstehen auf *Abbauflächen*, Landwirtschaft (*Ackerland*, *Weiden*) und in Wäldern (Kapitel 5.1.3).
- Die Anzahl der *Strauch-Wald-Übergangsflächen* nimmt ab; die mittlere Patchgröße steigt (Kapitel 5.2.1).
- Die Anzahl der *Flächen mit spärlicher Vegetation* nimmt zu; die mittlere Patchgröße nimmt ab (Kapitel 5.2.1).
- *Strauch-Wald-Übergangsflächen* sowie *Flächen mit spärlicher Vegetation* entstehen selten in unmittelbarer Umgebung bereits bestehender Flächen (Kapitel 5.3).

Für Wälder und naturnahe Flächen gilt allgemein:

- Erweiterungen von Wäldern und naturnahen Flächen treten vor allem außerhalb von NATURA2000-Gebieten sowie in geringer Distanz zur Schutzgebietsgrenze innerhalb dieser auf (Kapitel 5.4).
- Interne Veränderungen der naturnahen LC-Klassen treten häufig in Kernbereichen von NATURA2000-Gebieten auf (Kapitel 5.4).

Entwaldung

- Entwaldungen führen zu *Strauch-Wald-Übergangsstadien* bzw. Kahlschlagsflächen (Kapitel 5.1.3).

5.6.1.4 Wasserflächen

Erweiterung von Wasserflächen/Renaturierung

- Wasserflächen entstehen auf *Ackerland* und *Abbauflächen* (Renaturierung) (1950–1990) bzw. ausschließlich auf Abbauflächen (Flutung von Tagebauen) (1990–2000) (Kapitel 5.1.3).
- Anzahl und mittlere Flächengröße der Wasserflächen steigen (Kapitel 5.2.1).
- Die mittlere Form der Wasserflächen wird weniger komplex (Kapitel 5.2.1).
- Neue Wasserflächen entstehen ohne Kontakt zu bereits bestehenden Wasserflächen (1950–1990) (Kapitel 5.3).
- Neue Wasserflächen entstehen an bereits bestehenden Wasserflächen (1990–2000) (Kapitel 5.3).

Entwässerung

- Verlust von Wasserlinien tritt durch Änderung des Flussbetts (z. B. Mulde) sowie Errichtung von Stauseen auf (Kapitel 5.1.1).

5.6.2 Eignungskarten der potenziellen Landschaftsveränderung

Die Eignungskarten entstanden auf der Basis eines rasterbasierten Binär-Modells, dessen Input-Parameter durch das in Kapitel 5.6.1 beschriebene Regelwerk bereitgestellt wurden. Die abgeleiteten Parameter sind in Tabelle D9 im Anhang D dargestellt. Die Karten beschreiben die räumliche Ausdehnung der potentiellen Flächen für die Erweiterung einzelner LC-Klassen. Sie wurden für den möglichen Flächengewinn (1990–2000) sowie den Flächenverlust (1990–1950) von Landbedeckungsklassen erstellt. Die Eignungskarten wurden weiterhin in der Stufe 2 des Extrapolationsmodells verwendet (siehe auch Kapitel 4.8.2).

Die Interpretationsmaßstäbe — und damit auch der Detaillierungsgrad — zwischen der Datengrundlage für die Eignungskartenerstellung (Transekte) und dem Extrapolationsgebiet (CLC90-Daten) unterschieden sich (siehe auch Kapitel 4.2). Daher muss eine direkte Übertragung der Regeln von den Testgebieten auf das moving window kritisch betrachtet werden. So entstanden beispielsweise in den Transekten neue *Nadelwaldflächen* (312) zwischen 1990 und 2000 vorwiegend aus *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324). Die Polygone der LC-Klasse 324 wiesen dabei eine durchschnittliche Flächengröße von unter $0,05 \text{ km}^2$ auf (siehe auch Landschaftsstrukturmaß MPS in Tabelle 5.21 auf Seite 107). Die minimale Kartiereinheit von $0,25 \text{ km}^2$ (25 ha) verhinderte dagegen eine Kartierung dieser *Strauch-Wald-Übergangsfächen* in den CLC90-Daten. Trotz dieser Einschränkung bewirkte die Nutzung von Eignungskarten im Extrapolationsmodell eine Verbesserung der Genauigkeit von etwa 0,1 %.

Die Abbildungen 5.36 und 5.37 auf den nächsten Seiten zeigen die Karten für den Modellierungszeitraum 1990 bis 1950. Dabei muss beachtet werden, dass den Karten nur empirische Beobachtungen der Landbedeckung innerhalb der Transekte zugrunde liegen. So sind sie z. B. nicht

vergleichbar mit den Ergebnissen komplexerer Stadtentwicklungsmodelle (siehe z. B. in THINH, 2003).

In den Eignungskarten sind die potentiellen Flächen für Flächengewinne als farbige Polygone dargestellt. Beim Interpretieren der Karten des Extrapolationszeitraums 1990 bis 1950 ist zu beachten, dass hier potentielle Veränderungsflächen in der Vergangenheit betrachtet werden (also eigentliche Flächenverluste). Das bedeutet, dass z. B. der in Grafik 5.36 abgebildete *Laubwald* (311) im (Extrapolations-)Zieljahr 1950 nur in den grünen Flächen „entstehen“ kann.

Die Karten spiegeln erwartungsgemäß die zugrundeliegenden Regeln des Binär-Modells wider. So konnten *Abbauflächen* (131) im Jahr 1950 nicht in aktuellen Naturschutzgebieten, *Siedlungen* und *Wasserlinien* auftreten. *Nicht bewässertes Ackerland* (211) hatte seine potentiellen Flächen im Jahr 1950 vor allem in *Siedlungen* und im Jahr 1990 in *Weideland*. Hingegen konnte *Weideland* (231) mit Ausnahme der *Wasserflächen* (512) und *Wasserlinien* (511) im Jahr 1950 flächendeckend vorkommen. Die Fläche der Waldtypen (311, 312, 313) und der *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) sind 1950 vorwiegend auf die Waldflächen und im Jahr 1990 auf *Strauch-Wald-Übergangsstadien* beschränkt. Die potentiellen Veränderungsregionen der *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) sind den Ausdehnungen der *Abbaugebiete* ähnlich.

Die Eignungskarten für die Periode 1990 bis 2000 wurden beim Validierungsprozess des Extrapolationsmodells genutzt und sind in den Abbildungen A.2 und A.3 im Anhang A dargestellt.

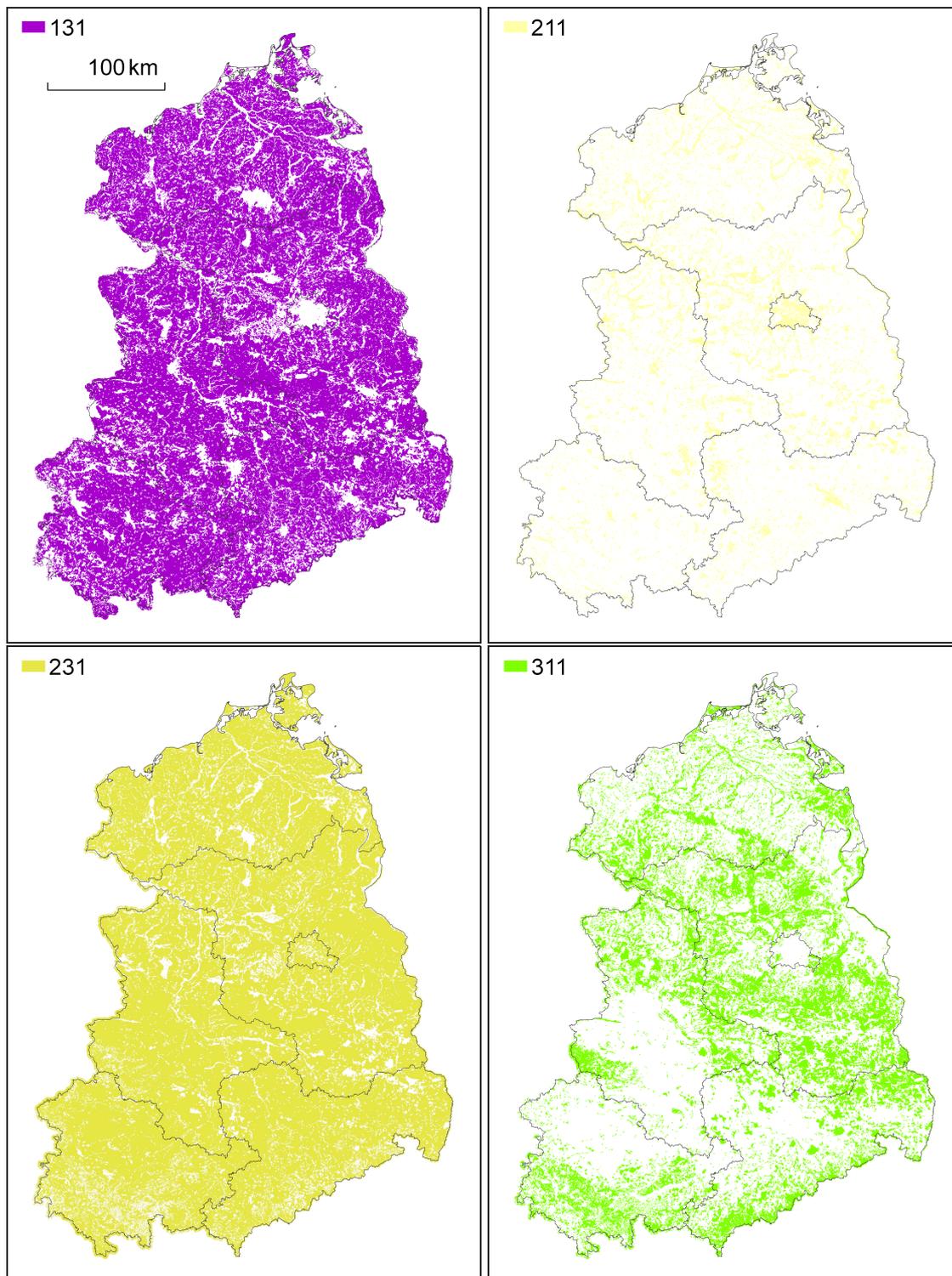


Abbildung 5.36: Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–1950 (Teil 1). Folgende LC-Klassen sind dargestellt: 131 — *Abbauflächen*; 211 — *nicht bewässertes Ackerland*; 231 — *Weideland*; 311 — *Laubwald*.

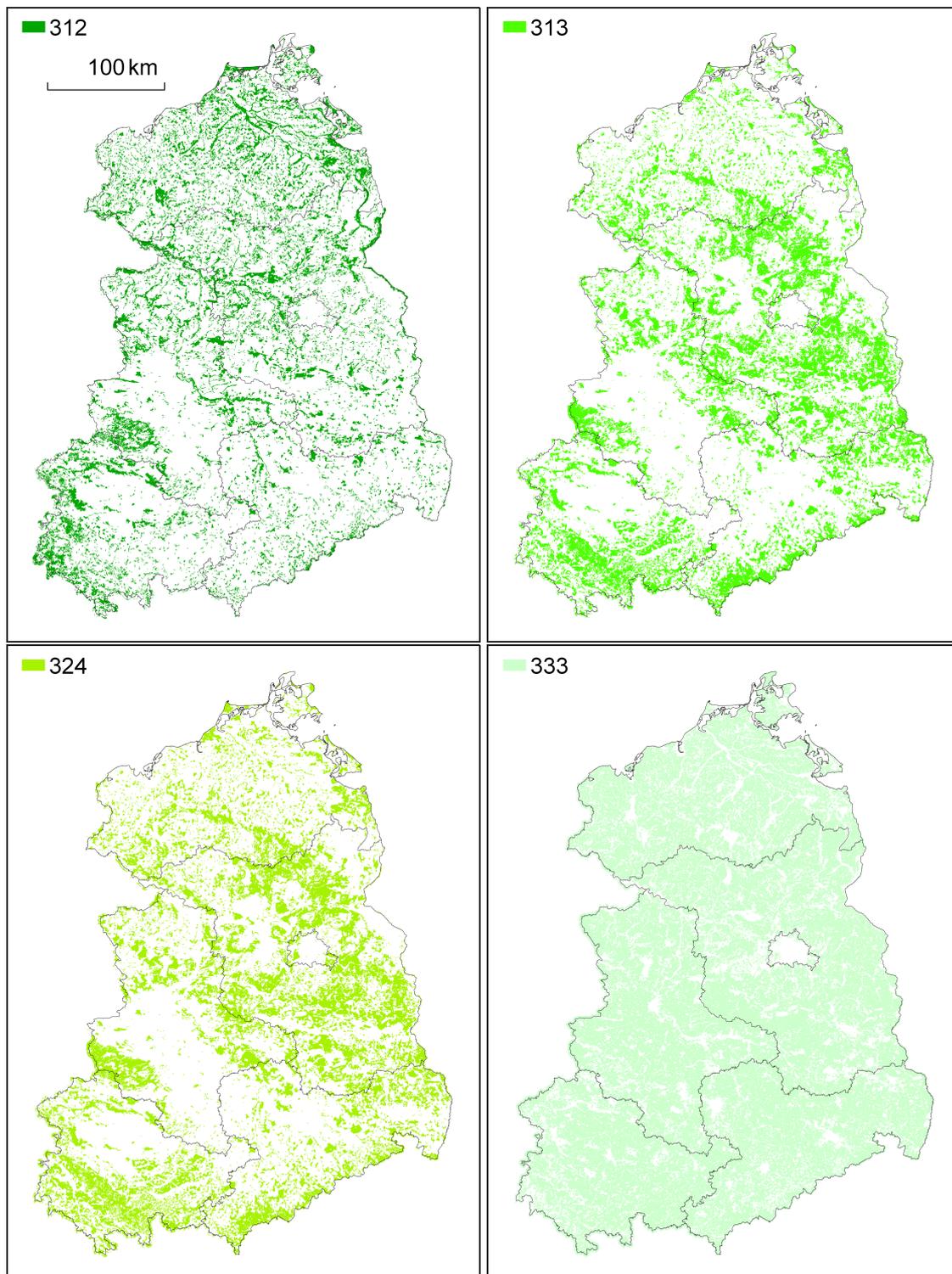


Abbildung 5.37: Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–1950 (Teil 2). Folgende LC-Klassen sind dargestellt: 312 — *Nadelwald*; 313 — *Mischwald*; 324 — *Strauch-Wald-Übergangsstadien*; 333 — *Flächen mit spärlicher Vegetation*.

5.6.3 Zuordnung des ähnlichsten Testgebietes zum moving window

Die Extrapolationsprozedur beruhte auf der Übertragung der in den Testgebieten beobachteten Flächenveränderungen auf das Extrapolationsgebiet. Dieses Extrapolationsgebiet wurde mittels eines moving windows in homogene Einheiten — bezüglich der räumlichen Ausdehnung — unterteilt. Jedem window wurde das ähnlichste Testgebiet in Bezug auf die Landbedeckung (Flächenanteile, Landschaftsstruktur) zugeordnet. Die im zugewiesenen Testgebiet beobachteten Flächenveränderungen wurden dann auf das Fenster übertragen. Die detaillierte Methodik des Extrapolationsmodells ist im Kapitel 4.8.2 beschrieben.

Abbildung 5.38 zeigt das Ergebnis der Zuordnung des ähnlichsten Testgebietes zum moving window für das Extrapolationsgebiet. Jede Rasterzelle symbolisiert hierbei die Lage eines von 17458 Fenstern; die Farbe der Zelle beschreibt das zugewiesene Testgebiet.

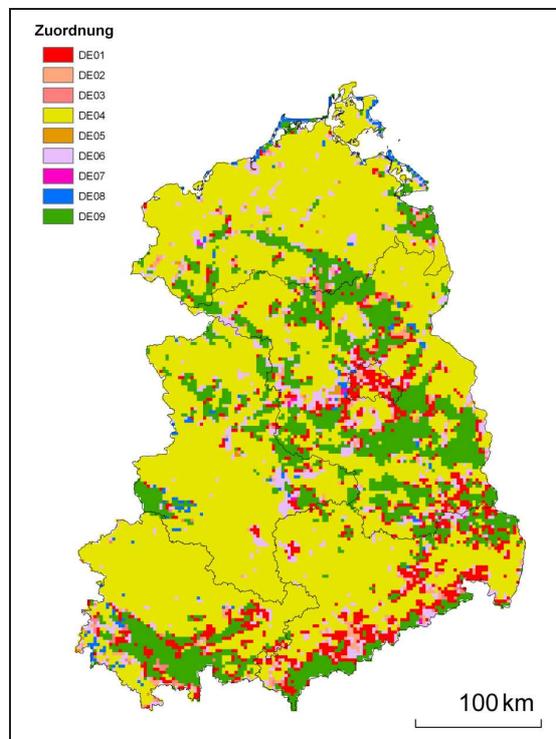


Abbildung 5.38: Räumliche Verteilung der Zuordnung der Transekte zum moving window für das Extrapolationsgebiet

Die landwirtschaftlich dominierten Regionen der neuen Bundesländer wurden vorwiegend durch das Transekt DE04 (Hainich) repräsentiert. Waldreiche Regionen wurden, unabhängig von ihrer Höhenlage, häufig durch DE09 (Nationalpark Müritz) abgebildet. Vielen Küstenregionen, z. B. dem Darß, wurde das Testgebiet DE08 (Nationalpark Jasmund) zugewiesen. Die geringe Anzahl der Transekte und die damit verbundene geringe Abdeckung der Landschaftsvariationen des Extrapolationsgebiets erschwerten eine adäquate Zuweisung der Veränderung. So wurde z. B. die Waldveränderung, die im Testgebiet DE09 beobachtet wurde, nicht nur auf Waldflächen in unteren Lagen übertragen, sondern auch auf Mittelgebirge wie Harz, Thüringer Wald oder Erzgebirge.

5.6.4 Extrapolationsergebnisse

Im diesem Kapitel sind die Ergebnisse des Extrapolationsmodells visualisiert. Die auf den nächsten Seiten dargestellten Karten zeigen für jede Landbedeckungsklasse, die in den Testgebieten Flächenveränderungen von mindestens 0,5% zwischen 1950 und 1990 aufwies, die regionale Flächenverteilung im Extrapolationsgebiet. Dabei wurden die relativen Flächenanteile im Jahr 1990 (Basis CLC90) den Anteilen im Jahr 1950 (Extrapolationsergebnis) gegenübergestellt.

