



IÖR-pdf-Datei*

Landschaftsmaße für eine Langzeituntersuchung von Flächennutzungsänderungen in Ostsachsen

Ulrich Walz und Alexander Berger

Veröffentlicht in:

Walz, U.; Lutze, G.; Schultz, A.; Syrbe, R.-U. [Hrsg.](2004): Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen. IÖR-Schriften 43: 333 S.; Dresden.

* kann vom veröffentlichten Original in Form und Inhalt geringfügig abweichen

Landschaftsmaße für eine Langzeituntersuchung von Flächennutzungsänderungen in Ostsachsen

Alexander Berger, Ulrich Walz

1 Einführung und Zielstellung

Im Rahmen des vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR), Dresden, initiierten Projektes „Langzeituntersuchungen von Flächennutzungsänderungen“ wurde als ein Teilprojekt der Landschaftswandel in einer stadtnahen, ländlichen Region über den Zeitraum von 220 Jahren untersucht. Die Schwerpunkte des Gesamtprojektes liegen in der Konzipierung und Durchführung einer langzeitorientierten Erhebung von Flächennutzungsdaten, der Analyse der Entwicklungsdynamik sowie der Bewertung der Flächennutzungsänderungen in Bezug auf die Auswirkungen auf ausgewählte Landschaftsfunktionen.

Die Beschreibung des Landschaftszustandes eines Gebietes zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfordert neben Flächenbilanzen zur Zusammensetzung der Landschaft auch eine Quantifizierung der räumlichen Konfiguration der Landschaftselemente. Damit ist das Verteilungsmuster (engl.: *landscape pattern*) von kleinsten, je nach Erfassungs- und Betrachtungsmaßstab als weitestgehend homogen anzusehenden Einzelementen (engl.: *patch*) gemeint (Turner und Gardner 1991). Der Ansatz der Landschaftsstrukturmaße (*landscape metrics*) bietet die Möglichkeit, solche räumlichen Untersuchungen durchzuführen und Landschaftsstrukturen zu quantifizieren (Blaschke 1999; Herzog et al. 1999).

2 Methodik der Analyse

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet, das im Landkreis Sächsische Schweiz östlich von Dresden liegt, deckt einen Teil der aus dem Landschaftsschutzgebiet und dem Nationalpark bestehenden Nationalparkregion Sächsische Schweiz ab und wurde aus Gründen der landschaftsökologischen Bewertung nach Mikrogeochoren naturräumlich abgegrenzt. Es besitzt eine Gesamtfläche von ca. 97,2 km² und setzt sich aus 12 Mikrogeochoren zusammen. Bei diesen handelt es sich zum einen um ackerbaulich geprägte Bereiche einschließende Mikrogeochoren, zum anderen um Wald- und Felsgebiete umfassende Mikrogeochoren.

Die landschaftliche Charakteristik der Sächsischen Schweiz liegt in den Felsformationen, die durch die Elbe und ihre Nebenflüsse aus den kreidezeitlichen Sandsteinablagerungen entstanden sind. In die Sandsteinplateaus mit ihren aufsitzenden markanten Tafelbergen hat sich die Elbe cañonartig eingeschnitten und ein dichtes Netz von schlucht- und klammartigen Eintiefungen geschaffen. Das Landschaftsbild wird durch die Tafelberge mit einer Höhenlage zwischen 350 und 560 Metern über dem Meeresspiegel und dazwischenliegenden Ebenheiten geprägt.

Aufgrund seiner Attraktivität wurde der Landschaftsraum frühzeitig zu einem beliebten Wander-, Kletter- und Erholungsgebiet. Bereits seit 200 Jahren wird die Sächsisch-Böhmische Schweiz touristisch und seit fast 130 Jahren bergsportlich genutzt. Gleichzeitig wurde der Sandstein in zahlreichen Steinbrüchen als Rohstoff für das Baugewerbe abgebaut. Der sensible Landschaftsraum ist und war daher vielfältigen Belastungen ausgesetzt. Besondere Nutzungskonflikte werden heute nicht nur durch Land- und Forstwirtschaft ausgelöst, sondern in großem Maße auch durch den Tourismus. Durch die Nähe des Verdichtungsraumes Dresden spielt auch der Tagestourismus eine große Rolle. Der vordere (westliche) Teil der Nationalparkregion, in dem das Untersuchungsgebiet liegt, weist darüber hinaus bereits lange bestehende Pendlerbeziehungen zu den Arbeitsstätten im Verdichtungsraum Dresden auf.

2.2 Kartengrundlagen

Topographische Karten und ihre Vorgänger der historischen Landesaufnahme seit dem 18. Jahrhundert stellen geeignete kartographische Grundlagen für historische Landschaftsanalysen dar. Sie besitzen für mittelmaßstäbige Untersuchungen eine genügende geometrische und inhaltliche Auflösung. Noch ältere Kartenwerke verfügen häufig über eine unzureichende Genauigkeit, sodass sie höchstens als Zusatzinformation gebraucht werden können.

In Sachsen wurden ab 1780 die so genannten *Sächsischen Meilenblätter* für das damalige Landesgebiet aufgenommen. Der vergleichsweise groß gewählte Aufnahmemastab 1 : 12 000 sollte die Karten auch für Straßen-, Wasser-, Bergbau sowie Verwaltung dienlich machen, entsprechend detailliert ist der Karteninhalt. Als wenig übersichtlich, da das Kartenbild dominierend, erwiesen sich die enthaltenen Bergschraffen. Mit den *Messtischblättern* ab 1900 bis hin zu den neueren *digitalen Daten* der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung sowie den aktuellen Daten des Amtlich-Topographisch-Kartographischen Informationssystemes (ATKIS) der Landesvermessungsverwaltung sind geeignete Informationen zur Landnutzung vorhanden. Auf Entwicklung und Inhalte historischer Karten in Sachsen geht Witschas (2002) näher ein.