Abbildung 5.39 zeigt die Ergebnisse für die LC-Klassen (LCC) *nicht durchgängig städtische Prägung* (112) und *Industrie- und Gewerbeflächen* (121). In den Abbildungen 5.40, 5.41 und 5.42 auf den folgenden Seiten sind die Ergebnisse der Landbedeckungsklassen *Abbauflächen* (131), *nicht bewässertes Ackerland* (211), *Weideland* (231), *Laubwald* (311), *Nadelwald* (312), *Mischwald* (313), *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324), *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) und *Binnenwasserflächen* (512) dargestellt.

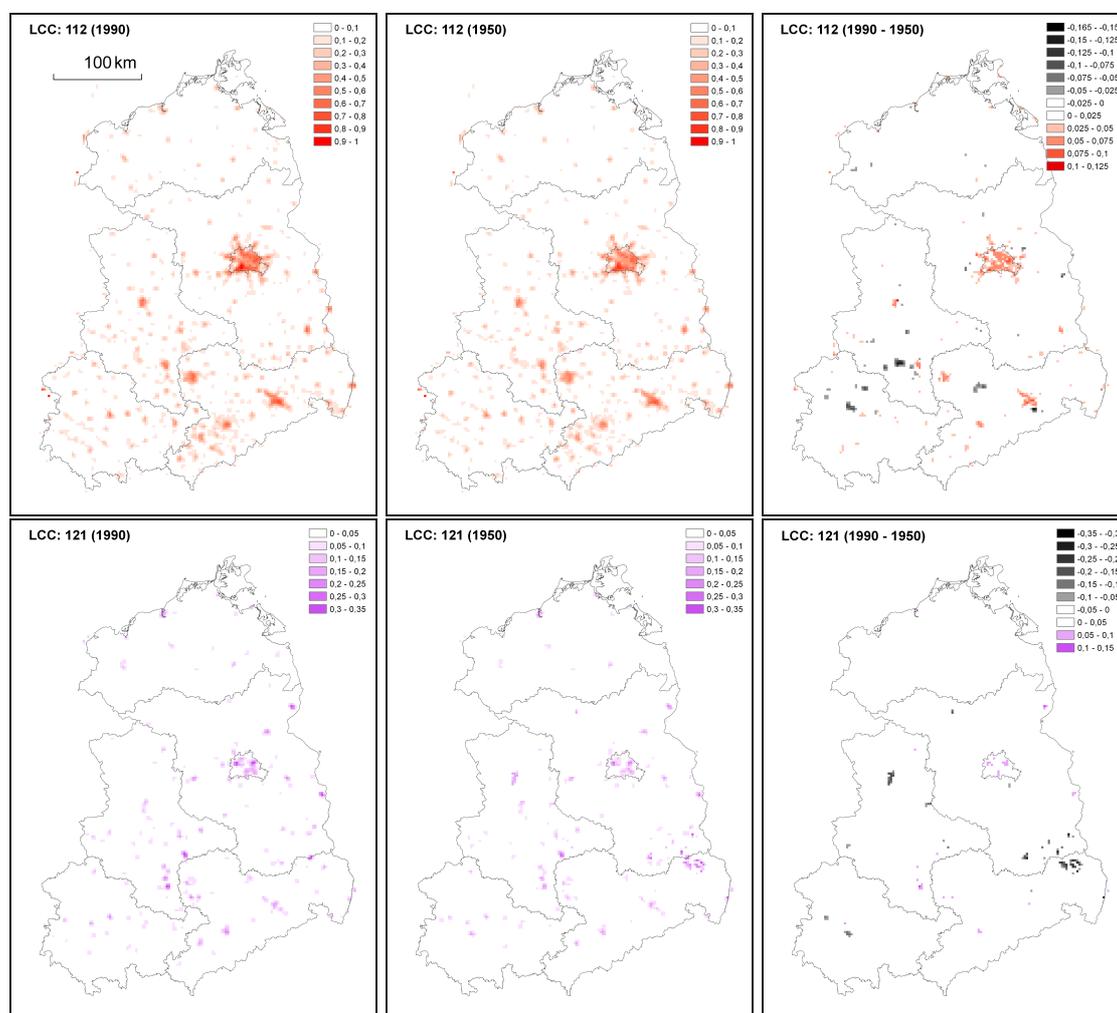


Abbildung 5.39: Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 112 (*nicht durchgängig städtische Prägung*) und 121 (*Industrie- und Gewerbeflächen*). In einer Zeile sind die CLC90-basierten Flächenanteile (1990), das Extrapolationsergebnis (1950) sowie ein Differenzbild beider Zeitpunkte für die Flächenanteile der jeweiligen LC-Klasse dargestellt. Ein Flächenanteil von 1 entspricht 100%.

5.6 Extrapolation von Landschaftsveränderungen

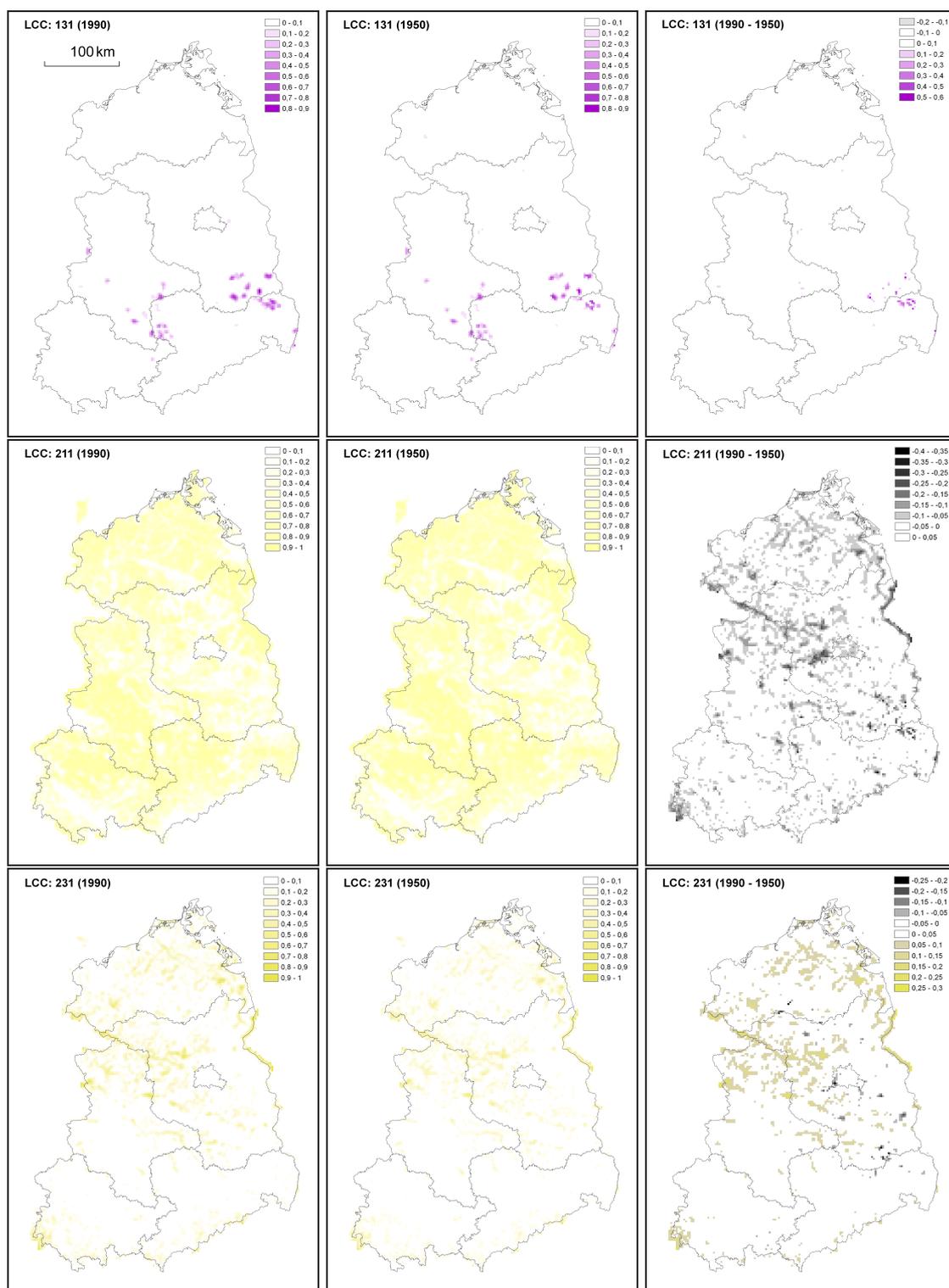


Abbildung 5.40: Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 131 (*Abbauflächen*), 211 (*nicht bewässertes Ackerland*) und 231 (*Weideland*). In einer Zeile sind die CLC90-basierten relativen Flächenanteile (1990), das Extrapolationsergebnis (1950) sowie ein Differenzbild beider Zeitpunkte für die Flächenanteile der jeweiligen LC-Klasse dargestellt. Ein Flächenanteil von 1 entspricht 100%.

5 Ergebnisse und Diskussion

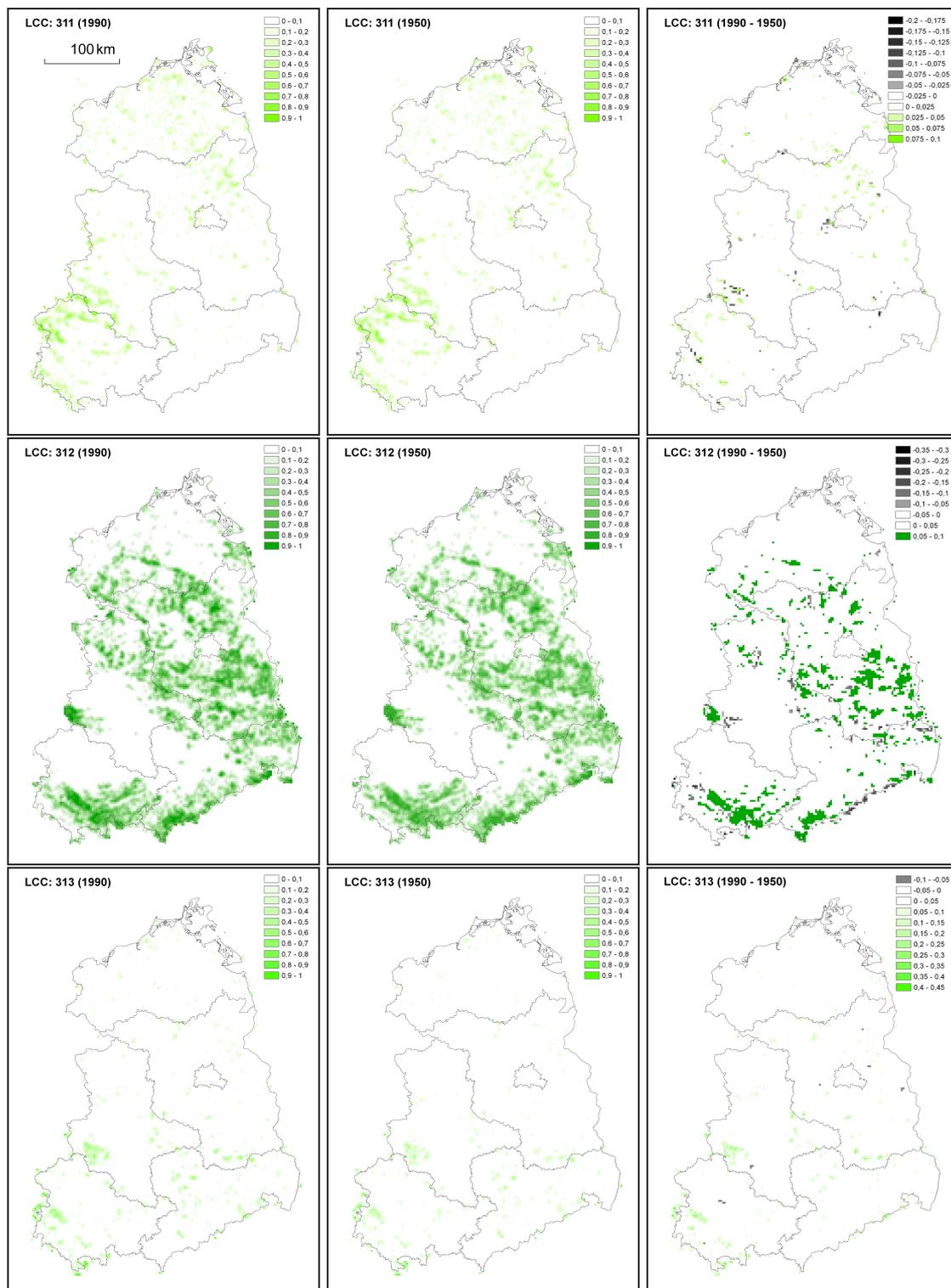


Abbildung 5.41: Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 311 (*Laubwald*), 312 (*Nadelwald*) und 313 (*Mischwald*). In einer Zeile sind die CLC90-basierten relativen Flächenanteile (1990), das Extrapolationsergebnis (1950) sowie ein Differenzbild beider Zeitpunkte für die Flächenanteile der jeweiligen LC-Klasse dargestellt. Ein Flächenanteil von 1 entspricht 100%.

5.6 Extrapolation von Landschaftsveränderungen

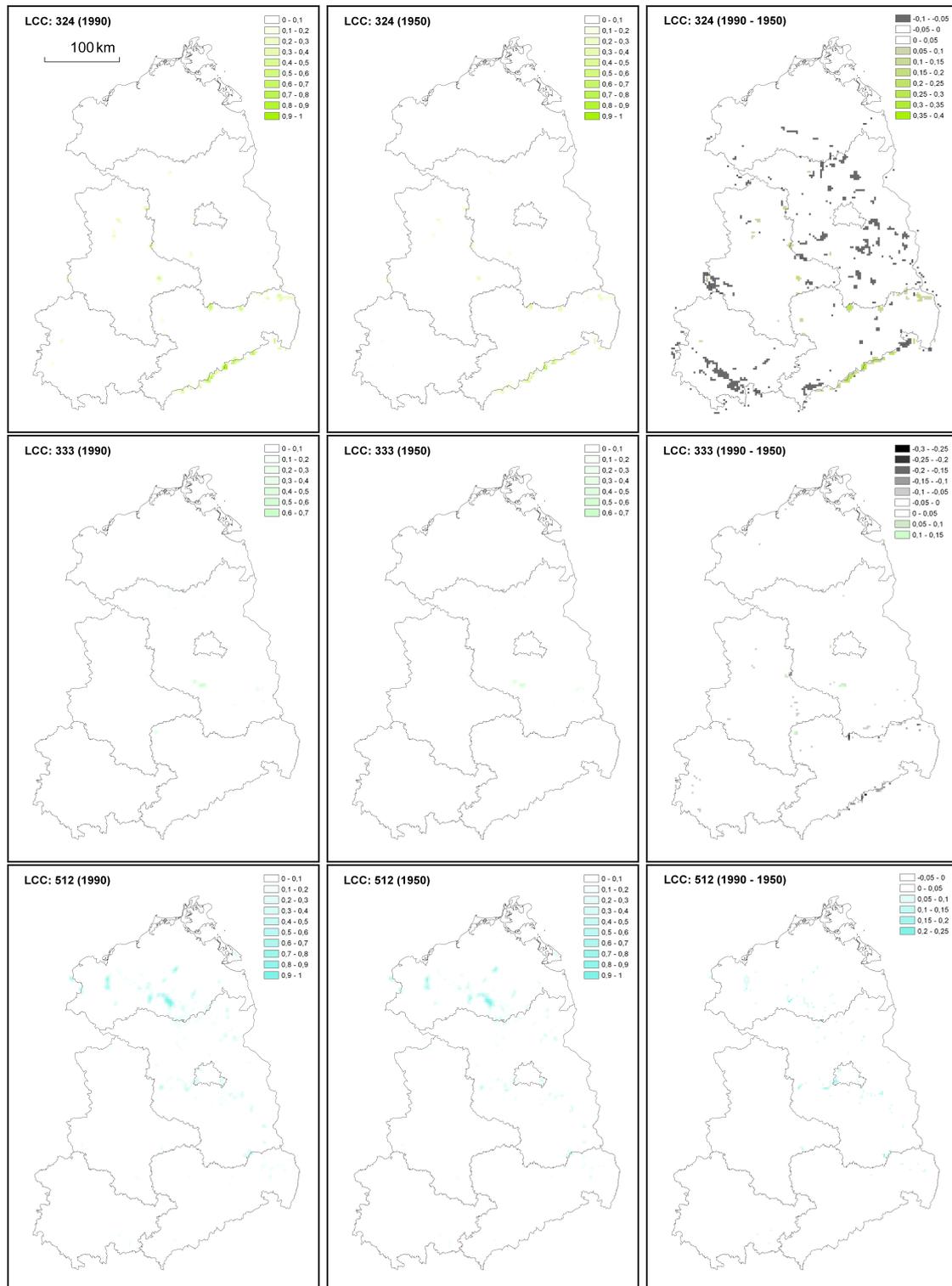


Abbildung 5.42: Ergebnisse der Extrapolation der LC-Klassen 324 (*Strauch-Wald-Übergangsstadien*), 333 (*Flächen mit spärlicher Vegetation*) und 512 (*Binnenwasserflächen*). In einer Zeile sind die CLC90-basierten relativen Flächenanteile (1990), das Extrapolationsergebnis (1950) sowie ein Differenzbild beider Zeitpunkte für die Flächenanteile der jeweiligen LC-Klasse dargestellt. Ein Flächenanteil von 1 entspricht 100%.

5 Ergebnisse und Diskussion

Flächengewinne der Klasse Siedlungen mit *nicht durchgängig städtischer Prägung* (112) sind zwischen 1950 und 1990 vor allem in den Ballungsräumen des Extrapolationsgebiets zu erkennen, so z. B. in Berlin, Dresden, Leipzig oder Magdeburg.