Die zur Verfügung stehenden Kartenwerke (vgl. Tab. 1) unterscheiden sich entsprechend der jeweiligen zeitgenössischen technischen Möglichkeiten in Aufnahmever-

fahren, Genauigkeit und Herstellung. Zudem veränderten sich die Karteninhalte, wobei zu alten Kartenblättern häufig keine Legenden oder Zeichenvorschriften existieren. Mit der Einführung der preußischen Legende in der Neuaufnahme der Messtischblätter liegen erstmals nachvollziehbare Zeichenvorschriften vor, die in weiterentwickelter Form bis heute gelten. Eine Untersuchung der enthaltenen Flächeninformationen in aktuellen und historischen Karten auf Übereinstimmung bzw. Vergleichbarkeit ist daher Grundlage jeder historischen Landschaftsanalyse und mündet in die Erarbeitung einer einheitlichen Legende für die Auswertung (Neubert und Walz 2002).

Tab. 1: Landesweite Kartenwerke für eine historische Landschaftsanalyse in Sachsen

Karten- bzw. Datengrundlage	Maßstab	Zeitschnitt
Sächsisches Meilenblatt	1 : 12 000	1780 bis 1809
Messtischblatt	1 : 25 000	1900 bis 1940
Biotoptypen- und Landnutzungskartierung	1 : 10 000	1992/93
ATKIS	1 : 25 000	1993 (aktuell)

Auf der Grundlage dieser Kartenwerke erfolgte die digitale Aufbereitung und Analyse von Flächennutzungsdaten für vier verschiedene Zeitschnitte (1785, 1900, 1940, 1992). Dabei wurden Methoden entwickelt, die es erlauben, die für ein Langzeitmonitoring erforderlichen Daten für zeitlich unterschiedliche Landschaftszustände effektiv und mit größtmöglicher Genauigkeit zu gewinnen (Walz und Berger 2003).

2.3 Auswahl von Landschaftsmaßen

Eine Analyse ausschließlich über Flächenbilanzen und Längenanteile reicht nicht aus, um den Wandel der Landschaft quantitativ zu beschreiben. Mit Landschaftsstrukturmaßen dagegen können strukturelle Veränderungen der Landschaft quantifiziert werden, die zwar visuell erkennbar sind, sich aber in herkömmlichen Flächennutzungsstatistiken nicht oder ungenügend widerspiegeln. Zu diesem Zweck wurden aus der Fülle der existierenden Maßzahlen Landschaftsstrukturmaße ausgewählt, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Die erfolgte Selektion dieser Maße liegt zum einen darin begründet, dass sie die Quantifizierung von Teilaspekten der Landschaftsstruktur erlauben. So können mithilfe der Maßzahl *Mean Patch Size* Aussagen zur Flächengröße, mithilfe des *Mean Shape Index* Aussagen zur Kompaktheit der Flächen und über die Maße *Mean Nearest Neighbor Distance*, *Shannon Evenness* oder *Interspersion and Juxtaposition Index* Aussagen zur Verteilung der Flächen und deren Anordnung innerhalb eines Landschaftsausschnittes getroffen werden. Zum anderen handelt es sich bei den ausgewählten Landschaftsstrukturmaßen um wenig komplexe und damit einfach zu interpretierende Maße.

Mean Patch Size (MPS)

Das Landschaftsstrukturmaß *Mean Patch Size* erfasst die mittlere Flächengröße aller Flächen einer Klasse oder aller Flächen einer gesamten Landschaft. Dabei ist die Maßzahl abhängig von der Anzahl der Flächen und der Gesamtfläche des zu untersuchenden Landschaftsausschnittes.

$$\text{MPS} = \frac{A}{N} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

A = Flächeninhalt des Landschaftsausschnittes (m²)
 N = Flächenanzahl des Landschaftsausschnittes
 MPS = Mittlere Flächengröße in ha
 nach McGarigal und Marks (1994)

Neben der Auswertung der Entwicklung der Flächengröße kann diese Maßzahl auch genutzt werden, um eine Aussage zur Zergliederung der Landschaft zu erhalten. Eine geringere mittlere Flächengröße kann demnach für eine stärkere Fragmentierung der Landschaft sprechen.

Mean Shape Index (MSI)

Der *Mean Shape Index* gehört zu den Formmaßen und stellt das Mittel des eigentlichen *Shape Index* dar. Mit dieser Maßzahl können Aussagen zur Kompaktheit bzw. zur Formkomplexität einer Fläche getroffen werden. Dazu wird der Umfang der Fläche mit dem Umfang einer Standardform mit gleichem Flächeninhalt in Beziehung gesetzt, wobei im Fall von Vektordaten die Standardform durch einen Kreis dargestellt wird.

$$\text{MSI} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{a_{ij}}} \right)}{N}$$

m = Klassenanzahl des Landschaftsausschnittes
 n = Anzahl der Flächenelemente einer Klasse
 N = Gesamtzahl der Flächenelemente im Landschaftsausschnitt
 p_{ij} = Umfang der Fläche j der Klasse i (m)
 a_{ij} = Flächeninhalt der Fläche j der Klasse i (m²)
 MSI = Mean Shape Index (dimensionslos)
 nach McGarigal und Marks (1994)

Je unregelmäßiger die Form der Fläche ist, desto größer wird der *Shape Index*. Kleinere Werte der Maßzahl bedeuten dagegen eine höhere Ähnlichkeit zum Standardkreis und somit eine höhere Kompaktheit der Fläche. Der Grundgedanke aus landschaftsökologischer Sicht ist dabei, dass kompakte Flächen einen größeren „Kernraum“ aufweisen, wodurch dieser besser vor äußeren Einflüssen bewahrt ist. Von besonderem Interesse für die Analyse des Landschaftswandels ist allerdings, dass regelmäßige Flächenformen auf intensive anthropogene Nutzung, unregelmäßige komplexe Landschaftselemente dagegen auf naturnähere Flächen schließen lassen.

Mean Nearest Neighbor Distance (MNN)

Das Nachbarschaftsmaß *Mean Nearest Neighbor Distance* berechnet das Mittel der geringsten Entfernungen zwischen den Flächen innerhalb einer Nutzungsklasse.

$$MNN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N}$$

h_{ij} = kürzeste Entfernung einer Fläche (Kante zu Kante) zu einer Fläche gleicher Klasse
 N = Gesamtzahl der Flächenelemente
 nach McGarigal und Marks (1994)

Bei der Analyse des Landschaftswandels wird diese Maßzahl genutzt, um quantitative Aussagen zur Verdichtung innerhalb einer Nutzungsklasse zu treffen. Dabei wird sich die Eigenart dieses Maßes zunutze gemacht, dass zwei nah aneinander liegende Flächen sich gegenseitig den nächsten Nachbarn stellen. Treten lokal begrenzte Anhäufungen von Flächen einer Klasse auf (z. B. Siedlungen), so zeigt eine Verringerung der *Mean Nearest Neighbor Distance* eine zunehmende Verdichtung dieser Flächenanhäufung einer Klasse an.