Die *Industrie- und Gewerbeflächen* (121) in der Nähe von Städten, wie z. B. Chemnitz, nahmen im Zeitraum 1950 bis 1990 zu. Dagegen sank die Anzahl der in der Nähe der Abbauflächen befindlichen Industriegebiete, z. B. in der Lausitz.

Abbauflächen (131) nahmen vor allem in der Lausitz in der Nähe vorhandener Abbaugebiete zwischen 1950 und 1990 zu.

Zwischen 1950 und 1990 wurden Flächenverluste von *nicht bewässertem Ackerland* (211) in allen Regionen des Extrapolationsgebiets berechnet.

Die Fläche von *Weideland* (231) nahm vorwiegend in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und im Norden von Sachsen-Anhalt zu.

Für die drei Waldtypen *Laubwald* (311), *Nadelwald* (312) und *Mischwald* (313) zeigte sich ein Flächengewinn, der vorwiegend in den Mittelgebirgen (Harz, Thüringer Wald, Erzgebirge) und in Brandenburg auftrat.

Die *Strauch-Wald-Übergangsstadien* (324) nahmen in der Periode 1950 bis 1990 überwiegend in den walddreichen Regionen (Harz, Thüringer Wald, westliches Erzgebirge und Brandenburg) ab.

Die LC-Klasse *Flächen mit spärlicher Vegetation* (333) zeigte nur geringe Änderungen, die im Umfeld von Tagebauen und militärischen Übungsplätzen auftraten.

Für *Wasserflächen* (512) wurden Flächengewinne zwischen 1950 und 1990 in der Umgebung bereits bestehender Flächen und Tagebaue abgebildet.

Abbildung 5.43 zeigt die räumliche Verteilung der dominanten Landbedeckungsklassen im Extrapolationsgebiet.

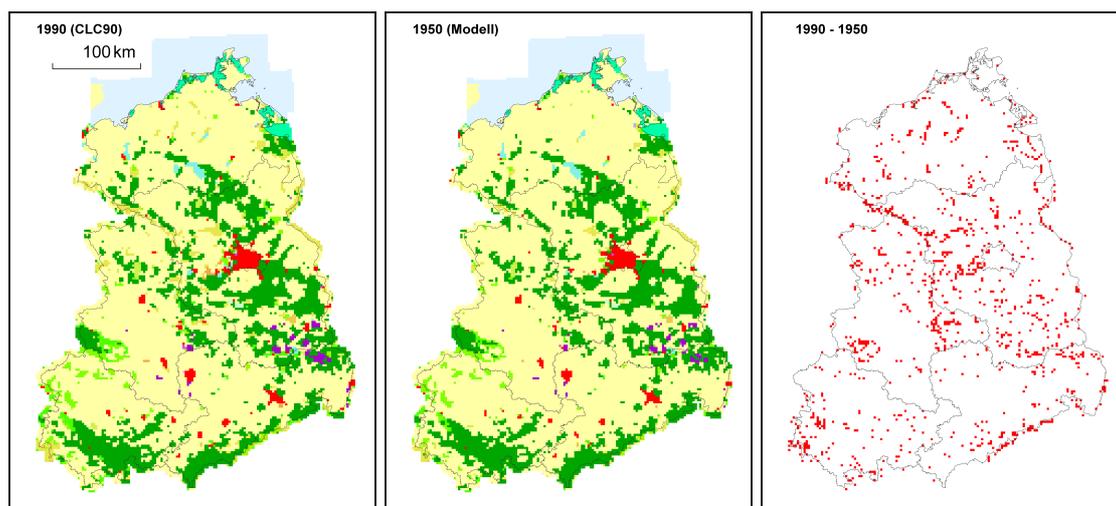


Abbildung 5.43: Verteilung der dominanten LC-Klassen im Extrapolationsgebiet in den Jahren 1990 und 1950. Die Farbkodierung der linken und mittleren Karte ist in Abbildung A.1 im Anhang A dargestellt. Das rechte Bild zeigt Unterschiede (rot) und gleiche LC-Klassen (weiss) zwischen 1990 und 1950.

Dabei zeigt die linke Karte die räumliche Verteilung der dominanten LC-Klasse im Jahr 1990 (Basis: CLC90). Die mittlere Grafik stellt die dominante LC-Klasse im Jahr 1950 dar (Basis: Extrapolationsergebnis). Die rechte Abbildung zeigt die Differenzen zwischen den beiden Zeitpunkten.

Die Wahrscheinlichkeit der hier modellierten Veränderungen wird im nächsten Kapitel „Validierung des Extrapolationsmodells“ erörtert.

5.6.5 Validierung des Extrapolationsmodells

Das Ergebnis der Extrapolationsperiode 1990–2000 diente als Validierung des Extrapolationsmodells. Dafür wurde das Modellergebnis im Jahr 2000 mit den CLC2000-Daten verglichen und die minimale Übereinstimmung zwischen beiden Datensätzen als Maß für die Genauigkeit herangezogen (siehe Kapitel 4.8.3). Das Modell erreicht im Mittel eine Übereinstimmung von 95,5 %, womit es deutlich genauer als eine zufällige Verteilung von neuen Landschaftsklassen im Jahr 2000 ist (12,0 % bei einer Patchgröße von 25 ha). Abbildung 5.44 zeigt die räumliche Verteilung der Übereinstimmung im Extrapolationsgebiet.

Die Karte zeigt, dass die Übereinstimmung in den meisten Regionen des Extrapolationsgebiets nahe 100 % ist. Ausnahmen mit besonders geringen Genauigkeiten sind z. B. der Bau des Flughafens Leipzig-Halle, die Veränderung der Tagebaulandschaft in der Lausitz (Renaturierung vs.

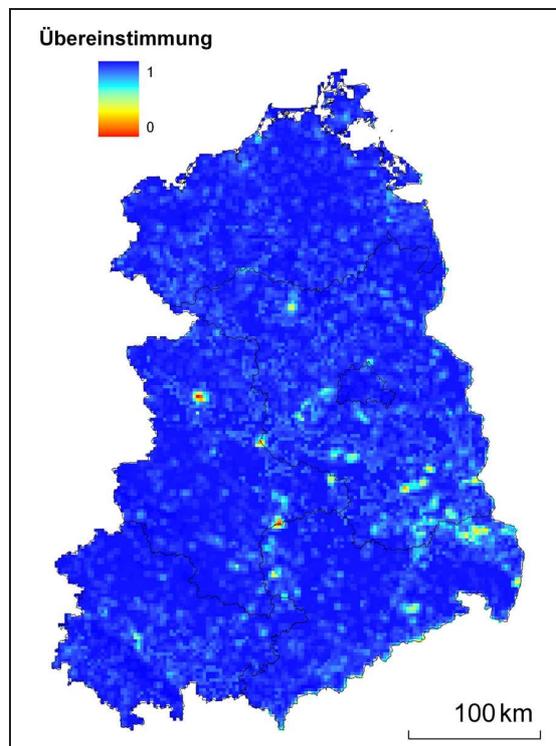


Abbildung 5.44: Räumliche Verteilung der Übereinstimmung von Flächenanteilen zwischen Extrapolationsergebnissen und CLC2000-Daten.

Erweiterung) sowie die Sukzession der natürlichen Grasflächen im militärischen Sperrgebiet in der Colbitz-Letzlinger Heide. Hier traten Veränderungen auf, die nicht durch Beobachtungen in den Transekten erklärt werden konnten.

Für weitere Untersuchungen im Rahmen der Validierung wurden künstliche, standardisierte Testgebiete (hier KTG genannt) mit einer Kantenlänge von 5 km geschaffen, die ohne gegenseitige Überlagerungen zufällig im Extrapolationsgebiet verteilt wurden (siehe Kapitel 4.8.3). Diese KTG wurden erstellt, um den Einfluss der Testgebietsform sowie des unterschiedlichen Interpretationsmaßstabs (und damit der Skalierungsfunktion) auszuschließen. In Tabelle 5.38 sind die Anzahl der künstlichen Testgebiete (Fläche je Testgebiet: 25 km²) und die damit einhergehende Abdeckung des Extrapolationsgebiets beschrieben. So deckten z. B. 100 Testgebiete insgesamt etwa 2 % des gesamten Extrapolationsgebiets ab. Als Nullvariante wurde ein Datensatz mit 5000 Testgebieten generiert, der das Extrapolationsgebiet vollständig abdeckte. Bei korrekter Extrapolation sollte mit diesem KTG-Datensatz eine 100 %ige Genauigkeit erreicht werden.

Die geringe Veränderungsrate zwischen 1990 und 2000 (10,2 % in den Transekten bzw. 3,6 % in CLC) bedingte die hohe Genauigkeit des Extrapolationsergebnisses. In einem weiteren Schritt wurde daher geprüft, welche Genauigkeiten das Extrapolationsmodell bei größeren Veränderungsraten erreicht. Zu diesem Zweck wurde aus den CLC2000-Daten eine synthetische Geo-Datenbank (N50) geschaffen, die eine Gesamtflächenveränderung der Landschaft von 50 % verglichen mit CLC90 aufwies. Damit standen zwei Geo-Datenbank-Kombinationen mit unterschiedlicher Gesamtflächenveränderung zur Verfügung (CLC90-CLC2000: 3,6 % vs. CLC90-N50: 50 %). Ihre Landbedeckungsinformationen erhielten die oben beschriebenen künstlichen Testgebiete durch das geometrische Verschneiden mit jeweils einer der beiden kombinierten Geo-Datenbanken. Die in den künstlichen Testgebieten festgestellten Veränderungen wurden ausgehend von CLC90 auf die neuen Bundesländer extrapoliert, und die Modellergebnisse wurden mittels der Übereinstimmung mit CLC2000 bzw. N50 validiert.

Die *Zuordnung des ähnlichsten Testgebiets zum moving window* (siehe Kapitel 5.6.3) stellt die zentrale Modellannahme dar, welche auf der Theorie basiert, dass Strukturen und Komplexität eines Landschafts-Patches mit der Neigung des Patches, sich zu verändern, zusammenhängen.

Tabelle 5.38: Anzahl der Testgebiete für die Sensitivitätsanalyse und deren prozentuale Abdeckung des Extrapolationsgebiets

Anzahl	Abdeckung in %
1	0,02
2	0,04
5	0,10
10	0,20
20	0,41
50	1,02
100	2,03

Diese Hypothese wurde mit Hilfe des Extrapolationsmodells untersucht, indem verschiedene Zuordnungsalgorithmen des ähnlichsten Testgebiets zum moving window (vergleiche auch Kapitel 4.8.2 und 5.6.3) angewendet und die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Genauigkeit überprüft wurden. Es kamen dabei folgende Annahmen bezüglich der Zuordnung bzw. Kombinationen dieser zum Einsatz:

- Zuordnung mittels ähnlichster Flächenanteile der LC-Klassen im Jahr 1990,
- Zuordnung mittels ähnlichster Landschaftsstrukturmaße (LSM) im Jahr 1990,
- Zuordnung mittels der ähnlichsten geographischen Lage (Höhe über NHN und Distanz).

Diese Liste beinhaltet ausschließlich Zuordnungsalgorithmen, die aus der Landbedeckung des Initialzeitpunkts bzw. dem digitalen Geländemodell abgeleitet wurden.

Tabelle 5.39 zeigt die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse der Extrapolation auf Basis von 10, 50 und 5000 künstlichen Testgebieten (KTG).

Die Nullvariante (5000 KTG) zeigte, dass bei eindeutiger Zuordnung der Testgebiete zum moving window — durch *Flächenanteil* bzw. *Lage* — eine vollständige Übereinstimmung der Extrapolationsergebnisse mit den Validierungsdaten möglich ist (Tabelle 5.39). Bei der Zuordnung auf Basis der in dieser Untersuchung ausgewählten *Landschaftsstrukturmaße* war dies dagegen nicht möglich (Übereinstimmung von 97,16 %).

Die Genauigkeit der Modellergebnisse bei einer Veränderungsrate von 50 % (CLC90-N50) war geringer als bei dem CLC90-CLC2000-Datensatz (ca. 56 % – ca. 65 % versus ca. 95 %). Damit war sie deutlich besser als die Genauigkeit bei einer zufälligen Verteilung von neuen Landschaftsklassen im Extrapolationsgebiet ohne Extrapolationsmodellierung (12 % bei einer Patchgröße von 25 ha). Somit ist das entwickelte Modell auch bei Veränderungsraten praktikabel, die größer als die zwischen CLC90 und CLC2000 beobachteten Änderungen sind.

Tabelle 5.39: Mittlere Übereinstimmung der Flächenanteile von Extrapolationsergebnis und CLC2000- bzw. N50-Daten in % in Abhängigkeit vom Zuordnungsalgorithmus. Die 5000 künstlichen Testgebiete (KTG) bilden die Nullvariante.

Zuordnung basierend auf...	Genauigkeit in % für CLC2000			... für N50	
	10 KTG	50 KTG	5000 KTG	10 KTG	50 KTG
Flächenanteil	95,17	95,37	100,00	60,23	63,38
Landschaftsstrukturmaße (LSM)	95,14	95,26	97,16	58,42	59,51
Lage	94,60	94,75	100,00	56,27	63,31
Flächenanteil & LSM	95,28	95,45		60,53	63,19
Flächenanteil & Lage	95,19	95,43		60,91	65,82
LSM & Lage	95,12	95,36		59,72	63,22
Flächenanteil & LSM & Lage	95,29	95,49		61,26	65,07
zufällige Zuordnung	94,41	94,23	94,27	51,62	51,80

Bei der Nutzung von 10 bzw. 50 künstlichen Testgebieten zeigten sich die Unterschiede zwischen den Zuordnungsalgorithmen, wobei die höhere Veränderungsrate in N50 zu deutlicheren Differenzen zwischen den Algorithmen führte. Die Genauigkeiten waren bei den *Landschaftsstrukturmaßen* und der *Lage* generell niedriger als bei Nutzung der *Flächenanteile*. Die Kombination der drei Algorithmen führte dagegen zur Verbesserung der Genauigkeit des Extrapolationsergebnisses verglichen mit der Zuordnung auf Basis einer einzelnen Modellannahme. Unabhängig vom Zuordnungsalgorithmus waren die Übereinstimmungen bei 50 KTG erwartungsgemäß größer als bei 10 KTG.

Die überprüften Zuordnungsalgorithmen resultierten ausnahmslos in genaueren Ergebnissen als bei der zufälligen Zuweisung eines Testgebiets zum moving window (letzte Zeile in Tabelle 5.39 auf der vorherigen Seite). Daher konnte die der Modellannahme zugrunde liegende Hypothese, dass Strukturen und Komplexität eines Landschafts-Patches mit der Neigung zur Veränderung des Patches zusammenhängen, mit Hilfe dieser Analyse bestätigt werden. Jedoch zeigte sich, dass mit Hilfe von Kombinationen aus weiteren Informationen, wie der Flächenanteile und der dreidimensionalen Lage das Ergebnis, noch verbessert wurde.

Zusammenfassung

Die meisten aktuellen Landschaftsmodelle simulieren einfache, hypothetische Landschaften, da die Anzahl der Einflussfaktoren auf die LC-Veränderungen zu groß ist (VELDKAMP und VERBURG, 2004). Dabei wird auf eine Vielzahl von Methoden zurückgegriffen, um Landschaftsveränderungen vorherzusagen (siehe VERBURG und VELDKAMP, 2005). Die Motivation für das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Extrapolationsmodell lag in der Übertragung von Landbedeckungen von Testgebieten auf ein anderes Gebiet, ohne komplexe Kausalanalysen durchführen zu müssen, wie sie z. B. für den Driver-Pressure-State-Impact-Response-Ansatz² nötig sind (siehe PIRRONE ET AL., 2005). Das Extrapolationsmodell hatte das Ziel, die Landbedeckung der neuen Bundesländer im Jahr 1950 mit Hilfe von empirisch gewonnenen Landbedeckungsdaten aus Testgebieten und den CLC90-Daten des Extrapolationsgebiets zu schätzen. Abgesehen von Schutzgebietsgrenzen und einem Höhenmodell wurde dabei bewusst auf die Nutzung von zusätzlichen Daten, welche Beziehungen zwischen Landschaftsveränderung und Antriebsprozessen wiedergeben, während der Modellierung verzichtet. Somit ist gewährleistet, dass die Veränderung der Landschaft auch in Regionen ohne den entsprechenden Informationen extrapoliert werden kann, ohne vorher aufwendige Kausalanalysen durchzuführen.

Aufgrund der geringen Veränderungsrate zwischen CLC90 und CLC2000 im Extrapolationsgebiet wurde eine mittlere Genauigkeit des Extrapolationsergebnisses im Jahr 2000 von über 95 % erreicht. Infolge des spezifischen Modellierungsansatzes ist diese Genauigkeit jedoch nicht direkt mit Landschaftsvorhersagemodellen anderer Autoren vergleichbar. Die im Rahmen der Extrapolation eintretende Aggregation der Landbedeckung auf Ebene des moving windows führte zu einem Verlust der Information über die genaue Lage der Landbedeckung. Daher ist die hier beobachtete Genauigkeit höher als bei einer pixelgenauen Validierung lokaler Landbedeckungsveränderungen. Im Extremfall kann eine vollständige Umgestaltung der Landschaft im moving window stattfinden,

² DPSIR

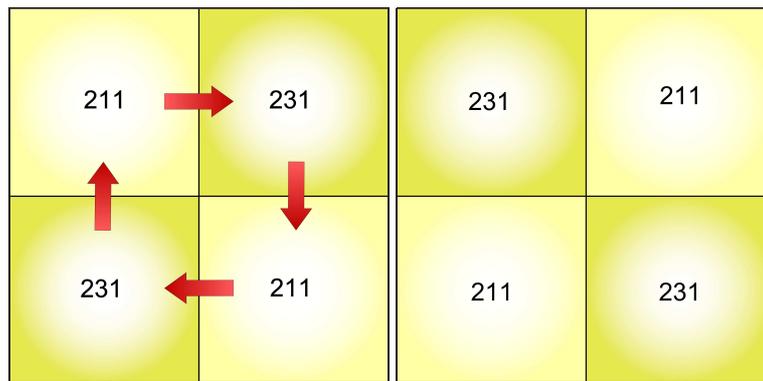


Abbildung 5.45: Beispiel der vollständigen Änderung von Landbedeckung in einem moving window (MW) zwischen 1990 (links) und 2000 (rechts). Der Flächenanteil der vorkommenden LC-Klassen *Ackerland* (211) und *Weideland* (231) im MW ist jedoch in beiden Zeitpunkten identisch.

welche in der Extrapolationsprozedur auch berechnet wird, im Endergebnis jedoch zu denselben Flächenanteilen wie im Ausgangsjahr führt (siehe Abbildung 5.45). Beispielsweise erreichte PONTIUS JR. ET AL. (2003) bei der Simulation von nur zwei Klassen (Wald und Nichtwald) mit dem Model GEOMOD eine Genauigkeit von 91 %. WEAR und BOLSTAD (1998) entwickelten z. B. ein Vorhersagemodell der Landnutzungsänderung auf Basis von Gebäudedichten und erreichten mit diesem korrekte Vorhersagen zwischen 68 % und 89 %. Allerdings wurde in beiden Beispielen eine temporale Simulation von Veränderungen auf Pixelbasis vorgenommen und keine aggregierende räumliche Extrapolation.

Trotz der Einschränkung bezüglich des unterschiedlichen Interpretationsmaßstabs zwischen Transekten und Extrapolationsgebiet konnte die Genauigkeit der Extrapolationsergebnisse mit Hilfe der Eignungskarten verbessert werden. Damit sind diese Karten, neben der Visualisierung von potentiellen Flächen der Landschaftsveränderung, auch zur Unterstützung der Extrapolation von Landbedeckungsveränderungen geeignet.

Die Auswahl der neun Testgebiete beeinflusste maßgeblich das Ergebnis der Extrapolation. Einerseits deckten sie weniger als 0,2 % des Extrapolationsgebiets ab und konnten so die Variation der Landbedeckung bzw. der Veränderungen in den moving windows nicht ausreichend wiedergeben. Andererseits wurde der Fokus bei der Auswahl sowie der Ausrichtung der Transekte bewusst auf Regionen mit hohem Veränderungspotential in den Untersuchungsperioden und nicht auf die Möglichkeit der Extrapolation von Landschaftsveränderungen gelegt (BIOPRESS-Projektvorgabe).

Alle untersuchten Modellannahmen, die auf der Theorie beruhen, dass die Veränderungsneigung eines Landschafts-Patches mit der Struktur und Komplexität des Patches zusammenhängt, resultierten in genaueren Ergebnissen als eine zufällige Zuweisung des Testgebiets zum moving window. Daher konnte die der Modellannahme zugrunde liegende Hypothese (siehe oben) mit Hilfe dieser Analyse bestätigt werden. Eine Kombination der Modellannahme mit der ähnlichsten geographischen Lage erhöhte die Genauigkeit des Modellergebnisses noch. Auch COMBER ET AL. (2003) konnten mit Hilfe der Analyse von räumlicher Landschaftsstruktur feststellen, dass einige Landschaftsprozesse, wie z. B. anthropogene Störungen von semi-natürlicher Landbedeckung, mit

Messungen der Landschaftsstruktur zusammenhängen.

Die Nutzung von Modellannahmen, die auf gesicherten Beziehungen zwischen Landschaftsveränderung und Antriebsprozessen beruhen, kann die Genauigkeit der Extrapolation verbessern. Obwohl einfache ursächliche Annahmen bezüglich der Landschaftsveränderung, die auf Bevölkerungswachstum, Armut oder Infrastruktur basieren, nur selten das Verständnis des Landschaftswandels verbessern (LAMBIN ET AL., 2001), können sie die Evolution des vorgestellten Extrapolationsmodells unterstützen. Aufgrund des modularen Aufbaus des Extrapolationsmodells können diese zusätzlichen Informationen in Form digitaler Karten in den Modellablauf integriert werden.

Da das Regelwerk der Veränderungen ausschließlich auf den beobachteten Landschaftsveränderungen in den Testgebieten basiert, sind diese entwickelten Regeln nur dann allgemeingültig, wenn die Variabilität der Landbedeckungsveränderungen durch eine ausreichende Anzahl von Testgebieten abgedeckt wird. Allerdings stellten bereits WEAR und BOLSTAD (1998) fest, dass die Landbedeckung allein nur eine erste Einschätzung bieten kann, wie das Land aktuell genutzt wird. Sie kann nur begrenzte Einsichten in ökologische Konsequenzen der humanen Nutzungsmuster geben, z. B. bei der Flächennutzung im Wald.

Kapitel 6

Schlussfolgerungen

Das Ziel der Arbeit war die umfassende Analyse der Landschaft und ihrer Veränderungen in den neun Testgebieten sowie die Prüfung, ob die aus diesen Untersuchungen abgeleiteten Hypothesen als Eingabe- und Steuergrößen für ein empirisches Extrapolationsmodell geeignet sind.

Die Identifikation von kausalen Zusammenhängen zwischen Landbedeckungsveränderungen und den verursachenden Prozessen sind die Voraussetzung für die Generierung eines plausiblen Landschaftsmodells (VELDKAMP und LAMBIN, 2001). Das Ziel der vorliegenden Arbeit war jedoch nicht die Entwicklung eines weiteren Landschaftsmodelles, da bereits eine Vielzahl von Autoren diesen Weg einschlagen (z. B. BOGAERT ET AL., 2004; COMBER ET AL., 2003; JONES ET AL., 2001; PEARSON ET AL., 1999; PONTIUS JR. ET AL., 2001; SCHNEIDER und PONTIUS JR., 2001; SERNEELS und LAMBIN, 2001; THINH, 2003; TURNER ET AL., 2003; WEAR und BOLSTAD, 1998; ZENG ET AL., 2008). Im hier vorgestellten Extrapolationsmodell wurde bewusst auf die Untersuchung dieser kausalen Zusammenhänge mittels Standortparameter, politische Rahmenbedingungen oder Informationen zu sozialen und ökonomischen Entwicklungen verzichtet. Daher können aufgrund der fehlenden kausalen Prozesskette mit dem Modell keine temporalen Vorhersagen über lokale Veränderungen der Landschaft bzw. zukünftige Entwicklungsszenarien in den Testgebieten getroffen werden.

Die Modellerstellung zielte dagegen auf die Extrapolationen von Landbedeckungsänderungen von Testgebieten auf ein größeres Gebiet mit einem Minimum an Input-Daten, die direkt empirisch aus der Landbedeckung gewonnen werden können. Wenn die Ergebnisgenauigkeit für eine Fragestellung ausreichend ist, kann durch die Nutzung des Extrapolationsmodells eine kostenintensive Vollaufnahme der Landbedeckung vom Zielzeitpunkt vermieden werden bzw. werden Ergebnisse geliefert, die aufgrund finanzieller oder politischer Einschränkungen ansonsten nicht verfügbar sind. Weitere Stärken des hier entwickelten Modells liegen in der Quantifizierung und Lokalisierung von Landschaftsveränderungen. Es ist ebenfalls in der Lage, mit Hilfe von Eignungskarten Potentiale bestimmter Veränderungen zu skizzieren. Ein weiterer Vorteil ist die Kostenersparnis, da neben Landbedeckungsdaten, einem Geländemodell und Schutzgebietsgrenzen keine zusätzlichen Daten benötigt werden. Die Ergebnisse des Extrapolationsmodells sind z. B. als Input für Modelle geeignet, die auf einer ähnlichen Aggregierungsebene (5 km × 5 km) arbeiten.

Das entwickelte Modell stellt ein geeignetes Mittel zur räumlichen Extrapolation von Landbedeckung dar, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Interpretationsregeln, d. h. die thematischen Klassen, die minimale Kartiereinheit sowie der Interpretationsmaßstab, zwischen Testgebieten und Extrapolationsgebiet sollten identisch sein, um Fehler durch eine Skalierungsfunktion auszuschließen.
- Die Form der Testgebiete sollte geeignet für die Bestimmung von Strukturmaßen sein, d. h. sie sollten nur eine geringe Beeinflussung durch Testgebietsgrenzen aufweisen.
- Idealerweise sollte das moving window die gleiche Form und Größe wie die Testgebiete besitzen.
- Die Auswahl der Testgebiete sollte auf das Ziel „Extrapolation“ ausgerichtet sein und die Variationen der Landbedeckung im Extrapolationsgebiet abdecken.
- Die politischen und sozialen Rahmenbedingungen im Extrapolationsgebiet sollten mit den Testgebieten für die Extrapolationsperiode übereinstimmen. So ist z. B. die Entwicklung im Zeitraum 1950 bis 1990 in den Testgebieten (auf dem Gebiet der DDR) nicht vergleichbar mit dem damaligen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Folgende Erweiterungen bzw. Änderungen von Modellparametern werden bei dem Anspruch an eine bessere Modellgenauigkeit empfohlen:

- Die Eignungskarten können durch externe Daten und die damit verbundenen veränderungsorientierten Parametern erweitert werden (z. B. Bevölkerungsentwicklung vs. Siedlungsentwicklung).
- Die Zuordnung der Testgebiete kann anhand einer Kombination aus Landbedeckungsanteil und kausalen Zusammenhängen zwischen Landschaftsänderung und antreibendem Prozess (z. B. Entwaldung aufgrund von Reparationszahlungen) erfolgen.

Die Erweiterung der Modellparameter kollidiert allerdings mit dem initialen Ziel der Nutzung von minimalem Daten-Input für die Extrapolation. Dies zeigt, dass mit wenigen Daten (Landbedeckungsinformation, Geländemodell, Schutzgebietsgrenzen) nur eine begrenzte Genauigkeit der Modellergebnisse erreicht werden kann. Abhängig von der Fragestellung einer Untersuchung, die auf die Extrapolationsergebnisse zurückgreift, muss entschieden werden, ob der zusätzliche Aufwand für die Verbesserung der Modellgenauigkeit gerechtfertigt ist.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Extrapolationsmodell ist modular aufgebaut, d. h. alle Eingabeparameter können angepasst oder erweitert werden. So können beispielsweise die Eignungskarten durch zusätzliche Regeln verbessert oder aber auch durch Ergebnisse unabhängiger Modelle erweitert werden. Auch die zugrunde liegende zentrale Modellannahme für die Testgebietszuordnung kann verändert bzw. angepasst werden, um somit bessere Vorhersagegenauigkeiten des Modells zu erhalten.

Kapitel 7

Zusammenfassung

7.1 Ziel

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Veränderungen von Landbedeckung und Landnutzung in den letzten 50 Jahren in neun Testgebieten Ostdeutschlands mittels der Interpretation historischer Luftbilder untersucht. Die Analyse der Flächenveränderungen auf Basis von modifizierten CO-RINE-Land-Cover¹-Klassifizierungsregeln wurde durch Indikatoren erweitert, welche die Landschaftsstruktur sowie Nachbarschaftsbeziehungen von Flächen beschreiben. Zusätzlich wurde die Möglichkeit der Extrapolation von Landschaftsveränderungen auf der Basis dieser quantitativen Indikatoren getestet. Die Modellerstellung zielte auf die Extrapolationen von Landbedeckungsänderungen von Testgebieten auf ein größeres Gebiet mit einem Minimum an Input-Daten, die direkt aus der Landbedeckung gewonnen werden können. So können Ergebnisse geliefert werden, die aufgrund finanzieller oder politischer Einschränkungen ansonsten nicht verfügbar sind.

7.2 Fehlerbetrachtung der Interpretationsergebnisse

Obwohl für die Untersuchung historischer Landbedeckung keine Referenzdaten in Form von Felduntersuchungen vorlagen, wurde die Genauigkeit der Interpretationsergebnisse mittels des Vergleichs von multiplen Interpretationen geschätzt. Es wurden Übereinstimmungen zwischen den Interpretationsergebnissen des lokalen Interpreters und jeweils einer Kontrollklassifikation zwischen 72,6 % und 84,2 % beobachtet. Die Genauigkeit der Veränderungen rangierte in Abhängigkeit vom Validierungsinterpretierer zwischen 67,3 % und 79,4 %.

¹ CLC

7.3 Flächenveränderung der Landbedeckung

26,12 % der Landbedeckung der Transekte veränderte sich zwischen 1950 und 1990. Flächenverluste wurden vor allem bei den Klassen *nicht bewässertes Ackerland* und *Abbauflächen* beobachtet. Flächenzunahmen konnten dagegen die Klassen *Weideland*, *Laub-* und *Mischwälder* sowie *Siedlungsflächen* und *Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen* verzeichnen. *Nadelwald* und *Strauch-Wald-Übergangsstadien* wiesen bedeutende Verlagerungen der Flächen auf.

Zwischen 1990 und 2000 veränderten sich 10,24 % der Testgebietsfläche. In diesem Zeitraum sanken vor allem die Flächenanteile der LC-Klassen *nicht bewässertes Ackerland*, *Flächen mit spärlicher Vegetation* und *Abbauflächen*. Zusätzlich nahmen auch die Anteile der *Industrie- und Gewerbegebiete* ab. Flächengewinne wurden bei *Weideland*, *Nadelwald*, *natürlichem Grasland*, aber auch *Siedlungsflächen* beobachtet. Verlagerungen traten in der Periode 1990 bis 2000 vorwiegend bei *Strauch-Wald-Übergangsstadien* auf.

Bebaute Flächen entstanden in beiden Untersuchungszeiträumen vorwiegend aus landwirtschaftlichen Klassen, wohingegen sich die naturnahen Flächen vor allem aus Wäldern und anderen semi-natürlichen Gebieten entwickelten. Auffällig waren Flächengewinne von naturnahen Klassen im Rahmen der Renaturierung von *Tagebauflächen* bzw. der Stilllegung von *Industriegebieten*. Insgesamt war in beiden Perioden trotz der Zunahme von bebauten Flächen ein Trend zu naturnahen Flächen zu erkennen. Die häufigsten Veränderungen wurden jedoch zwischen *Ackerland* und *Weideland* beobachtet.

Die Landnutzungsänderungen in der Periode 1950–2000 waren geringer als die Summe der Veränderungen für die Zeiträume 1950–1990 und 1990–2000, da sich die Landschaft lokal mehrmals veränderte. Eine Interpolation der Veränderungen über einen längeren Zeitraum hinaus ohne Zusatzinformationen muss daher kritisch betrachtet werden.

Obwohl die Klassenanzahl in CLC-Level 2 (14 beobachtete Klassen) auf 48 % verglichen mit der Klassenanzahl in Level 3 (29 beobachtete Klassen) sank, wurden noch 92,1 % der in CLC-Level 3 klassifizierten Veränderungen durch die Interpretation in Level 2 erfasst. Bei der Interpretation auf Grundlage von CLC-Level 1 (5 Klassen) dagegen konnten durchschnittlich nur noch 45,3 % der in Level 3 beobachteten Flächenveränderungen nachgewiesen werden. Der größte Teil der Veränderungen fand zwischen Landbedeckungstypen statt, die nicht in derselben Level-2-Klasse zusammengefasst werden konnten.

7.4 Landschaftsstrukturmaße und Hemerobie-Index M

Die Untersuchungen zeigten, dass die Landschaftsveränderung nur mit Hilfe mehrerer Strukturmaße umfassend quantifiziert werden kann. Bei der Interpretation von Landschaftsstrukturmaßen auf Testgebietsebene muss die Art der statistischen Zusammenfassung der einzelnen Indizes beachtet werden, da z. B. der mittlere Formindex und der flächengewichtete mittlere Formindex unterschiedliche Tendenzen im Zeitverlauf zeigten. 78,1 % (1990) bis 84 % (2000) der Fläche der Testgebiete waren von Randeffekten aufgrund der länglichen Form der Transekte betroffen. Die

Berechnung von Strukturmaßen, z. B. von Formmaßen, wurde dadurch erheblich beeinflusst.

Die Berechnung des Indexes M ist ein Schätzverfahren für die Hemerobie von Landschaften auf Grundlage von Flächenanteilen der Landbedeckungs- bzw. Nutzungsklassen. Es wurde gezeigt, dass die CLC-Nomenklatur nicht ideal für die Bestimmung des Indexes ist, da eine Zuordnung der LC-Klassen zu Hemerobiestufen nicht immer eindeutig war. Vorteile des Indexes sind die einfache Berechnung sowie die Möglichkeit der großflächigen Anwendung, um den Grad der menschlichen Nutzungskultur auf die Landschaft zu beschreiben.

7.5 Nachbarschafts- und Distanzanalysen

In beiden Untersuchungsperioden entstanden neue *Siedlungsflächen* vorrangig mit direktem Anschluss an bestehende Siedlungen. Auch neue *Abbauflächen* sowie *Laub-* und *Nadelwälder* waren überwiegend Erweiterungen bereits bestehender Flächen. Bemerkenswert ist der hohe Anteil an Lückenauffüllungen im Wald, was auf Aufforstungen ehemaliger Kahlschlagsflächen hinweist. Neue *Industriegebiete* waren dagegen vorwiegend Erschließungen ohne direkte benachbarte *Industrie- und Gewerbeflächen*. Verlagerungen von Flächen in benachbarte Gebiete waren nur bei *Ackerland* und *Weiden* ausgeprägt. Mehr als 90 % der neuen *Siedlungsflächen* bzw. Waldflächen entstanden in einem maximalen Abstand von 200 m zu bereits bestehenden urbanen Gebieten bzw. Wäldern.

In beiden Untersuchungsperioden wurden innerhalb der Naturschutzgebiete hauptsächlich interne Veränderungen in Wäldern bzw. naturnahen Flächen sowie landwirtschaftlichen Flächen beobachtet. Im Zeitraum 1950–1990 waren die Schutzgebiete daneben durch die Veränderung zu Wäldern bzw. naturnahen Flächen sowie landwirtschaftlichen Flächen gekennzeichnet. Schutzgebiete stellten eine Restriktion für die Zunahme von bebauten Flächen dar. Außerhalb der NATURA2000-Gebiete wurden alle Veränderungstypen registriert. Die Untersuchungen zeigten, dass sich die Landbedeckungsänderungstypen vor und nach der Schutzgebietsausweisung ähnelten, obwohl die meisten Schutzgebiete erst in den 90er Jahren ausgewiesen wurden.