Shannon Diversity (SHDI) & Shannon Evenness (SHEI)

Als Grundlage zur Erläuterung der *Shannon Evenness* soll an dieser Stelle auch das Landschaftsstrukturmaß *Shannon Diversity* vorgestellt werden. Die *Shannon Diversity* gilt als Diversitätsmaß und kann somit zur Charakterisierung der Vielfalt der Flächen herangezogen werden, wobei die Werte allerdings stark von der vorhandenen Klassenanzahl abhängig sind (Blaschke 1999b).

$$SHDI = \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$$

P_i = Verhältnis Flächeninhalt einer Klasse zum Flächeninhalt des Landschaftsausschnittes
 nach McGarigal und Marks (1994)

Bei gleicher Klassenanzahl erhöht sich der Wert der *Shannon Diversity*, wenn die Gesamtfläche zunehmend gleichmäßig unter den vorhandenen Klassen aufgeteilt wird. Da der Wert aber auch ansteigt wenn die Klassenanzahl zunimmt, wurde von einer Verwendung der Maßzahl für die Analyse des Landschaftswandels abgesehen, da in allen Flächennutzungsdaten der vier Zeitschnitte unterschiedliche Klassenanzahlen vorhanden sind. Unabhängig von der Klassenanzahl ist dagegen die Maßzahl *Shannon Evenness*, der als Maß der Gleichverteilung der Flächeninhalte von Klassen innerhalb einer Landschaft zu sehen ist.

$$SHEI = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)}{\ln m} \quad (100)$$

nach McGarigal und Marks (1994)

Die Maßzahl *Shannon Evenness* gibt dabei an, wie viel Prozent der maximalen Diversität tatsächlich erreicht werden. Wird zum Beispiel ein Gebiet von drei vorhandenen Klassen flächenmäßig zu gleichen Teilen aufgeteilt, beträgt der Wert 100 %. Die räumliche Anordnung der Flächen spielt dabei allerdings keine Rolle. Alle anderen Aufteilungen der Gesamtfläche verursachen geringere Werte, wobei sich je nach Verteilung der Flächenanteile eine Dominanz einer Klasse herausstellen kann.

Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)

Der *Interspersion and Juxtaposition Index* ist ebenfalls ein Landschaftsstrukturmaß, welches die Regelmäßigkeit der Verteilung von Flächen einer Klasse oder aller Flächen einer Landschaft bestimmt. Dabei spielt allerdings für die Bestimmung der Gleichverteilung im Gegensatz zur Maßzahl *Shannon Evenness* der flächenmäßige Anteil keine Rolle bei der Berechnung. Entscheidend sind dagegen die Kantenlängen der unterschiedlichen Klassen.

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

e_{ik} = Gesamtlänge aller Kanten der Flächen der Klasse i zu den Flächen der Klasse k
 E = Gesamtlänge aller Kanten des Landschaftsausschnittes
 nach McGarigal und Marks (1994)

Wird eine Fläche wieder in drei unterschiedliche Klassen aufgeteilt und handelt es sich bei den Kantenlängen jeder Klasse zur anderen Klasse um identische Beträge, erreicht der IJI das Maximum von 100 %. Dabei ist es nicht von Bedeutung, ob von den Klassen flächenmäßig die gleichen Anteile eingenommen werden. Der Interspersion and Juxtaposition Index gibt demnach den Grad der räumlichen Gleichverteilung an.

2.4 Ergebnisse der Analyse des Landschaftswandels

Ein Überblick zur Verteilung der Flächennutzungsänderungen über den gesamten Zeitraum von 1785 bis 1992 ergibt, dass 48 % der Fläche des Untersuchungsgebietes keine Flächennutzungsänderung erfährt (Abb. 1). Deutlich tritt die lokale Beschränkung von Gebieten mit dreimaliger Flächennutzungsänderung hervor, wobei sich dies im Zusammenhang mit einer Betrachtung des Reliefs besonders auf Talbereiche bzw. Mulden beschränken lässt. Die Ursache dafür sind die in Abhängigkeit von den naturräumlichen Gegebenheiten hauptsächlich in diesen Gebieten vorzufindenden und einer ständigen Veränderung unterliegenden Siedlungen sowie die Sandsteinbrüche im Elbtal, deren Entwicklung von der Entstehung bis zur Stilllegung innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraumes zusammengefasst ist. Die Flächen, auf denen keine Nutzungsänderungen erfolgen, ergeben sich dagegen aus der Dominanz einer Nutzungsart über den gesamten Zeitraum (z. B. Wald, Ackerland).

In der Auswertung der Flächenbilanzen ist eine kontinuierliche Zunahme der Siedlungsflächen und des Grünlandes (Wiesen und Weiden) erkennbar (Abb. 2). Beim Flächenanteil der Dauerkulturen ist ebenfalls ein kontinuierlicher Anstieg zu verzeichnen. Da diese Nutzungsart zum einen Streuobstwiesen, zum anderen Obstplantagen beinhaltet, ist der starke Anstieg zwischen 1940 und 1992 auf das Anlegen großflächiger Plantagen im Südwesten des Untersuchungsgebietes zurückzuführen. Die