7.6 Höheninformationen für die Auswertung von Landschaftsinventuren

Der Einfluss des Reliefs auf die Berechnung der Landschaftsveränderung wurde für das Testgebiet „Hintere Sächsische Schweiz“ (DE03) geprüft. Mit der Berechnungsmethode nach JENNESS (2004) wurden die größten 3D-Oberflächenwerte bestimmt. Die Unterschiede zur in ArcInfo bereits implementierten Anwendung TIN waren bei dieser Datengrundlage jedoch irrelevant. Die Quotienten aus 3D-Oberfläche und planimetrischer Fläche sanken mit abnehmender Auflösung des digitalen Geländemodells (DGM). Das DGM mit einer Bodenauflösung von 20 m hatte in vorliegender Arbeit keinen nennenswerten Einfluss auf die Gesamtveränderung der LC-Flächenanteile, die Landschaftsstrukturmaße sowie den Hemerobie-Index. Aufgrund der in dieser Arbeit genutzten Klassifizierungsregeln (minimale Kartiereinheit: 0,5 ha, minimale Polygonbreite: 20 m) wird ein Höhenmodell mit einer Bodenauflösung von 5 m oder besser benötigt, um den Einfluss des Reliefs

auf die Landbedeckungsveränderung zu demonstrieren.

Aus der beobachteten Hangneigung der einzelnen LC-Klassengewinne bzw. -verluste wurden Grenzwerte für die Eignungskarten abgeleitet, die im Extrapolationsmodell Anwendung fanden.

7.7 Extrapolation von Landschaftsveränderungen

Die aus den Untersuchungen der Transekte gewonnenen Erkenntnisse wurden in Regeln der Landschaftsveränderung formuliert, die die Grundlage für die Eignungskarten im Extrapolationsmodell bildeten. Neben der Visualisierung von potentiellen Flächen der Landschaftsveränderung stellten die Eignungskarten ein geeignetes Mittel zur Verbesserung der Genauigkeit der Extrapolationsergebnisse dar.

Es wurde ein Extrapolationsmodell entwickelt, das ausschließlich auf empirisch erhobenen Landbedeckungsinformationen, einem Höhenmodell und Schutzgebietsgrenzen basierte. Durch die Nutzung des Extrapolationsmodells kann eine kostenintensive Vollaufnahme der Landbedeckung vom Zielzeitpunkt unterbleiben bzw. werden Ergebnisse geliefert, die aufgrund finanzieller oder politischer Einschränkungen ansonsten nicht verfügbar sind. Weitere Stärken des hier entwickelten Modells liegen in der Quantifizierung und Lokalisierung von Landschaftsveränderungen.

Das Modell erreicht im Mittel eine Genauigkeit von 95,5 % für den Validierungszeitraum 1990 bis 2000, womit es deutlich genauer als eine zufällige Verteilung von neuen Landschaftsklassen im Jahr 2000 (12,0 %) ist. Dabei zeigte sich, dass die Genauigkeit in den meisten Regionen des Extrapolationsgebiets nahe 100 % ist. Ausnahmen mit besonders geringen Genauigkeiten sind auf lokale Veränderungen in den CLC-Daten zurückzuführen, die nicht durch Beobachtungen in den Transekten erklärt werden konnten.

Die in der Landschaftsökologie verbreitete Theorie, dass die Neigung eines Landschafts-Patches zur Veränderung mit der Form und Komplexität des Patches zusammenhängt, konnte mit Hilfe der erweiterten Validierungsanalyse des Extrapolationsmodells bestätigt werden. Die Kombination der Modellannahme mit der ähnlichsten geographischen Lage erhöhte zusätzlich die Genauigkeit der Modellergebnisse.

Literaturverzeichnis

- AGUILÓ, M. und IGLESIAS, E. (1995): Landscape inventory. In MARTÍNEZ-FALERO, E. und GONZÁLEZ-ALONSO, S. (Herausgeber), *Quantitative Techniques in Landscape Planning*, CRC Press, Inc. Lewis Publishers, Seiten 47–85.
- ALBERTZ, J. (2001): *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*, Band 2. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 250 Seiten.
- AMT FÜR GEOINFORMATION, VERMESSUNGS- UND KATASTERWESEN MECKLENBURG-VORPOMMERN (2007): Landesluftbildstelle, Luftbildparameter, Flugdatum 2003–2006. <http://www.lverma-mv.de/>.
- ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (2003): Luftbild-Interpretation, Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild. Landesforstpräsidium Sachsen, 49 Seiten.
- ARNOT, C., FISHER, P., WADSWORTH, R. und WELLENS, J. (2004): Landscape metrics with ecotones: pattern under uncertainty. *Landscape Ecology* **19**(2): 181–195.
- BARTHOLOMÉ, E., BELWARD, A. S., ACHARD, F., BARTALEV, S., CARMONA-MORENO, C., EVA, H., FRITZ, S., GREGOIRE, J.-M., MAYAUX, P. und STIBIG, H.-J. (2002): GLC 2000 - Global Land Cover mapping for the year 2000 - Project status November 2002. *Technischer Bericht*, JRC - Institute for Environment and Sustainability, Ispra, 58 Seiten.
- BECK, O. A. und LAPPE, V. (2005): Schränken FFH-Waldschutzgebiete waldbauliches Handeln ein? *Forst und Holz* **60**(1): 16–19.
- BEIERKUHNLEIN, C. (2003): Der Begriff Biodiversität. *Nova Acta Leopoldina NF 87* **328**: 51–71.
- BOGAERT, J., CEULEMANS, R. und EYSENRODE, D. S.-V. (2004): Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management* **33**(1): 62–73.
- BOLLINGER, J., WAGNER, H. und TURNER, M. G. (2007): Identifying and quantifying landscape patterns in space and time. In KIENAST, F., WILDI, O. und GHOSH, S. (Herausgeber), *A Changing World. Challenges for Landscape Research*, Springer, Dordrecht, *Landscape Series*, Band 8, Seiten 177–194.

- BOSSARD, M., FERANEC, J. und OTAHEL, J. (2000): CORINE land cover technical guide — Addendum 2000. *Technischer Bericht*, European Environment Agency, Copenhagen, 105 Seiten.
- BRANDT, J. J. E., BUNCE, R. G. H., HOWARD, D. C. und PETIT, S. (2002): General principles of monitoring land cover change based on two case studies in Britain and Denmark. *Landscape and Urban Planning* **62**(1): 37–51.
- BÜRGI, M., HERSPERGER, A. M., HALL, M., SOUTHGATE, E. W. R. und SCHNEEBERGER, N. (2007): Using the past to understand the present land use and land cover. In KIENAST, F., WILDI, O. und GHOSH, S. (Herausgeber), *A Changing World. Challenges for Landscape Research*, Springer, Dordrecht, *Landscape Series*, Band 8, Seiten 133–144.
- BÜTTNER, G., FERANEC, J., JAFFRAIN, G., MARI, L., MAUCHA, G. und SOUKUP, T. (2004): The CORINE Land Cover 2000 project. In *EARSeL eProceedings*, Band 3, Seiten 331–346.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2007): Zum Stand der Umsetzung von Natura 2000 in Deutschland. http://www.bfn.de/0316_gebiete.html.
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (2002): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege — Bundesnaturschutzgesetz. http://bundesrecht.juris.de/bnatschg_2002/index.html.
- BUSS-GROUP (2006): Sea-Terminal im Fährhafen Neu-Mukran. http://www.buss-group.de/index.php?id=30&backPID=136&tt_news=141.
- CAIN, D., RIITERS, K. und ORVIS, K. (1997): A multi-scale analysis of landscape statistics. *Landscape Ecology* **12**: 199–212.
- CALVO-IGLESIAS, M. S., FRA-PALEO, U., CRECENTE-MASEDA, R. und DÍAZ-VARELA, R. A. (2006): Directions of change in land cover and landscape patterns from 1957 to 2000 in agricultural landscapes in NW Spain. *Environmental Management* **38**(6): 921–933.
- CARMEL, Y. (2004): Characterizing location and classification error patterns in time-series thematic maps. *IEEE Geoscience and remote sensing letters* **1**(1): 11–14.
- CARMEL, Y. (2005): Aggregation as a means of increasing thematic map accuracy. In ATKINSON, P. M., FOODY, G. M., DARBY, S. E. und WU, F. (Herausgeber), *Geodynamics*, CRC Press, London, Seiten 29–38.
- CARMEL, Y., DEAN, D. J. und FLATHER, C. H. (2001): Combining location and classification error sources for estimating multi-temporal database accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **67**(7): 865–872.
- CARMEL, Y. und KADMON, R. (1998): Computerized classification of Mediterranean vegetation using panchromatic aerial photographs. *Journal of Vegetation Science* **9**: 445–454.
- CHAMPEAUX, J., ARCOS, D., BAZILE, E., GIARD, D. und NIOILHAN, J. (1998): Vegetation parameters maps over Europe using NOAA/AVHRR in meteorological models. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, IGARSS '98*, Seattle, Band 3, Seiten 1726–1728.

- CHAVEZ, J. P. und BAUER, B. (1982): An automatic optimum kernel-size selection technique for edge enhancement. *Remote Sens. Environ.* **12**(1): 22–38.
- COMBER, A. J., BIRNIE, R. V. und HODGSON, M. (2003): A retrospective analysis of land cover change using a polygon shape index. *Global Ecol Biogeography* **12**(3): 207–215.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1995): CORINE Land Cover - Part 1: Methodology. *Technischer Bericht*, Office for Official Publications of the European Communities, 94 Seiten.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2006): Barometer der gemeldeten NATURA2000-Gebiete in Europa. http://ec.europa.eu/environment/nature/nature_conservation/useful_info/barometer/barometer.htm.
- CONGALTON, R. G. (1988): A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **54**(5): 593–600.
- CONGALTON, R. G. (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* **37**(1): 35–46.
- CORDIS (2006): CORDIS FP5: Homepage bzw. Projekt-Web-Datenbank für das 5. Rahmenprogramm. <http://cordis.europa.eu/fp5/home.html>.
- DONOGHUE, D., WATT, P., COX, N., DUNFORD, R., WILSON, J., STABLES, S. und SMITH, S. (2004): An evaluation of the use of satellite data for monitoring early development of young Sitka spruce plantation forest growth. *Forestry* **77**(5): 383–396.
- DORNER, B., LERTZMAN, K. und FALL, J. (2002): Landscape pattern in topographically complex landscapes: issues and techniques for analysis. *Landscape Ecology* **17**(8): 729–743.
- EEA (2001): Biogeographical regions of Europe. <http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=155>.
- ERDAS IMAGINE® INC. (1999a): *ERDAS FIELD GUIDE™*. Atlanta, 5. Auflage, 672 Seiten.
- ERDAS IMAGINE® INC. (1999b): *IMAGINE OrthoBASE™ Tour Guide*. Atlanta, 208 Seiten.
- ESRI (2004a): ArcDoc Version 9.0.
- ESRI (2004b): ArcGIS Desktop Help 9.0.
- EUROPÄISCHE UNION (1979): RICHTLINIE 79/409/EWG DES RATES vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten. Amt für amtliche Veröffentlichung der Europäischen Gemeinschaften. 25 Seiten.
- EUROPÄISCHE UNION (1992): RICHTLINIE 92/43/EWG DES RATES vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amt für amtliche Veröffentlichung der Europäischen Gemeinschaften. 59 Seiten.

- EUROPÄISCHER GERICHTSHOF (2006): URTEIL DES GERICHTSHOFES (Zweite Kammer) vom 10. Januar 2006, Rechtssache C-98/03 betreffend eine Vertragsverletzungsklage nach Artikel 226 EG, eingereicht am 28. Februar 2003. <http://curia.europa.eu/jurisp/cgi-bin/gettext.pl?where=&lang=de&num=79939889C19030098&doc=T&ouvert=T&seance=ARRET>.
- FERANEC, J., CEBECAUER, T. und OTHAEL, J. (2003): Manual of computer aided visual interpretation of aerial B&W photographs. *Technischer Bericht BIOPRESS D3*, Institute of Geography, Slovak Academy of Science, Bratislava, 104 Seiten.
- FERANEC, J., CEBECAUER, T. und OTHAEL, J. (2004): Photo-to-photo interpretation manual. *Technischer Bericht BIOPRESS D13-1.0*, Institute of Geography, Slovak Academy of Science, 103 Seiten.
- FOODY, G. M. (2006a): The evaluation and comparison of thematic maps derived from remote sensing. In CAETANO, M. und PAINHO, M. (Herausgeber), *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Lisboa, Instituto Geográfico Português, Seiten 18–31.
- FOODY, G. M. (2006b): What is the difference between two maps? A remote sensor's view. *Journal of Geographical Systems* **8**(2): 119–130.
- FORMAN, R. T. T. (1995): Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* **10**(3): 133–142.
- FORMAN, R. T. T. und GODRON, M. (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York, 619 Seiten.
- FRITZLAR, D. und BIEHL, H. (2006): *Buchen-Plenterwald Hainich*. Buchenzentrum Mühlhausen e.V., 40 Seiten.
- FÜRST, C. (2005): Natura 2000 - Stolperstein oder Meilenstein für die Akzeptanz naturschutzfachlicher Aspekte in der forstlichen Praxis? *Forst und Holz* **60**(1): 12–15.
- FUCHS, M. (2002): *Methoden zur objektiven Ableitung von Bodenkarten im Folgemaßstab - Unterstützung der geometrisch-begrifflichen Generalisierung von Bodenkarten durch erweiterte Werkzeuge in einem Geo-Informationssystem*. Dissertation, Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften, 186 Seiten.
- FULLER, R. M., SMITH, G. M. und DEVEREUX, B. J. (2003): The characterisation and measurement of land cover change through remote sensing: problems in operational applications? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **4**: 243–253.
- GALLEGO, F. J. (2004): Remote sensing and land cover area estimation. *Int. J. Remote Sensing* **25**(15): 3019–3047.
- GERARD, F., GREGOR, M., LUQUE, S., HUITU, H., KÖHLER, R., OLSCHOFSKY, K., HAZEU, G., MÜCHER, C., HALADA, L., BUGÁR, G. und PINO, J. (2006): *Land cover change in Europe from the 1950's to 2000. Aerial photo interpretation and derived statistics from 59 samples distributed across Europe*. 364 Seiten.

- GESIS (2006): MURBANDY - Homepage des GESIS. <http://www.gesis.org/Forschung/murbandy.htm>.
- GRABHERR, G., KOCH, G., KIRCHMEIR, H. und REITER, K. (1995): Hemerobie österreichischer Waldökosysteme - Vorstellung eines Forschungsvorhabens im Rahmen des österreichischen Beitrages zum MAB-Programm der UNESCO. *Z. Ökologie u. Naturschutz* **4**: 105–110.
- GRIFFITH, J. A., MARTINKO, E. A. und PRICE, K. P. (2000): Landscape structure analysis of Kansas at three scales. *Landscape and Urban Planning* **52**(1): 45–61.
- GRIMM, B., WÖRSTENFELD, W., GUTMACHER, E. und MARTIN, K. (1992): *Das neue Tafelwerk: Ein Tabellen- und Formelwerk für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht ab Klasse 7*. Volk und Wissen Verlag, Berlin, 80 Seiten.
- GUSTAFSON, E. J. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* **1**(2): 143–156.
- GUSTAFSON, E. J. und PARKER, G. R. (1992): Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* **7**(2): 101–110.
- HALLS, J. N. und KRAATZ, L. (2006): Estimating error and uncertainty in change detection analyses of historical aerial photographs. In CAETANO, M. und PAINHO, M. (Herausgeber), *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in natural Ressources and Environmental Sciences*, Lisboa, Instituto Geográfico Português, Seiten 429–438.
- HANSA LUFTBILD (2007): Aufnahmetechnik: Digitalkamera. <http://www.hansaluftbild.de/de/technologie/sensorik/aufnahmetechnik/digitalkamera.html>.
- HARTUNG, J. und ELPELT, B. (1999): *Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*, Band 6. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 815 Seiten.
- HAZEU, G. und MÜCHER, C. (2005): Historic land use dynamics in and around Natura2000 sites as indicators for impact on biodiversity - Phase I of the BIOPRESS project for the Netherlands. *Technischer Bericht Alterra-report 1077*, Alterra, Wageningen, 161 Seiten.
- HERMES, B. und SEMPFHUBER, M. (2002): MURBANDY - Benutzerfreundliche Recherche von Landnutzungsdaten. In HAMMWÖHNER, R., WOLFF, C. und WOMSER-HACKER, C. (Herausgeber), *Information und Mobilität, Optimierung und Vermeidung von Mobilität durch Information. 8. Internationale Symposium für Informationswissenschaft (ISI 2002)*, UKK Verlagsgesellschaft mbH, Regensburg, Seiten 393–394.
- HEYMANN, Y., STEENMANN, C., CROISSILLE, G. und BOSSARD, G. M. (1994): CORINE Land Cover. Technical guide. *Technischer Bericht*, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg.
- HOECHSTETTER, S., THINH, N. X. und WALZ, U. (2006): 3d-Indices for the analysis of spatial patterns of landscape structure. In *InterCarto-InterGIS 12*, Berlin, Seiten 108–118.