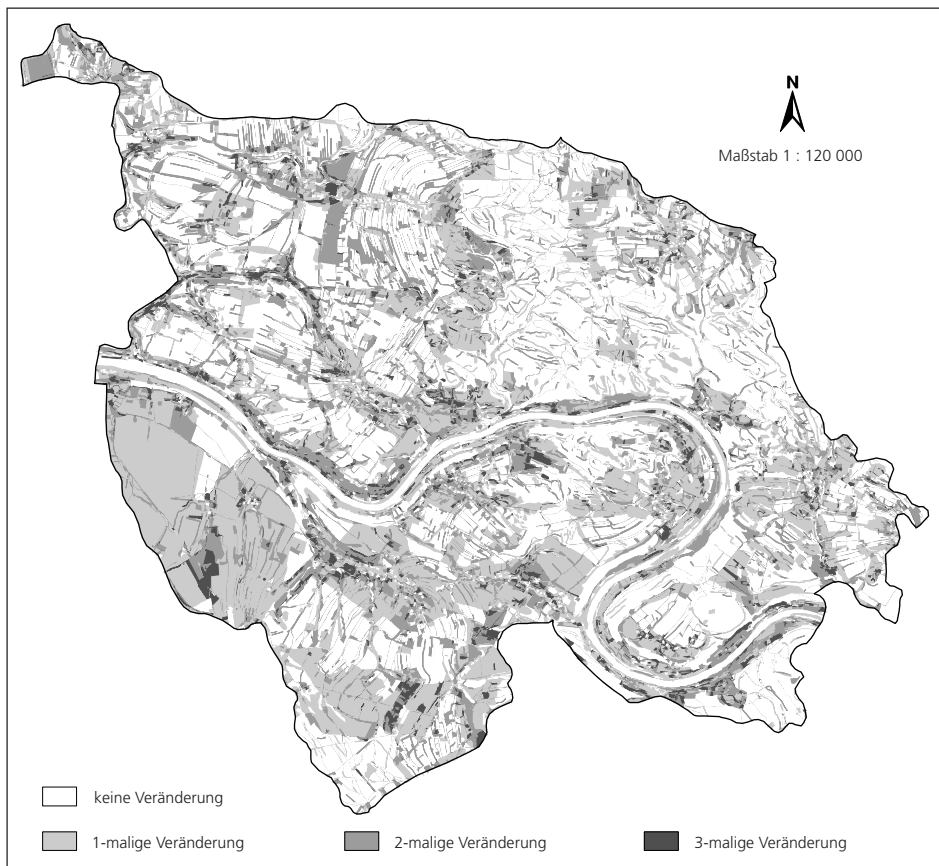


Abb. 1: Überblick zur Verteilung der Flächennutzungsänderung
(Bearbeitung: A. Berger)

Entwicklung der Waldflächen zeigt eine relativ geringe Abnahme des Flächenanteils (Abb. 2). Zwar erfolgte vor allem in der frühen Hälfte des Untersuchungszeitraumes eine intensive forstliche Nutzung, man verband allerdings bereits Kahlschläge mit einer sofortigen Wiederaufforstung, was zu einer Veränderung der Baumartenzusammensetzung führte (LAF 1998). Gegen eine stärkere Abnahme der Waldflächen wirken außerdem die Aufforstungen auf den stillgelegten Abbauflächen bzw. Abraumhalden der Sandsteinbrüche und die Ausweisung des Landschaftsschutzgebietes bzw. des Nationalparks Sächsische Schweiz im Untersuchungsraum.

Das Diagramm der Abbildung 2 unterstützt teilweise die anfangs aus der Betrachtung der Karten abgeleiteten Erkenntnisse. Die Zusammenfassung der Nutzungsarten bedeutet jedoch ein Verlust von spezifischen Entwicklungsinformationen. Deshalb erfolgt anschließend eine Betrachtung ausgewählter Nutzungsarten. Dies betrifft die innerhalb der Siedlungsflächen zusammengefasste Nutzung der *nicht durch-*

gänglich städtischen Prägung, die Klasse der Straßen- und Eisenbahnnetze, hier insbesondere die Fahrwege sowie die Nutzungsklassen Ackerland und Grünland.

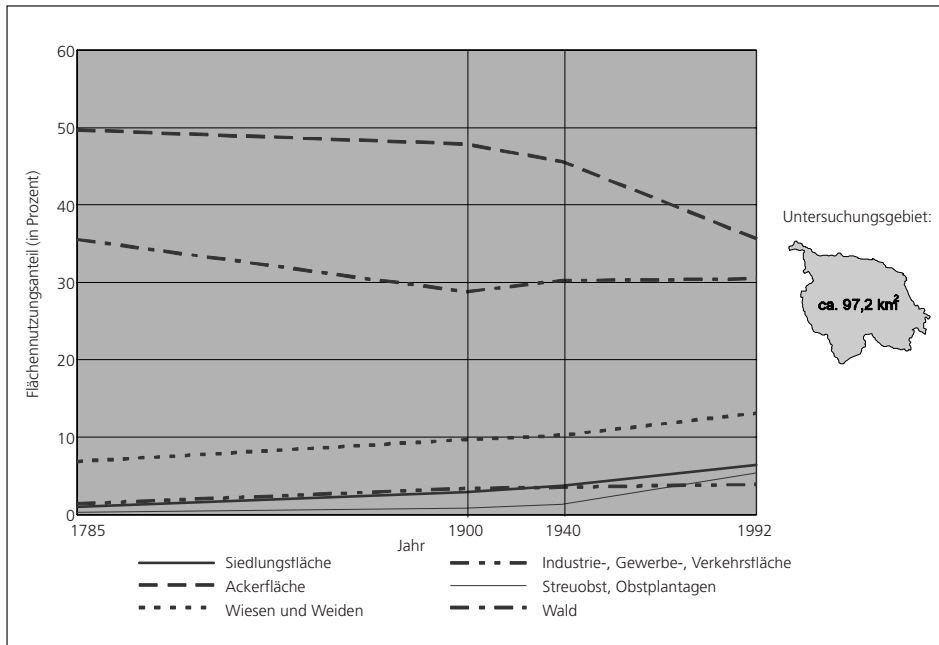


Abb. 2: Entwicklung markanter Flächennutzungen
 (Auswertung: A. Berger)

Nicht durchgängig städtische Prägung

Mit Flächen der nicht durchgängig städtischen Prägung wurden während der Bearbeitung vor allem dörfliche Siedlungen erfasst. Der Flächennutzungsanteil der nicht durchgängig städtischen Prägung steigt über den gesamten Zeitraum an. Gleichzeitig erhöht sich bis zum Zeitschnitt 1992 die mittlere Flächengröße auf 0,6 ha (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Statistische und strukturelle Angaben „nicht durchgängig städtische Prägung“
 (Auswertung: A. Berger)

	1785	1900	1940	1992
Flächenanteil (%)	1,0	2,7	3,5	5,3
Mean Patch Size (ha)	0,2	0,4	0,4	0,6
Mean Shape Index	1,3	1,5	1,5	1,7
Mean Nearest Neighbor Distance (m)	42,41	36,28	31,45	26,31

Ursprünglich stellten die Dörfer in den landwirtschaftlich geprägten Ebenheiten lockere Ansammlungen von Gehöften dar, die sich bis heute vor allem an den Rändern von wasserführenden Geländemulden befinden. Talsiedlungen entstanden dagegen nur an den breiteren Einmündungen von Nebenflüssen der Elbe (Wächter und Böhnert 1998).