- HOECHSTETTER, S. und WALZ, U. (2006): Werkzeuge und Methoden zur Analyse von dreidimensionalen Landschaftsstrukturen. In WITTMANN, J. und MÜLLER, M. (Herausgeber), *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften*, Shaker Verlag, Aachen, Seiten 235–244.
- HOECHSTETTER, S., WALZ, U., DANG, L. H. und THIN, N. (2008): Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure - A proposal to modify the existing set of landscape metrics. *Landscape Online* **1**: 1–14.
- HULSHOFF, R. M. (1995): Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology* **10**(2): 101–111.
- HYVÖNEN, P. und ANTTILA, P. (2006): Change detection in boreal forests using bi-temporal aerial photographs. *Silva Fennica* **40**(2): 303–314.
- IVERSON, L. (1988): Land-use changes in Illinois, USA: the influence of landscape attributes on current and historic land use. *Landscape Ecology* **2**(1): 45–61.
- JAEGER, J. (2003): II-5.3 Landschaftszerschneidung. In KONOLD, W., BÖCKER, R. und HAMPICKE, U. (Herausgeber), *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege*, Ecomed-Verlag, Landsberg, Band 11, Seite 30 (1999 ff.).
- JALAS, J. (1955): Hemerobe und hemerochrome Pflanzenarten. Ein terminologischer Reformversuch. *Acta Soc. pro Fauna et Flora Fenn.* **72**(11): 1–15.
- JENNESS, J. S. (2004): Calculating landscape surface area from digital elevation models. *Wildlife Society Bulletin* **32**(3): 829–839.
- JENSEN, J. R. (2000): *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Prentice Hall, New Jersey, 544 Seiten.
- JENSEN, J. R. (2005): *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Pearson Prentice Hall, 3. Auflage, 526 Seiten.
- JÄHNE, B. (2002): *Digitale Bildverarbeitung*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 5. Auflage, 618 Seiten.
- JONES, K., NEALE, A., WADE, T., WICKHAM, J., CROSS, C., EDMONDS, C., LOVELAND, T., NASH, M., RIITERS, K. und SMITH, E. (2001): The consequences of landscape change on ecological resources: An assessment of the United States Mid-Atlantic region, 1973-1993. *Ecosystem Health* **7**(4): 229–242.
- JONES, R. (2005): A review of land use/land cover and agricultural change models. *PIER Energy-Related Environmental Research CEC-500-2005-056*, Stratus Consulting Inc. for the California Energy Commission.
- JRC (2001a): LACOAST - Homepage. <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/research/endorsed/28-lacoast/lacoast.htm>.
- JRC (2001b): MOLAND - Homepage. <http://moland.jrc.it/index.htm>.

- JRC (2006): GLC2000: Objectives and input data. <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>.
- KANG, S., LEE, D. und KIMBALL, J. (2004): The effects of spatial aggregation of complex topography on hydroecological process simulations within a rugged forest landscape: development and application of a satellite-based topoclimatic model. *Can. J. For. Res.* **34**: 519–530.
- KASPERIDUS, H. und LAUSCH, A. (1998): Geographische Informationssysteme. In BANZHAF, E. und KASPERIDUS, H. (Herausgeber), *Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischer Informationssysteme im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld*, Band UFZ-Bericht 2/1998, Seiten 53–63.
- KEIL, M., MOHAUPT-JAHR, B., KIEFL, R. und STRUNZ, G. (2002): Das Projekt CORINE Land Cover 2000 in Deutschland. In DECH, S., MEHL, H. und STRUNZ, G. (Herausgeber), *19. DFD-Nutzerseminar*, Oberpfaffenhofen, Seiten 95–104.
- KÖHL, M., MAGNUSSEN, S. und MARCHETTI, M. (2006): *Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 392 Seiten.
- KÖHL, M. und OEHMICHEN, K. (2003): Zur Verwendung von Landschaftsmasszahlen bei Wald- und Landschaftsinventuren: Überblick und Kritik. *Schweiz. Z. Forstwes.* **154**(1): 8–16.
- KÖHL, M. und ZINGG, A. (1996): Eignung von Diversitätsindizes bei Langzeituntersuchungen zur Biodiversität in Waldbeständen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **167**(4): 76–85.
- KHORRAM, S., DAI, X., KNIGHT, J., CAKIR, H., YUAN, H. und MAO, Z. (2000): Improving estimates of the accuracy of thematic maps when using aerial photos as the ground reference source. In *ASPRS 2000 Proceedings*, Washington, DC., Seiten 1–9.
- KLOTZ, S. und KÜHN, I. (2002): Indikatoren des anthropogenen Einflusses auf die Vegetation. In *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, Bundesamt für Naturschutz, Bonn, Band H. 38, Seiten 241–246.
- LAMBIN, E. F., GEIST, H. und RINDFUSS, R. (2006): Introduction: Local processes with global impacts. In LAMBIN, E. F. und GEIST, H. (Herausgeber), *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*, Global Change - The IGBP Series, Springer, Berlin Heidelberg, Seiten 1–8.
- LAMBIN, E. F., TURNER, B. L., GEIST, H. J., AGBOLA, S. B., ANGELSEN, A., BRUCE, J. W., COOMES, O. T., DIRZO, R., FISCHER, G., FOLKE, C., GEORGE, P. S., HOMEWOOD, K., IMBERNON, J., LEEMANS, R., LI, X., MORAN, E. F., MORTIMORE, M., RAMAKRISHNAN, P. S., RICHARDS, J. F., SKANES, H., STEFFEN, W., STONE, G. D., SVEDIN, U., VELDKAMP, T. A., VOGEL, C. und XU, J. (2001): The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* **11**(4): 261–269.
- LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE SACHSEN (2006): FFH-Gebiete in Sachsen. http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lflug/lflug-internet/natur-landschaftsschutz_ffh.cfm.

- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2006): NATURA2000 - Gebietsliste. <http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich04/natura2000/gebietslisten/main.htm>.
- LANDESVERMESSUNGSAMT SACHSEN (2007): Parameter für Bildflüge, Aufnahmezeitpunkt. <http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/produkte/luft/luftser/paramdig.html>.
- LARSSON, T. B., ANGELSTAM, P., BALENT, G., BARBATI, A., BIJLSMA, R.-J., BONCINA, A., BRADSHAW, R., BÜCKING, W., CIANCIO, O., CORONA, P., DIACI, J., DIAS, S., ELLENBERG, H., FERNANDES, F., FERNANDEZ-GONZALES, F., FERRIS, R., FRANK, G., MOLLER, P., GILLER, P., GUSTAFSSON, L., HALBRITTER, K., HALL, S., HANSSON, L., INNES, J., JACTEL, H., DOBBERTIN, M., KLEIN, M., MARCHETTI, M., MOHREN, F., NIEMELÄ, P., O'HALLORAN, J., RAMETSTEINER, E., REGO, F., SCHEIDEGGER, C., SCOTTI, R., SJÖBERG, K., SPANOS, I., SPANOS, K., STANDOVÁR, T., SVENSSON, L., TOMMERAS, B., TRAKOLIS, D., UUTTERA, J., VANDENMEERSCHAUT, D., VANDEKERKHOVE, K., WALSH, P. and WATT, A. (2001): *Biodiversity Evaluation Tools for European forests*. Ecological Bulletins 50, Blackwell Science, 237 Seiten.
- LAUSCH, A. (2000): Erfassung und Analyse von Landschaftsstrukturmustern und deren Veränderungen der Tagebaufolgelandschaft des Südraumes Leipzig mit Methoden der Geoinformation und Fernerkundung. In BEIERKUHNLEIN, C., BREUSTE, J., DOLLINGER, R., LENZ, R., POTSCHIN, M., STEINHARDT, U. und SYRBE, R.-U. (Herausgeber), *Zukunft mitteleuropäischer Kulturlandschaften*, International Association for Landscape Ecology (IALE-D), Nürtingen, Seiten 42–43.
- LI, H. und REYNOLDS, J. F. (1993): A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* **8**(3): 155–162.
- LI, H. und WU, J. (2004): Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology* **19**: 389–399.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. und CHIPMAN, J. W. (2004): *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc., 5. Auflage, 763 Seiten.
- LOVELAND, T. R. und BELWARD, A. S. (1997): The International Geosphere Biosphere Programme Data and Information System global land cover data set (DISCover). *Acta Astronautica* **41**(4-10): 681–689.
- LUCC (2002): LUCC - Homepage. <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/home.html>.
- MAS, J. (1999): Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *Int. J. Remote Sensing* **20**(1): 139–152.
- MCCUSKER, B. (2001): Using Landsat Thematic Mapper images to detect land cover change in South Africa. *The Earth Observer* **13**(2): 26–28.

- MCGARIGAL, K. (2002): Landscape pattern metrics. In EL-SHAARAWI, A. H. und PIEGORSCH, W. W. (Herausgeber), *Encyclopedia of Environmentrics*, John Wiley & Sons, Sussex, England, Band 2, Seiten 1135–1142.
- MCGARIGAL, K. und MARKS, B. J. (1995): FRAGSTATS - Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Tech Report PNW-351*, USDA For. Serv. Gen., 134 Seiten.
- MÜCHER, S., GERARD, F., OLSCHOFSKY, K., HAZEU, G., LUQUE, S., PINO, J., GREGOR, M., WACHOWICZ, M., HALADA, L., TOMPO, E., KÖHLER, R., PETIT, S., SMITH, G. und KOLAR, J. (2006): Spatial impact of conservation sites (NATURA 2000) on land cover changes. In *2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover*, Center for Remote Sensing of Land Surface, Bonn, Seiten 387–393.
- MÜCHER, S., STEINNOCHER, K., CHAMPEAUX, J., GRIGUOLO, S., WESTER, K., HEUNKS, C. und VAN KATWIJK, V. (2000): Establishment of a 1-km pan-European land cover database for environmental monitoring. In *IAPRS*, Amsterdam, Band XXXIII.
- MIKHAIL, E. M., BETHEL, J. S. und MCGLONE, J. C. (2001): *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons, Inc., 479 Seiten.
- MILLER, J. R., TURNER, M. G., SMITHWICK, E. A. H., DENT, C. L. und STANLEY, E. H. (2004): Spatial extrapolation: The science of predicting ecological patterns and processes. *BioScience* **54**(4): 310–320.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ MECKLENBURG-VORPOMMERN (2007): FFH-Gebiete in Mecklenburg-Vorpommern. http://www.mv-regierung.de/lm/naturdaten/doku/Erlass_FFH_Anlage1_gemel_FFH-Gebiete.pdf.
- MÜLLER, D. und ZELLER, M. (2002): Land use dynamics in the central highlands of Vietnam: a spatial model combining village survey data with satellite imagery interpretation. *Agricultural Economics* **27**: 333–354.
- MULLER, S., RACOVITEANU, A. und WALKER, D. (1999): Landsat MSS-derived land-cover map of northern Alaska: extrapolation methods and a comparison with photo-interpreted and AVHRR-derived maps. *Int. J. Remote Sensing* **20**(15 & 16): 2921–2946.
- NAESSET, E. (1996): Use of the weighted Kappa coefficient in classification error assessment of thematic maps. *International Journal of Geographic Information Science* **10**(5): 591–603.
- NATIONALPARKAMT MÜRITZ (2007): Truppenübungsplatz als Offenlandschaft. <http://www.nationalpark-mueritz.de/?id=50&file=landscape/offenlandschaft&lang=de>.
- NATIONALPARKAMT VORPOMMERN (2007): Gebietsbeschreibung-Lebensräume. <http://www.nationalpark-jasmund.de>.
- OEHMICHEN, K. (2001): *Vergleich von Landschaftsindizes unter besonderer Berücksichtigung des geometrischen- und geographischen Window - Konzeptes*. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 51 Seiten.

- OEHMICHEN, K. und KÖHL, M. (2006): Weiterentwicklung von Indikatoren zur Erfassung der Fragmentierung von Wäldern unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit. *Arbeitsbericht*, Institut für Weltforstwirtschaft, Universität Hamburg, 41 Seiten.
- OLSCHOFSKY, K. (2004): Selection of test sites in Europe: a 2-level stratification approach. *Technischer Bericht BIOPRESS D8-D9-1.1*, Institut für Weltforstwirtschaft, Universität Hamburg, 9 Seiten.
- O'NEILL, R., KRUMMEL, J., GARDNER, R. H., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DEANGELIS, D., MILNE, B., TURNER, M. G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S., DALE, V. und GRAHAM, R. (1988): Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* **1**(3): 153–162.
- O'NEILL, R., RIITERS, K., WICKHAM, J. und JONES, K. (1999): Landscape pattern metrics and regional assessment. *Ecosystem Health* **5**(4): 225–233.
- PEARSON, S. M., TURNER, M. G. und URBAN, D. L. (1999): Effective exercises in teaching landscape ecology. In KLOPATEK, J. M. und GARDNER, R. H. (Herausgeber), *Landscape ecological analysis*, Springer, Seiten 335–368.
- PERDIGAO, V. und ANNONI, A. (1997): *Technical and methodological guide for updating CORINE land cover data base*. JRC - European Commission, 140 Seiten.
- PERDIGAO, V. und CHRISTENSEN, S. (2000): The LACOAST atlas: Land cover changes in European coastal zones. *Technischer Bericht S.P.I.00.39 EN*, European Commission JRC/SAI, Italy, 272 Seiten.
- PIRRONE, N., TROMBINO, G., CINNIRELLA, S., ALGIERI, A., BENDORICCHIO, G. und PALMERI, L. (2005): The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. *Reg. Environ. Change* **5**: 111–137.
- PONTIUS JR., R. G., AGRAWAL, A. und HUFFAKER, D. (2003): Estimating the uncertainty of land-cover extrapolations while constructing a raster map from tabular data. *Journal of Geographical Systems* **5**(3): 253–273.
- PONTIUS JR., R. G., CORNELL, J. D. und HALL, C. A. S. (2001): Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **1775**: 1–13.
- PONTIUS JR., R. G. und LIPPIT, C. (2004): A method to distinguish real landscape change from map error during map comparison. In H. TODD MOWRER, R. M. R. S., RONALD MCROBERTS, N. C. F. E. S., PAUL C. VANDEUSEN, N. C. F. A. und IMPROVEMENT, S. (Herausgeber), *The Sixth International Symposium On Spatial Accuracy Assessment In Natural Resources and Environmental Sciences*, Portland, Maine, USA, Seiten 1–9.
- PONTIUS JR., R. G. und MALIZIA, N. R. (2004): Effect of category aggregation on map comparison. In *Lecture Notes in Computer Science: Geographic Information Science*, Springer, Berlin Heidelberg, Band 3234, Seiten 251–268.

- PONTIUS JR., R. G., VERSLUIS, A. J. und MALIZIA, N. R. (2006): Visualizing certainty of extrapolations from models of land change. *Landscape Ecology* **21**(7): 1151–1166.
- REDER, J. (2002): Entwicklung eines halbautomatisierten Verfahrens zur Detektion neuer Siedlungsflächen durch vergleichende Untersuchungen hochauflösender Satellitendaten für die Stadt- und Regionalplanung. In BLASCHKE, T. (Herausgeber), *Fernerkundung und GIS: neue Sensoren - innovative Methoden*, H. Wichmann Verlag, Heidelberg, Seiten 169–178.
- REIKE, J. (2004): *Untersuchung der Landbedeckungsveränderungen um Natura 2000-Gebiete mittels pixel- und segmentorientierter Methoden der Bildverarbeitung*. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 145 Seiten.
- RIITERS, K., O'NEILL, R., HUNSAKER, C., WICKHAM, J., YANKEE, D., TIMMINS, S., JONES, K. und JACKSON, B. (1995): A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* **10**: 23–39.
- RIITERS, K., O'NEILL, R., WICKHAM, J. und JONES, K. (1996): A note on contagion indices for landscape analysis. *Landscape Ecology* **11**(4): 197–202.
- RUTLEDGE, D. (2003): Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? *Technischer Bericht DOC Science Internal Series 98*, New Zealand Department of Conservation, Wellington, 27 Seiten.
- SACHS, L. (1999): *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 9 Auflage, 884 Seiten.
- SCHNEIDER, L. und PONTIUS JR., R. G. (2001): Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **85**: 83–94.
- SCHÖNFELDER, G., GRÄNITZ, F. und PORADA, H. T. (2004): *Bitterfeld und das untere Muldetal. Eine landeskundliche Bestandesaufnahme im Raum Bitterfeld, Wolfen, Jeßnitz (Anhalt), Raguhn, Gräfenhainichen und Brehna, Landschaften in Deutschland. Werte der deutschen Heimat*, Band 66. Böhlau Verlag GmbH & Cie, Köln, 367 Seiten.
- SCHWARTZ, E. (2005): Über Waldflächenveränderungen im 19. Jahrhundert am Beispiel des Landes Thüringen. *Forst und Holz* **60**(1): 20–23.
- SERNEELS, S. und LAMBIN, E. F. (2001): Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **85**: 65–81.
- SMITH, G. M. (2004): A report on the characterisation of the selected 30 km windows and Pan-European stratification. *Technischer Bericht BIOPRESS-D6-D7-2.2*, CEH Monkswood, 31 Seiten.
- SMITH, J. H., WICKHAM, J., STEHMAN, S. V. und YANG, L. (2002): Impacts of patch size and land-cover heterogeneity on the thematic image classification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **68**(1): 65–70.
- SSYMANK, A. (2005): Fakten und Thesen zu Natura 2000 im Wald. *Forst und Holz* **60**(1): 9–11.

- STEHMAN, S. V. (1996): Use of auxiliary data to improve the precision of estimators of thematic map accuracy. *Remote Sens. Environ.* **58**: 169–176.
- STEHMAN, S. V. (1997): Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sens. Environ.* **62**: 77–89.
- STEHMAN, S. V. (1999): Basic probability sampling designs for thematic map accuracy assessment. *Int. J. Remote Sensing* **20**(12): 2423–2441.
- STEHMAN, S. V. und CZAPLEWSKI, R. L. (1998): Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sens. Environ.* **64**: 331–344.
- STEINHARDT, U., HERZOG, F., LAUSCH, A., MÜLLER, E. und LEHMANN, S. (1999): Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. In PYKH, Y. A., HYATT, D. E. und LENZ, R. J. (Herausgeber), *Environmental Indices - System Analysis Approach*, EOLSS Publ., Oxford, Seiten 237–254.
- STRAHLER, A., BOSCHETTI, L., FOODY, G. M., FRIEDL, M. A., HANSEN, M. C., HEROLD, M., MAYAUX, P., MORISETTE, J. T., STEHMAN, S. V. und WOODCOCK, C. E. (2006): Global Land Cover validation: Recommendations for evaluation and accuracy assessment of Global Land Cover maps. *Technischer Bericht*, Committee of Earth Observation Satellites (CEOS) - Working group on calibration and validation (WGCV), 52 Seiten.
- SUKOPP, H. (1972): Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluss des Menschen. *Berichte über Landwirtschaft* **50**: 112–139.
- THINH, N. X. (2003): Contemporary spatial analysis and simulation of the settlement development of the Dresden city region. In GNAUCK, A. und HEINRICH, R. (Herausgeber), *The Information Society and Enlargement of the European Union - 17th International Conference Informatics for Environmental Protection*, Cottbus, Band Part 1: Concepts and Methods, Seiten 253–261.
- TISCHENDORF, L. (2001): Can landscape indices predict ecological processes consistently? *Landscape Ecology* **16**: 235–254.
- TURNER, M. G. (1989): Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **20**: 171–197.
- TURNER, M. G. (2005): Landscape ecology: What is the state of the science? *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **36**: 319–344.
- TURNER, M. G., PEARSON, S. M., BOLSTAD, P. und WEAR, D. N. (2003): Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA). *Landscape Ecology* **18**: 449–464.
- URBAN, D. L., O'NEILL, R. und SHUGART, J. H. H. (1987): Landscape ecology: A hierarchical perspective can help scientist understand spatial patterns. *Bioscience* **37**: 119–127.
- VELDKAMP, A. und LAMBIN, E. F. (2001): Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **85**: 1–6.