Die Entwicklung dieser Dörfer wurde von zwei Teilaspekten bestimmt. Durch die Ansiedlung von Lohnarbeitern, Handwerkern und Kaufleuten erfolgte zum einen eine Verdichtung der ursprünglichen Siedlungsbereiche. Betrachtet man die Gehöftansammlungen innerhalb der Ebenheiten, geschah dies speziell in den tieferen Lagen der Mulden. Mit dem Landschaftsstrukturmaß *Mean Nearest Neighbor Distance* kann dies auch quantitativ untermauert werden. Demnach ist eine Abnahme des Wertes zu verzeichnen, sodass die kürzeste Entfernung zur nächsten Fläche der nicht durchgängig städtischen Prägung im Zeitschnitt 1992 nur noch ca. 60 % der Nachbarschaftsentfernung von 1785 entspricht. Zum anderen erfolgte insbesondere in der jüngeren Vergangenheit durch den Bau von Wohnsiedlungen und Wochenendhäusern eine Ausbreitung der Siedlungsbereiche über die eigentlichen Dorfgrenzen hinaus (Abb. 3). Die angesprochenen Verdichtungen und Ausbreitungen spiegeln sich auch in geringem Maße in den Werten des *Mean Shape Index* wider. Größere und komplexere Formen in den jüngeren Zeitschnitten sorgen dabei, im Gegensatz zu den beispielsweise Gehöfte wiedergebenden Einzelflächen im Zeitschnitt 1785, für einen Anstieg der Werte.



Abb. 3: Siedlungsentwicklung Lohmen
(Bearbeitung: A. Berger)

Straßen- und Eisenbahnnetze

Die Gruppe der Straßen- und Eisenbahnnetze fasst unter anderem die Klassen Hauptstraße, Nebenstraße, Fahrweg und Eisenbahn zusammen.

Tab. 3: Längenangaben der Verkehrswege
(Auswertung: A. Berger)

	1785	1900	1940	1992
Hauptstraße (km)	30,6	43,9	44,3	87,0
Nebenstraße (km)	1,3	129,7	140,9	155,1
Fahrweg (km)	385,5	634,9	649,6	303,6
Eisenbahn (km)	0	27,6	27,8	27,6

Für die Klassen Haupt- und Nebenstraße ist ein durchgehender Anstieg der Gesamtlänge offensichtlich (Tab. 3). Mit dem von der Sächsisch-Böhmischen Staatsbahn initiierten Bau der Eisenbahnstrecke entlang der Elbe durch die Sächsische Schweiz um 1850 und dem Bau der Nebenstrecke von Pirna über Lohmen nach Arnsdorf um 1875 steigt auch erstmalig die Kilometerzahl des Eisenbahnnetzes im Zeitschnitt 1900 auf 27,6 km an und verändert sich im weiteren Zeitraum nur geringfügig. Bemerkenswert ist allerdings die Entwicklung der Fahrwege, die den gesamten Landschaftswandel von 1785-1992 nicht unbedeutend prägt. Die Gesamtlänge der Fahrwege 1992 entspricht etwa der Gesamtlänge von 1785. In der Zeit zwischen diesen Zeitschnitten verdoppeln sich fast die Werte. Die Ursache dafür sind die typischen Waldhufenfluren, welche die Reihendörfer umgeben. Diese bäuerlichen Grundbesitzanteile an der Dorfflur, die mithilfe des alten deutschen Flächenmaßes, der Hufe (7-15 ha), bestimmt wurden, werden durch Fahrwege getrennt und führen so zu einer Zergliederung des Acker- und Grünlandes. Bemerkbar macht sich dies besonders in den ackerbaulich geprägten Mikrogeochoren des Untersuchungsgebietes. Die Ursache für das weniger stark ausgeprägte Wegenetz im Zeitschnitt 1785 ist schwer zu ergründen und führt teilweise zu widersprüchlichen Aussagen. Wahrscheinlich ist, dass das Wegenetz zur Darstellung in den Sächsischen Meilenblättern teilweise generalisiert aufgenommen wurde (Walz et al. 2001). Ausgehend von einer ungeneralisierten Aufnahme ergibt sich jedoch eine geschichtliche Begründung aus der Bewirtschaftung der Felder. Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts war für weite Teile der landwirtschaftlichen Flächen des Untersuchungsgebietes der durchgängige Flachs-anbau charakteristisch (Blaschke 1960). Dieser könnte die parallel verlaufenden Wege als Abgrenzung der Einzelfelder unnötig gemacht haben. Mit der Kontinentalperre während der Napoleonischen Kriege kam der Flachs-anbau und die sich daraus entwickelte Garnherstellung allerdings völlig zum Erliegen (Wächter und Böhnert 1998), was die Einzelfelder nach dem Zeitschnitt 1785 begründen würde. Die Ursache für den Rückgang der Gesamtlänge der Fahrwege auf 303,6 km im

Zeitschnitt 1992 ist indes in der Kollektivierung der Bauern in landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften in der DDR Mitte der 50er Jahre des 20. Jahrhunderts zu sehen. Dadurch kam es zur Zusammenlegung der einzelnen Fluren und somit zum Verschwinden vieler Fahrwege bzw. zu einer Ausdünnung des Wegenetzes. Somit wirkt sich die Entwicklung der Dichte der Fahrwege auf die Struktur der Landschaft aus, im Speziellen auf die Struktur des Ackerlandes. Im folgenden Abschnitt soll deshalb näher darauf eingegangen werden.

Ackerland

Das Ackerland und das vor allem die Siedlungen umgebende Garten- und Grabeland bilden die Gruppe der Ackerflächen. Hier soll allerdings nur auf die Entwicklung des Ackerlandes eingegangen werden, welches eine Abnahme des Flächenanteils an der Gesamtfläche aufweist. Durch die Werte der Anzahl der Flächen und der mittleren Flächengröße wird der vorangehend angesprochene Zusammenhang mit der Zunahme der Fahrwege deutlich. Die vorherrschenden Waldhufenfluren im Zeitraum zwischen 1900 und 1940 führen zu einer starken Zergliederung der landwirtschaftlichen Flächen und damit zu einer mittleren Flächengröße, die teilweise nur einem Drittel der heutigen mittleren Flächengröße entspricht (Tab. 4).

Tab. 4: Statistische und strukturelle Angaben „Ackerland“
(Auswertung: A. Berger)

	1785	1900	1940	1992
Flächenanteil (%)	49,0	46	43,3	33,5
Anzahl der Flächen	470	1402	1388	299
Mean Patch Size (ha)	10,1	3,2	3	10,9
Mean Shape Index	1,7	1,6	1,6	1,7
IJI	54,27	51,34	50,64	71,64

Mit dem Formmaß *Mean Shape Index* wird dies unterstrichen, da die angelegten Feldeinheiten, die sich je nach Grundbesitz des Bauern über Teile einer Hufe bis über mehrere Hufen erstreckten, annähernd einer rechteckigen Form entsprachen. Die große Kompaktheit sorgt dabei für geringe Werte dieses Landschaftsstrukturmaßes. Den Gegensatz dazu bilden die komplexeren Großflächen des Zeitschnittes 1992. Wie bereits erwähnt, wurden mit der Gründung von Produktionsgenossenschaften die Bauern gezwungen, ihr Land in Großbetriebe einzubringen. Neben dem allgemeinen Rückgang des Flächennutzungsanteils führte besonders die Zusammenlegung des Ackerlandes zu Strukturveränderungen, sodass die Anzahl der Ackerflächen auf 299 sank und sich die mittlere Flächengröße auf ca. 10,9 ha erhöhte (Tab. 4).

Hervorzuheben ist die stark ackerbaulich geprägte Nutzung insbesondere des westlichen Untersuchungsgebietes, die durch die verhältnismäßig guten Bedingungen einer nährstoffreichen Lößlehmdecke und die Reliefeigenschaften begründet ist. In den von Felsrevieren geprägten Mikrogeochoren im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes dagegen hat der Anteil des Ackerlandes abgenommen (Abb. 4). Zunehmende Gefährdung des Ackerlandes in den Hanglagen durch Erosion führten hier zu einer Umwandlung in andere Nutzungsklassen (vgl. Abschnitt Grünland). Die Anwendung des Landschaftsstrukturmaßes *III* zeigt eine Entwicklung, die mit dem Verlauf der mittleren Flächengröße gleichläufig ist. Der hohe Wert des Zeitschnittes 1992 sagt dabei aus, dass Ackerland regelmäßiger an alle anderen Nutzungsklassen angrenzt als in den Zeitschnitten davor. Es dominiert also keine Übergangsart, wie z. B. Ackerland zu Wald oder zu Grünland. Dies ist einerseits als Folge der Abnahme des Flächennutzungsanteils von Ackerland und der Zunahme anderer Nutzungsklassen zu sehen, andererseits eine Folge der Ausdünnung des Wegenetzes und der damit verbundenen Veränderung der mittleren Flächengröße.

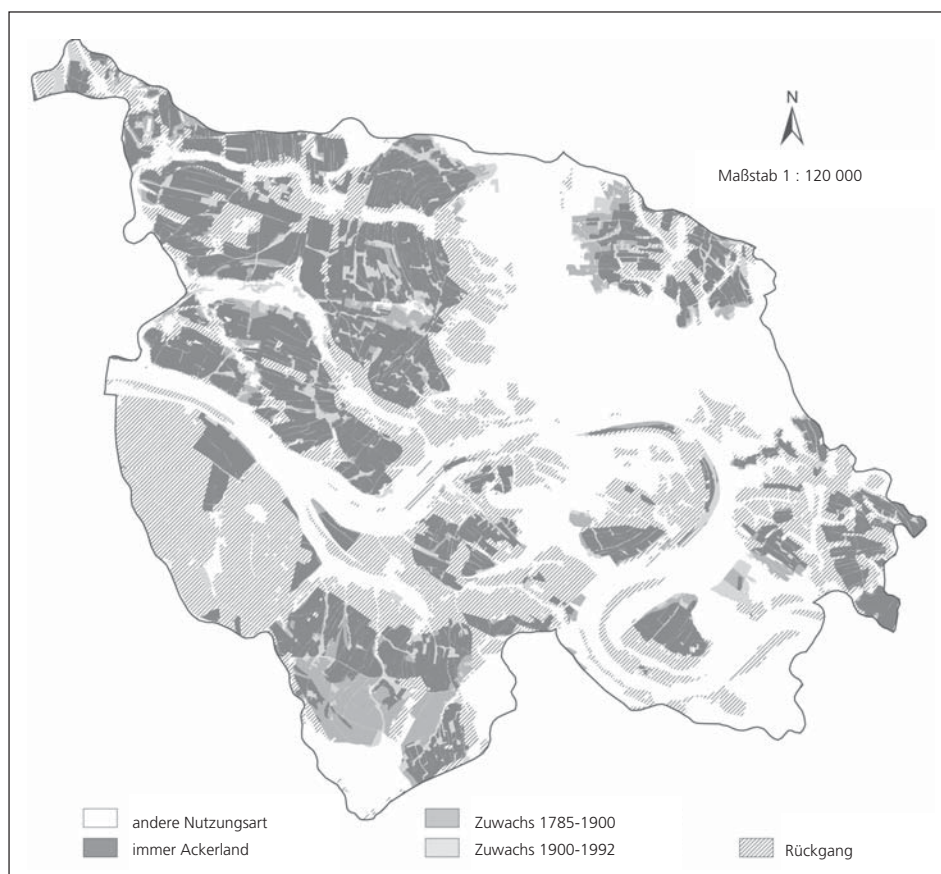


Abb. 4: Entwicklung des Ackerlandes
(Bearbeitung: A. Berger)

Grünland

Das als Wiesen und Weiden kartierte Grünland kann zu den Nutzungsklassen gezählt werden, die sowohl vom Flächenanteil als auch strukturell den größten Veränderungen im Untersuchungszeitraum unterlagen. Über den gesamten Zeitraum erfolgt ein Anstieg des Flächennutzungsanteils, sodass zum Zeitschnitt 1992 der Grünlandanteil mit 13,1 % etwa doppelt so hoch ist wie 1785 (Tab. 5).