- VELDKAMP, A. und VERBURG, P. H. (2004): Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management* **72**: 1–3.
- VERBURG, P. H. und VELDKAMP, A. (2005): Introduction to the special issue on spatial modelling to explore land use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science* **19**(2): 99–102.
- WALZ, U. (2004): Landschaftsstrukturmaße - Indizes, Begriffe und Methoden. In WALZ, U., LUTZE, G., SCHULTZ, A. und SYRBE, R.-U. (Herausgeber), *Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen*, Dresden, *IÖR-Schriften*, Band 43, Seiten 15–27.
- WALZ, U. und BERGER, A. (2004): Landschaftsmaße für eine Langzeituntersuchung von Flächennutzungsänderungen in Ostsachsen. In WALZ, U., LUTZE, G., SCHULTZ, A. und SYRBE, R.-U. (Herausgeber), *Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen*, IÖR-Schriften, Dresden, Band 43, Seiten 255–272.
- WEAR, D. N. und BOLSTAD, P. (1998): Land-use changes in Southern Appalachian landscapes: spatial analysis and forecast evaluation. *Ecosystems* **1**: 575–594.
- WEISS, C. (1999): *Basiswissen medizinische Statistik*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- WICKHAM, J. D. und NORTON, D. J. (1994): Mapping and analyzing landscape patterns. *Landscape Ecology* **9**(1): 7–23.
- WIKIPEDIA (2007): Der elektromagnetische Wellenbereich. http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Elektro-magnetisches_Spektrum.JPG.
- WINKLER, M. und MEINEL, G. (2003): GIS-basierte Flächenentwicklungsanalyse von fünf europäischen Großstädten (Bilbao, Bratislava, Dresden, Lyon, Palermo) auf der Basis digitaler Datenbestände. In *Geoinformation - Theorie, Anwendungen und Problemlösungen, 7. Sommerschule 2002*, Institut für Kartographie, TU Dresden, Seiten 28–35.
- WULF, M. und GROSS, J. (2004): Die Schmettau-Schulenburgsche Karte - eine Legende für das Land Brandenburg (Ostdeutschland) mit kritischen Anmerkungen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **175**(10/11): 189–198.
- YEN, P., ZIEGLER, S., HUETTMANN, F. und ONYEAHALAM, A. I. (2005): Change detection of forest and habitat resources from 1973 to 2001 in Bach Ma National Park, Vietnam, using remote sensing imagery. *International Forestry Review* **7**(1): 1–8.
- YUE, T. X., LIU, J. Y., JORGENSEN, S. E. und YE, Q. H. (2003): Landscape change detection of the newly created wetland in Yellow River Delta. *Ecological Modelling* **164**: 21–31.
- ZENG, Y. N., WU, G. P., ZHAN, F. B. und ZHANG, H. H. (2008): Modeling spatial land use pattern using autologistic regression. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **XXXVII**(B2): 115–118.

- ZIMMERMANN, N. E., WASHINGTON-ALLAN, R. A., RAMSEY, R. D., SCHAEPMAN, M. E., MATHYS, L., KÖTZ, B., KNEUBÜHLER, M. und EDWARDS, T. C. (2007): Modern remote sensing for environmental monitoring of landscape states and trajectories. In KIENAST, F., WILDI, O. und GHOSH, S. (Herausgeber), *A Changing World. Challenges for Landscape Research*, Springer, Dordrecht, *Landscape Series*, Band 8, Seiten 65–91.
- ZURLINI, G., RIITERS, K., ZACCARELLI, N., PETROSILLO, I., JONES, K. und ROSSI, L. (2006): Disturbance patterns in a socio-ecological system at multiple scales. *Ecological Complexity* **3**(2): 119–128.

Anhang A

Legende für CORINE Land Cover Level 3	
	Durchgängig städtische Prägung
	Nicht durchgängig städtische Prägung
	Industrie- und Gewerbeflächen
	Straßen-, Eisenbahnnetze und zugeordnete Flächen
	Hafengebiete
	Flughäfen
	Abbauflächen
	Deponien und Abraumhalden
	Baustellen
	Städtische Grünflächen
	Sport- und Freizeitanlagen
	Nicht bewässertes Ackerland
	Regelmäßig bewässertes Ackerland
	Reisfelder
	Weinbauflächen
	Obst- und Beerenobstbestände
	Olivenbestände
	Wiesen und Weiden
	Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen
	Komplexe Parzellenstrukturen
	Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung
	Land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen
	Laubwälder
	Nadelwälder
	Mischwälder
	Natürliches Grasland
	Heiden und Moorheiden
	Hartlaubbewuchs
	Strauch-Wald-Übergangsstadien
	Strände, Dünen und Sandflächen
	Felsflächen ohne Vegetation
	Flächen mit spärlicher Vegetation
	Brandflächen
	Gletscher und Dauerschneegebiete
	Sümpfe
	Torfmoore
	Salzwiesen
	Salinen
	Flächen in der Gezeitenzone
	Wasserläufe (im Inland)
	Wasserflächen (im Inland)
	Lagunen
	Mündungsgebiete
	Meere und Ozeane

Abbildung A.1: Offizielle Farblegende der CLC-Nomenklatur (Level 3)

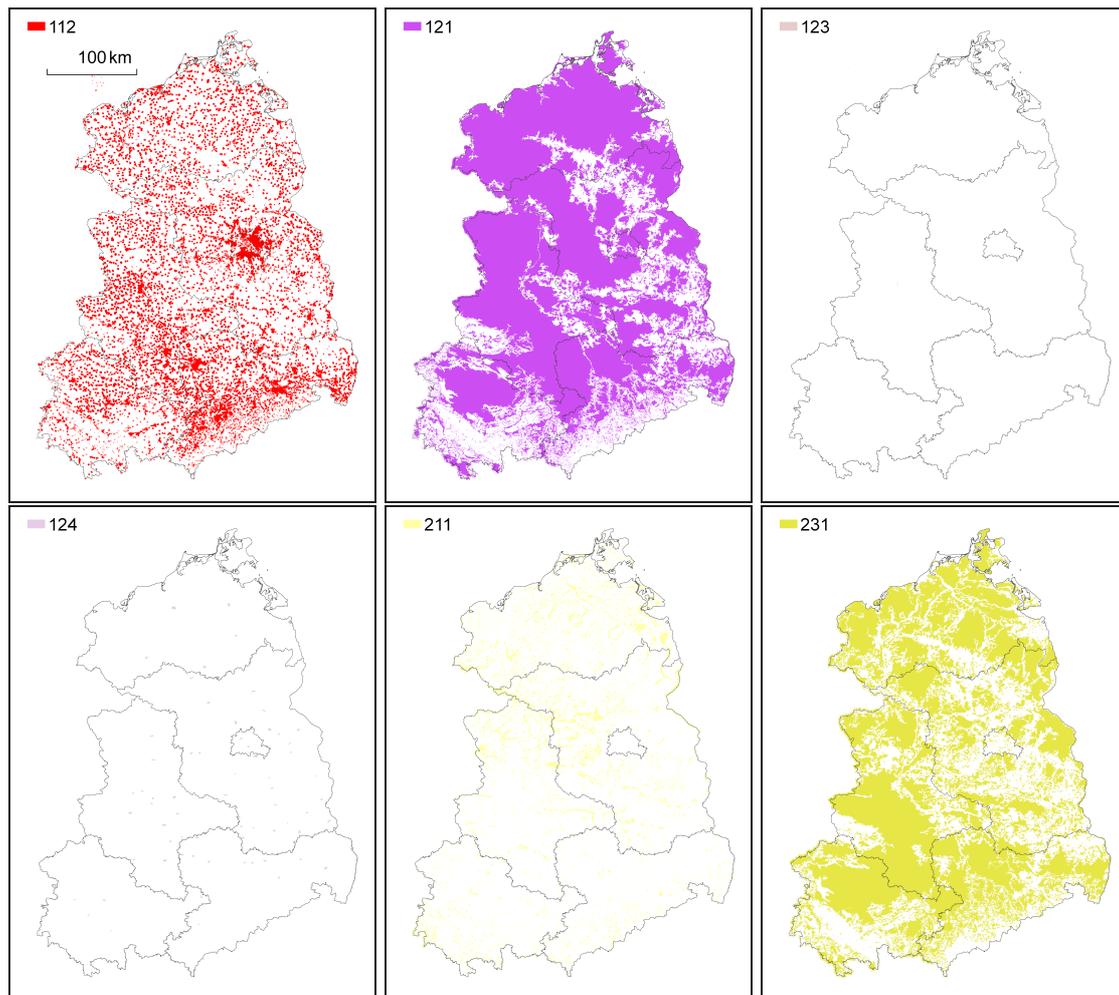


Abbildung A.2: Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–2000 (Teil 1). Folgende LC-Klassen sind dargestellt: 112 — Siedlungsflächen mit *nicht durchgängig städtischer Prägung*; 121 — *Industrie- und Gewerbeflächen*; 123 — *Hafengebiete*; 124 — *Flughäfen*; 211 — *nicht bewässertes Ackerland*; 231 — *Weideland*.

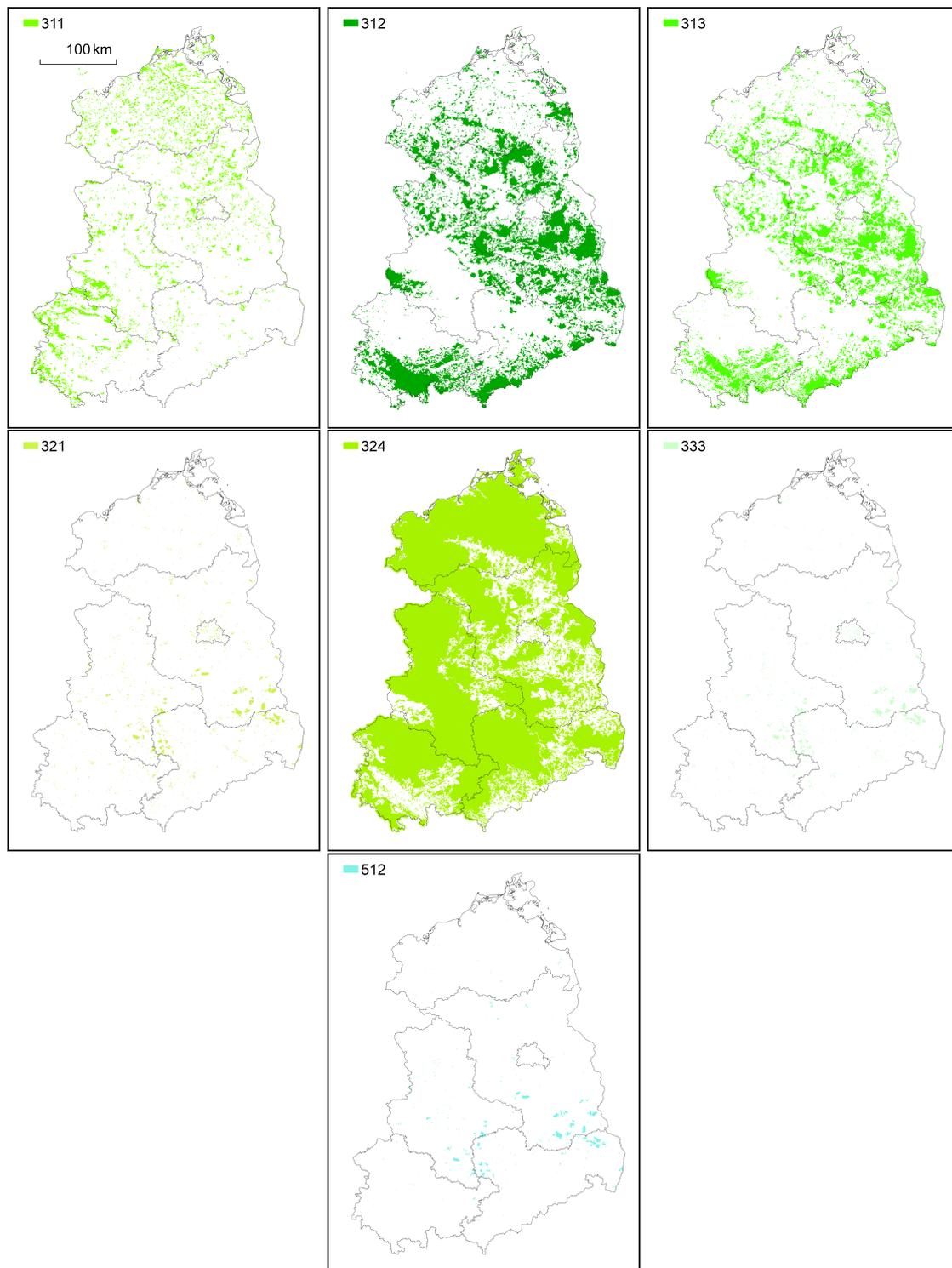


Abbildung A.3: Eignungskarten für die Extrapolationsperiode 1990–2000 (Teil 2). Folgende LC-Klassen sind dargestellt: 311 — *Laubwald*; 312 — *Nadelwald*; 313 — *Mischwald*; 321 — *natürliches Grünland*; 324 — *Strauch-Wald-Übergangsstadien*; 333 — *Flächen mit spärlicher Vegetation*; 512 — *Wasserflächen*.

Tabelle A.1: Hierarchischer Aufbau der CLC-Nomenklatur

Level 1		Level 2		Level 3	
1	bebaute Flächen	11	städtisch geprägte Flächen	111	durchgängig städtische Prägung
				112	nicht durchgängig städtische Prägung
		12	Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	121	Industrie- und Gewerbeflächen
				122	Straßen-, Eisenbahnetze und zugeordnete Flächen
123	Hafengebiete				
13	Abbauflächen, Deponien und Baustellen	124	Flughäfen		
		131	Abbauflächen		
14	künstl., nicht landwirts. genutzte Grünflächen	132	Deponien und Abraumhalden		
		133	Baustellen		
2	landwirtschaftliche Flächen	21	Ackerflächen	141	städtische Grünflächen
				142	Sport- und Freizeitanlagen
				211	nicht bewässertes Ackerland
		22	Dauerkulturen	212	regelmäßig bewässertes Ackerland
				213	Reisfelder
				221	Weinbauflächen
		23	Grünland	222	Obst- und Beerenobstbestände
				223	Olivenhaine
				231	Wiesen und Weiden
		24	landwirtschaftliche Flächen heterogener Struktur	241	einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen
242	komplexe Parzellenstrukturen				
243	landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung				
244	land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen				
3	Wälder und naturnahe Flächen	31	Wälder	311	Laubwälder
				312	Nadelwälder
				313	Mischwälder
		32	Strauch- und Krautvegetation	321	natürliches Grünland
				322	Heiden und Moorheiden
				323	Hartlaubbewuchs
				324	Strauch-Wald-Übergangsstadien
		33	offene Flächen ohne/mit geringer Vegetation	331	Strände, Dünen und Sandflächen
				332	Felsflächen ohne Vegetation
				333	Flächen mit spärlicher Vegetation
4	Feuchtflächen	41	Feuchtflächen im Landesinnern	334	Brandflächen
				335	Gletscher und Dauerschneegebiete
		42	Feuchtflächen an der Küste	411	Sümpfe
				412	Torfmoore
5	Wasserflächen	51	Wasserflächen im Landesinnern	421	Salzwiesen
				422	Salinen
				423	Flächen in der Gezeitenzone
		52	Meeresgewässer	511	Wasserläufe
				512	Wasserflächen
				521	Lagunen
53	Meeresgewässer	522	Mündungsgebiete		
		523	Meere und Ozeane		

Quelle: verändert nach PERDIGAO und ANNONI (1997)

Tabelle A.2: Zuweisung der Hemerobiestufen zu einer CLC-Klasse (Level 3). Die Spalten h_{min} und h_{max} beschreiben die minimale bzw. maximale Hemerobiestufe, die der CLC-Klasse zugewiesen werden kann. Die Spalte h_{use} enthält die Hemerobiestufen, die für die Berechnung des Indexes M genutzt wurden.