Tab. 5: Statistische und strukturelle Angaben „Grünland“
(Auswertung: A. Berger)

Grünland	1785	1900	1940	1992
Flächenanteil (%)	6,8	9,7	10,3	13,1
Anzahl der Flächen	339	1265	1178	442
Mittlere Flächengröße (ha)	2,0	0,7	0,8	2,9

Die Werte der mittleren Flächengröße zeigen einen Verlauf, der teilweise wieder in Beziehung mit der Entwicklung des Wegenetzes gesetzt werden muss. Wie bei Ackerland führt der hohe Anteil an Fahrwegen zwischen 1900 und 1940 zu einer Zergliederung des Grünlandes und somit auch zu einer sehr starken Erhöhung der Flächenanzahl sowie zu geringeren Flächengrößen. Der Anstieg der mittleren Flächengröße auf 2,9 ha und der starke Rückgang der Flächenanzahl im Zeitschnitt 1992 kann jedoch nicht nur mit der Ausdünnung des Wegenetzes begründet werden, sondern ist auch auf eine nahezu vollständige Umstrukturierung der Grünlandflächen zurückzuführen. In den Zeitschnitten vor 1992 ist das Grünland geprägt von kleinstrukturierten Flächen, die hauptsächlich das Ackerland in zum Teil feuchten Senken und Talmulden durchziehen. Bis 1992 sind diese Strukturen fast gänzlich verschwunden. Die Gründe dafür sind Maßnahmen zur Verbesserung leistungsschwacher oder unproduktiver Böden, die besonders während der Nutzung durch landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaften in der DDR durchgeführt wurden. Die mit der Melioration (UL 1986) verbundene Entwässerung und Grundwasserregulierung machte dabei eine ackerbauliche Nutzung dieser Grünlandflächen möglich.

Im Gegensatz dazu erfolgte im gleichen Zeitraum eine Umwandlung von erosionsgefährdetem Ackerland in den Hanglagen der Gebiete mit großen Reliefunterschieden zu geschlossenen, weiträumigen Grünlandflächen (Wächter und Böhnert 1998). So machte eine Untersuchung deutlich, dass im Zeitschnitt 1785 nur ca. 36 % des Grünlandes in Gebieten mit einer Hangneigung von mehr als 9 %, also an mitteln geneigten bis steilen Hängen (AG Boden, 1994), vorkommen, während im Zeitschnitt 1900 bereits ca. 43 % und 1992 ca. 57 % des Grünlandes in diesen Bereichen lokalisiert werden. Besonders die Mikrogeochoren, die durch Felsreviere geprägt sind, aber auch die Mikrogeochoren der Randebenen zeigen daher einen Anstieg des Flächennutzungsanteils von Grünland. Die erwähnten Maßnahmen zur

Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität werden gut durch den Rückgang des Grünlandes in der ackerbaulich geprägten Mikrogeochore der Lohmener Ebene im Nordosten des Untersuchungsgebietes ersichtlich (Abb. 5).

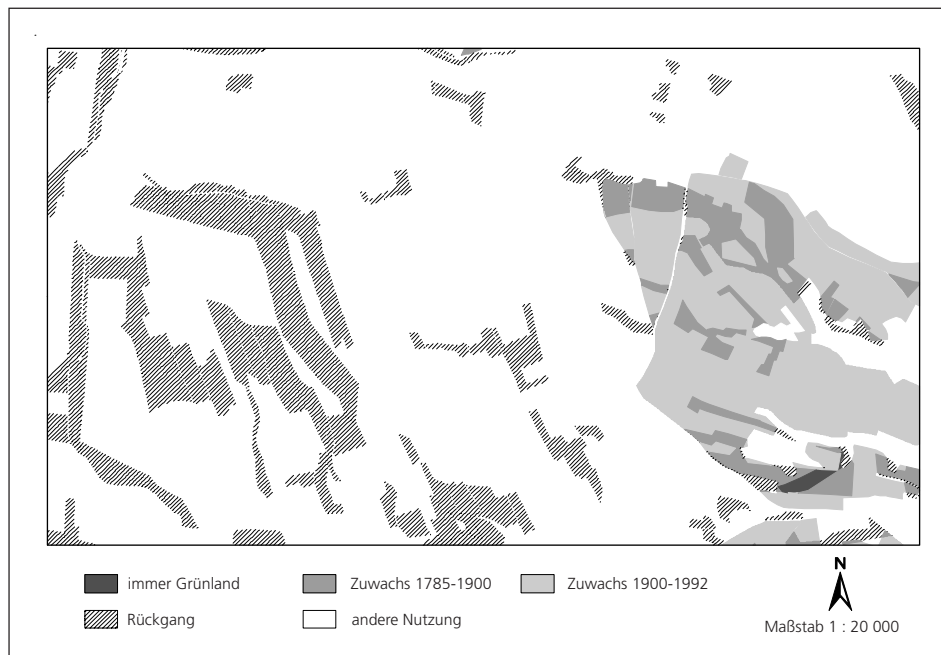


Abb. 5: Entwicklung des Grünlandes südlich von Lohmen
(Bearbeitung: A. Berger)

3 Zusammenfassende Betrachtung und Bewertung der Ergebnisse

Nachdem sich beim visuellen Vergleich der Flächennutzungsdaten der vier Zeitschnitte und der verbalen Herausarbeitung auffälliger Veränderungen herausstellte, dass eine Auswertung des Landschaftswandels ausschließlich über Flächenbilanzen nicht ausreicht, wurden Landschaftsstrukturmaße zur Analyse der strukturellen Veränderungen ausgewählt und vorgestellt. Anschließend erfolgte eine Landschaftswandelanalyse für verschiedene Nutzungsklassen, wobei sich auf Klassen beschränkt wurde, die im Wesentlichen den Wandel der Landschaft ausmachen.