LC	h_{min}	h_{max}	h_{use}
111	6	6	6
112	5	5	5
121	6	6	6
122	6	6	6
123	6	6	6
124	6	6	6
131	5	5	5
132	5	5	5
133	6	6	6
141	3	4	3
142	3	4	4
211	4	4	4
212	4	4	4
213	4	4	4
221	3	3	3
222	3	3	3
223	3	3	3
231	3	3	3
241	4	4	4
242	3	4	4
243	3	3	3
244	3	3	3
311	1	2	2
312	1	2	2
313	1	2	1
321	1	2	2
322	1	1	1
323	1	2	1
324	2	3	2
331	2	3	2
332	1	1	1
333	2	2	2
334	2	3	2
335	1	1	1
411	1	1	1
412	1	1	1
421	1	1	1
422	5	5	5
423	2	2	2
511	3	3	3
512	3	3	3
521	2	3	2
522	2	2	2
523	2	2	2

Tabelle A.3: Formeln für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße auf Vektorbasis: Landschaftsebene

Landschaftsstrukturmaß	Formel auf Vektorbasis	Ergebnisraum
Gesamtfläche	$TA = A$	$TA > 0$
Anzahl der Patches	$NP = N$	$NP \geq 1$
Anzahl der Klassen	$PR = m$	$1 \leq PR \leq 44$
relative Klassenhäufigkeit	$RPR = \frac{m}{m_{max}}$	$0 < RPR \leq 1$
Dichte der Klassen	$PRD = \frac{m}{A}$	$PRD > 0$
Dichte der Patches	$PD = \frac{N}{A}$	$PD > 0$
durchschnittliche Patchgröße	$MPS = \frac{A}{N}$	$MPS > 0$
Flächenanteil des größten Patches	$LPI = \frac{max(a_{ij})}{A}$	$0 < LPI < 1$
Gesamtlänge der Grenzlinien bei $i \neq k$ (ohne Landschaftsgrenze)	$TE = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m e_{ik}$	$TE \geq 0$
Kantendichte bei $i \neq k$ (ohne Landschaftsgrenze)	$ED = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m e_{ik}}{A}$	$ED \geq 0$
durchschnittlicher Umfang-Flächen-Quotient	$MPAR = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{p_{ij}}{a_{ij}}}{N}$	$MPAR > 0$
flächengewichteter durchschnittlicher Umfang-Flächen-Quotient	$AWMPAR = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{a_{ij}} \times \frac{a_{ij}}{A} \right)$	$AWMPAR > 0$
Dominanzindex	$DI = \ln m + \sum_i (P_i \times \ln P_i)$	$DI \geq 0$
Landschaftsformindex bei $i \neq k$ (Form relativ zur Kreisfläche)	$LSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m e_{ik}}{2\sqrt{\pi \times A}}$	$LSI \geq 1$
durchschnittlicher Formindex	$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \times a_{ij}}}}{N}$	$MSI \geq 1$
flächengewichteter durchschnittlicher Formindex	$AWMSI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \times a_{ij}}} \times \frac{a_{ij}}{A} \right)$	$AWMSI \geq 1$
Diversitätsindex nach Shannon	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$	$SHDI \geq 0$
Diversitätsindex nach Simpson	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$	$0 \leq SIDI < 1$
Gleichmäßigkeitsindex nach Shannon	$SHEI = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)}{\ln m}$	$0 \leq SHEI < 1$
Gleichmäßigkeitsindex nach Simpson	$SIEI = \frac{1 - \sum_{i=1}^m P_i^2}{1 - \frac{1}{m}}$	$0 \leq SIEI < 1$
Interspersion- und Juxtapositionsindex	$IJI = \frac{- \sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left(\frac{e_{ik}}{TE} \times \ln \frac{e_{ik}}{TE} \right)}{\ln \frac{1}{2m(m-1)}}$	$0 < IJI \leq 1$

Quellen: O'NEILL ET AL. (1988); MCGARIGAL und MARKS (1995)

A	Gesamtfläche
a_{ij}	Fläche des Patches j der Klasse i
e_{ik}	Gesamtlänge der Grenzen zwischen der Klasse i und k
m	Anzahl der Klassen
m_{max}	theoretische maximale Anzahl der Klassen (z. B. 44 Klassen bei CLC-Level 3)
N	Anzahl aller Patches in der Landschafts
$n_i \hat{=} n$	Anzahl der Patches der Klasse i
P_i	summierter Flächenanteil der Klasse i bezogen auf die Landschaftsfläche (Testgebietsfläche)
p_{ij}	Umfang des Patches j der Klasse i

Anhang A

Tabelle A.4: Formeln für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße auf Vektorbasis: Klassenebene

Landschaftsstrukturmaß	Formel auf Vektorbasis	Ergebnisraum
Gesamtfläche	$TAC = \sum_{j=1}^n a_{ij}$	$TAC > 0$
Anzahl der Patches	$NP = n_i$	$NP \geq 1$
Dichte der Patches	$PD = \frac{n_i}{A}$	$PD > 0$
durchschnittliche Patchgröße	$MPS = \frac{TAC}{n_i}$	$MPS > 0$
Flächenanteil des größten Patches	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A}$	$0 < LPI < 1$
Gesamtlänge der Grenzlinien bei $i \neq k$ (ohne Landschaftsgrenze)	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	$TE \geq 0$
Kantendichte bei $i \neq k$ (ohne Landschaftsgrenze)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A}$	$ED \geq 0$
durchschnittlicher Umfang-Flächen-Quotient	$MPAR = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{n_i}$	$MPAR > 0$
flächengewichteter durchschnittlicher Umfang-Flächen-Quotient	$AWMPAR = \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{a_{ij}} \times \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right)$	$AWMPAR > 0$
Landschaftsformindex (Form relativ zur Kreisfläche)	$LSI = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{2\sqrt{\pi \times \sum_{j=1}^n a_{ij}}}$	$LSI \geq 1$
durchschnittlicher Formindex	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \times a_{ij}}} \right)}{n_i}$	$MSI \geq 1$
flächengewichteter durchschnittlicher Formindex	$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \times a_{ij}}} \times \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right)$	$AWMSI \geq 1$
Interspersion- und Juxtapositionsindex	$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \times \ln \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right)}{\ln(m-1)}$	$0 < IJI \leq 1$

Quellen: O'NEILL ET AL. (1988); MCGARIGAL und MARKS (1995)

A	Gesamtfläche
a_{ij}	Fläche des Patches j der Klasse i
e_{ik}	Gesamtlänge der Grenzen zwischen der Klasse i und k
m	Anzahl der Klassen
m_{max}	theoretische maximale Anzahl der Klassen (z. B. 44 Klassen bei CLC-Level 3)
N	Anzahl aller Patches in der Landschafts
$n_i \hat{=} n$	Anzahl der Patches der Klasse i
P_i	summierter Flächenanteil der Klasse i bezogen auf die Landschaftsfläche (Testgebietsfläche)
p_{ij}	Umfang des Patches j der Klasse i

Tabelle A.5: Formeln für die Berechnung der Landschaftsstrukturmaße für den statistischen Vergleich der Standortstypen

Landschaftsstrukturmaß	Formel auf Vektorbasis	Ergebnisraum
Umfang-Flächen-Quotient	$PAR = \frac{p_{ij}}{a_{ij}}$	$PAR > 0$
Formindex (Form relativ zur Kreisfläche)	$SI = \frac{p_{ij}}{2 \times \sqrt{\pi \times a_{ij}}}$	$SI \geq 1$
fraktale Dimension	$FD = 2 \times \frac{\ln p_{ij}}{\ln a_{ij}}$	$1 \leq FD \leq 2$

Quellen: MCGARIGAL und MARKS (1995); FUCHS (2002)

a_{ij} Fläche des Patches j der Klasse i
 p_{ij} Umfang des Patches j der Klasse i

Anhang A

Tabelle A.6: Formeln für die Bewertung der Übereinstimmung der Flächenanteile und ausgewählter Landschaftsstrukturmaße von moving window und Testgebiet

Kriterium	Formel
Flächenanteil (A)	$\sum_{i=1}^m \min(A_{TG}, A_{MW})$
Anzahl der Patches (NP)	$1 - \frac{|(NP_{TG} - NP_{MW})|}{\max(NP_{MW}) - 1}$
Anzahl der Klasse (PR)	$1 - \frac{|(PR_{TG} - PR_{MW})|}{\max(PR_{MW}) - 1}$
Flächenanteil des größten Patches (LPI)	$1 - |(LPI_{TG} - LPI_{MW})|$
flächengewichteter mittlerer Formindex (AWMSI)	$1 - \frac{|(AWMSI_{TG} - AWMSI_{MW})|}{\max(AWMSI_{MW}) - 1}$
Hemerobie-Index (M)	$1 - \frac{|(M_{TG} - M_{MW})|}{100}$

i	LC-Klasse i
m	maximale LC-Klasse
MW	moving window
TG	Testgebiet

Tabelle A.7: Tabellenverzeichnis des Anhangs D

Tabelle D 1	Quellennachweis für Luftbilder und Orthophotos (Teil 1: Bezugsquelle)	1
Tabelle D 2	Quellennachweis der Luftbilder und Orthophotos (Teil 2: Nutzungsgenehmigung und Bildnummern)	2
Tabelle D 3	Korrelationskoeffizienten (Spearman's rho) und Signifikanzwerte der Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 2000 (Landschaftsebene)	3
Tabelle D 4	Korrelationskoeffizienten (Spearman's rho) und Signifikanzwerte der Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 1990 (Landschaftsebene)	4
Tabelle D 5	Korrelationskoeffizienten (Spearman's rho) und Signifikanzwerte der Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 1950 (Landschaftsebene)	5
Tabelle D 6	Korrelationskoeffizienten (Spearman's rho) und Signifikanzwerte der Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 2000 (LC-Klassenebene)	6
Tabelle D 7	Korrelationskoeffizienten (Spearman's rho) und Signifikanzwerte der Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 1990 (LC-Klassenebene)	7
Tabelle D 8	Korrelationskoeffizienten (Spearman's rho) und Signifikanzwerte der Landschaftsstrukturmaße für das Jahr 1950 (LC-Klassenebene)	8
Tabelle D 9	Inputvariablen für die Modellierung der Eignungskarten	9
Tabelle D 10	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 1 für das Jahr 2000	10
Tabelle D 11	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 1 für das Jahr 1990	11
Tabelle D 12	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 1 für das Jahr 1950	12
Tabelle D 13	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 2 für das Jahr 2000	13
Tabelle D 14	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 2 für das Jahr 1990	14
Tabelle D 15	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 2 für das Jahr 1950	15
Tabelle D 16	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 3 für das Jahr 2000	16
Tabelle D 17	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 3 für das Jahr 1990	17
Tabelle D 18	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 3 für das Jahr 1950	18
Tabelle D 19	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 4 für das Jahr 2000	19
Tabelle D 20	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 4 für das Jahr 1990	20
Tabelle D 21	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 4 für das Jahr 1950	21
Tabelle D 22	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 5 für das Jahr 2000	22
Tabelle D 23	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 5 für das Jahr 1990	23
Tabelle D 24	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 5 für das Jahr 1950	24
Tabelle D 25	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 6 für das Jahr 2000	25
Tabelle D 26	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 6 für das Jahr 1990	26
Tabelle D 27	Fehlermatrix der Landbedeckung in den Transekten DE01, DE02 und DE03 zwischen Klassifikation und Referenz 6 für das Jahr 1950	27
Tabelle D 28	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 3) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 2000	28
Tabelle D 29	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 3) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1990	28

Tabelle A.7: Tabellenverzeichnis des Anhangs D (*weiterführend*)

Tabelle D 30	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 3) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1950	28
Tabelle D 31	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 2) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 2000	29
Tabelle D 32	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 2) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1990	29
Tabelle D 33	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 2) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1950	29
Tabelle D 34	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 1) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 2000	30
Tabelle D 35	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 1) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1990	30
Tabelle D 36	Nutzergenauigkeiten der LC-Klassen (Level 1) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1950	30
Tabelle D 37	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 3) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 2000	31
Tabelle D 38	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 3) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1990	32
Tabelle D 39	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 3) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1950	33
Tabelle D 40	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 2) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 2000	34
Tabelle D 41	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 2) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1990	34
Tabelle D 42	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 2) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1950	34
Tabelle D 43	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 1) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 2000	35
Tabelle D 44	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 1) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1990	35
Tabelle D 45	Herstellergenauigkeit der LC-Klassen (Level 1) des kombinierten Testgebiets für das Jahr 1950	35
Tabelle D 46	Gesamtgenauigkeiten der Interpretationen (Level 3)	36
Tabelle D 47	Gesamtgenauigkeiten der Interpretationen (Level 2)	37
Tabelle D 48	Gesamtgenauigkeiten der Interpretationen (Level 1)	38
Tabelle D 49	Khat als Schätzer für Kappa (Level 3)	39
Tabelle D 50	Khat als Schätzer für Kappa (Level 2)	39
Tabelle D 51	Khat als Schätzer für Kappa (Level 1)	39
Tabelle D 52	Genauigkeit der Veränderung der Landbedeckung (Level 3)	40
Tabelle D 53	Genauigkeit der Veränderung der Landbedeckung (Level 2)	41
Tabelle D 54	Genauigkeit der Veränderung der Landbedeckung (Level 1)	42
Tabelle D 55	Statustabelle der Landbedeckung (Level 3) für das Jahr 2000	43
Tabelle D 56	Statustabelle der Landbedeckung (Level 3) für das Jahr 1990	44
Tabelle D 57	Statustabelle der Landbedeckung (Level 3) für das Jahr 1950	45
Tabelle D 58	Statustabelle der Landbedeckung (Level 2) für das Jahr 2000	46
Tabelle D 59	Statustabelle der Landbedeckung (Level 2) für das Jahr 1990	46
Tabelle D 60	Statustabelle der Landbedeckung (Level 2) für das Jahr 1950	46
Tabelle D 61	Statustabelle der Landbedeckung (Level 1) für das Jahr 2000	47
Tabelle D 62	Statustabelle der Landbedeckung (Level 1) für das Jahr 1990	47
Tabelle D 63	Statustabelle der Landbedeckung (Level 1) für das Jahr 1950	47
Tabelle D 64	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE01 für 1950 – 1990 (Level 3)	48
Tabelle D 65	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE01 für 1990 – 2000 (Level 3)	49
Tabelle D 66	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE02 für 1950 – 1990 (Level 3)	50
Tabelle D 67	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE02 für 1990 – 2000 (Level 3)	51

Tabelle A.7: Tabellenverzeichnis des Anhangs D (*weiterführend*)

Tabelle D 68	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE03 für 1950–1990 (Level 3)	52
Tabelle D 69	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE03 für 1990–2000 (Level 3)	53
Tabelle D 70	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE04 für 1950–1990 (Level 3)	54
Tabelle D 71	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE04 für 1990–2000 (Level 3)	55
Tabelle D 72	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE05 für 1950–1990 (Level 3)	56
Tabelle D 73	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE05 für 1990–2000 (Level 3)	57
Tabelle D 74	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE06 für 1950–1990 (Level 3)	58
Tabelle D 75	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE06 für 1990–2000 (Level 3)	59
Tabelle D 76	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE07 für 1950–1990 (Level 3)	60
Tabelle D 77	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE07 für 1990–2000 (Level 3)	61
Tabelle D 78	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE08 für 1950–1990 (Level 3)	62
Tabelle D 79	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE08 für 1990–2000 (Level 3)	63
Tabelle D 80	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE09 für 1950–1990 (Level 3)	64
Tabelle D 81	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE09 für 1990–2000 (Level 3)	65
Tabelle D 82	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE01 bis DE09 für 1950–1990 (Level 2)	66
Tabelle D 83	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE01 bis DE09 für 1990–2000 (Level 2)	67
Tabelle D 84	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE01 bis DE09 für 1950–1990 (Level 1)	68
Tabelle D 85	Kreuztabelle der Veränderungsflächen (in m ²) im Transekt DE01 bis DE09 für 1990–2000 (Level 1)	69
Tabelle D 86	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE01 für 1950 bis 1990 (Level 3)	70
Tabelle D 87	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE01 für 1990 bis 2000 (Level 3)	71
Tabelle D 88	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE02 für 1950 bis 1990 (Level 3)	72
Tabelle D 89	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE02 für 1990 bis 2000 (Level 3)	73
Tabelle D 90	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1950 bis 1990 (Level 3)	74
Tabelle D 91	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1990 bis 2000 (Level 3)	75
Tabelle D 92	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE04 für 1950 bis 1990 (Level 3)	76
Tabelle D 93	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE04 für 1990 bis 2000 (Level 3)	77
Tabelle D 94	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE05 für 1950 bis 1990 (Level 3)	78
Tabelle D 95	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE05 für 1990 bis 2000 (Level 3)	79
Tabelle D 96	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE06 für 1950 bis 1990 (Level 3)	80
Tabelle D 97	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE06 für 1990 bis 2000 (Level 3)	81
Tabelle D 98	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE07 für 1950 bis 1990 (Level 3)	82
Tabelle D 99	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE07 für 1990 bis 2000 (Level 3)	83
Tabelle D 100	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE08 für 1950 bis 1990 (Level 3)	84
Tabelle D 101	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE08 für 1990 bis 2000 (Level 3)	85
Tabelle D 102	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE09 für 1950 bis 1990 (Level 3)	86
Tabelle D 103	Budgettabelle (in m ²) für das Testgebiet DE09 für 1990 bis 2000 (Level 3)	87
Tabelle D 104	Budgettabelle (in m ²) für die Testgebiete DE01 bis DE09 für 1950 bis 1990 (Level 2)	88
Tabelle D 105	Budgettabelle (in m ²) für die Testgebiete DE01 bis DE09 für 1990 bis 2000 (Level 2)	89
Tabelle D 106	Budgettabelle (in m ²) für die Testgebiete DE01 bis DE09 für 1950 bis 1990 (Level 1)	90
Tabelle D 107	Budgettabelle (in m ²) für die Testgebiete DE01 bis DE09 für 1990 bis 2000 (Level 1)	91
Tabelle D 108	Budgettabelle (3D-Flächen in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1950 bis 1990 (Level 3)	92
Tabelle D 109	Budgettabelle (3D-Flächen in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1990 bis 2000 (Level 3)	93
Tabelle D 110	Budgettabelle (3D-Flächen in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1950 bis 1990 (Level 2)	94
Tabelle D 111	Budgettabelle (3D-Flächen in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1990 bis 2000 (Level 2)	94
Tabelle D 112	Budgettabelle (3D-Flächen in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1950 bis 1990 (Level 1)	95
Tabelle D 113	Budgettabelle (3D-Flächen in m ²) für das Testgebiet DE03 für 1990 bis 2000 (Level 1)	95
Tabelle D 114	Landschaftsstrukturmaße auf Landschaftsebene für die Testgebiete DE01 bis DE09 (1950, 1990, 2000)	96

Tabelle A.7: Tabellenverzeichnis des Anhangs D (*weiterführend*)

Tabelle D 115	Landschaftsstrukturmaße auf Klassenebene (Level 3) für die Testgebiete DE01 bis DE05 (Jahr 2000)	97
Tabelle D 116	Landschaftsstrukturmaße auf Klassenebene (Level 3) für die Testgebiete DE06 bis DE09 (Jahr 2000)	98
Tabelle D 117	Landschaftsstrukturmaße auf Klassenebene (Level 3) für die Testgebiete DE01 bis DE05 (Jahr 1990)	99
Tabelle D 118	Landschaftsstrukturmaße auf Klassenebene (Level 3) für die Testgebiete DE06 bis DE09 (Jahr 1990)	100
Tabelle D 119	Landschaftsstrukturmaße auf Klassenebene (Level 3) für die Testgebiete DE01 bis DE05 (Jahr 1950)	101
Tabelle D 120	Landschaftsstrukturmaße auf Klassenebene (Level 3) für die Testgebiete DE06 bis DE09 (Jahr 1950)	102