Die markanteste Veränderung im Untersuchungszeitraum ergibt sich aus der Verdichtung bzw. Ausdünnung des Wegenetzes. Die Auswirkungen spiegeln sich auch im Verlauf der mittleren Flächengröße für alle Nutzungsarten im Untersuchungsgebiet wider.

Die mit dieser Entwicklung verbundenen Strukturveränderungen (z. B. Fragmentierung) konnten über die Anwendung des *Mean Shape Index* auf die hauptsächlich betroffene Nutzungsklasse Ackerland nachgewiesen werden. Neben der Wegenetzveränderung bildet die Umstrukturierung des Grünlandes einen entscheidenden Faktor des Landschaftswandels. Sowohl einen Wechsel der Lage (1785 ca. 36 %, 1992 ca. 57 % an mittel geneigten bis steilen Hängen) als auch einen Strukturwechsel (mittlere Flächengröße 1992 ca. 2,9 ha, 1940 ca. 0,8 ha) belegen die Ergebnisse der Landschaftswandelanalyse. Die abschließende Anwendung des Landschaftsstrukturmaßes *Shannon Evenness* untermauert die herausgearbeiteten Veränderungen (Tab. 6). Von 1785-1992 steigen die Werte dieser Maßzahl für das Gesamtgebiet kontinuierlich an, wobei dies als Folge der Erhöhung des Flächenanteils einiger Nutzungsklassen (Siedlungsfläche, Dauerkultur, Grünland) und der gleichzeitigen Verringerung der ehemals dominanten Nutzungsklasse Ackerland zu sehen ist. Eine Rolle spielt dabei die bis jetzt noch nicht angesprochene Entwicklung von Kleinstrukturen wie z. B. *Flächenhafte Feldgehölze/Baumgruppen* oder *Feuchtflecken*. Die Flächenanzahl dieser Klassen nimmt in beiden Fällen durchgängig ab, sodass schließlich im Zeitschnitt 1992 keine Flächen dieser Klassen im Untersuchungsgebiet vorhanden sind. Ein Ansteigen der flächenmäßigen Gleichverteilung aller Nutzungsklassen (*Shannon Evenness*) wird also auch durch das Verschwinden der generell nur einen geringen Flächenanteil ausmachenden Kleinstrukturen verursacht.

Tab. 6: Statistische und strukturelle Angaben für das Gesamtgebiet
(Auswertung: A. Berger)

	1785	1900	1940	1992
Mittlere Flächengröße (ha)	3,3	1,4	1,3	1,9
Shannon Evenness (%)	51	59	61	70

Insgesamt konnte der allgemein bekannte Prozess der „Ausräumung“ der Landschaft für eine industrialisierte Landwirtschaft hin zu einer vereinheitlichten Kulturlandschaft auch für Teile des Untersuchungsgebietes dieser Arbeit festgestellt werden. Des Weiteren offenbarte die Analyse jedoch auch Rückzugstendenzen der Landwirtschaft aus weniger ertragreichen und schwerer zu bewirtschaftenden Gebieten (da größere Hangneigung), sodass an deren Stelle mehr naturnähere Flächennutzungsarten wie Wiesen und Weiden traten. Mit der Verbreitung dieser Gebiete vor allem im Osten des Untersuchungsgebietes und der Ausbreitung von Siedlungsflächen besonders im Westen konnten gegenläufige Entwicklungen aufgezeigt werden, die zu einer schärferen Abgrenzung naturnaher und anthropogener Bereiche führen. Hierin spiegelt sich auch die Lage des Untersuchungsgebietes zwischen dem Ballungsraum Dresden und dem Nationalpark Sächsische Schweiz wider.

Um die Ergebnisse der Analyse des Landschaftswandels zu bewerten, sollte die Herstellung der Grundlagenkarten, insbesondere die Aufnahme generalisierung und die

geschichtliche Entwicklung im Untersuchungsgebiet bedacht werden. So können z. B. bei der Entwicklung des Wegenetzes die Werte im Zeitschnitt 1785 nicht als realistische Angabe des Zustandes dieser Zeit gelten. Vielmehr muss hier von einer Aufnahmegeneralisierung ausgegangen werden, die allerdings bei entsprechender Beachtung die Ergebnisse der Analyse in der Qualität nur geringfügig mindert. Berücksichtigt werden muss auch, dass die alleinige Betrachtung und Auswertung der Flächennutzungsdaten nicht zu allen Entwicklungsfragen eine Antwort geben kann (Bastian und Schreiber 1994). So können zwar verschwundene Wege und Baumreihen oder veränderte Flurgrenzen festgestellt werden, nicht aber Artenzusammensetzungen oder Bestandsdichten. Zum Beispiel muss dies gerade bei einer Betrachtung der Waldentwicklung geschehen. Zwar ergibt der Vergleich der Daten der vier Zeitschnitte einen maximalen Flächenanteil (3 450 ha) im Zeitschnitt 1785, doch unterscheidet sich der Zustand des damaligen Waldes extrem vom heutigen Wald. Unkontrollierte Holzentnahme und vor allem die Nutzung des Waldes als Waldweide für das Vieh sorgten für eine viel geringere Baumdichte und ließen zudem einen Nachwuchs an Bäumen nicht aufkommen (Vogel 1957). Eine vollständige Landschaftswandelanalyse muss ebenfalls den Zustand einer Nutzungsklasse einbeziehen. Mit der Analyse des Landschaftswandels über Flächenbilanzen und Landschaftsstrukturmaße wurde in dieser Arbeit eine Untersuchung durchgeführt, die nur gering den „inneren“ Zustand der Nutzungsklassen integrierte und die sich zudem hauptsächlich auf die markanten Veränderungen der Klassen mit den größten Flächenanteilen bezog. Jedoch kann anhand der Ergebnisse die Charakteristik des Landschaftswandels nachvollzogen werden, sodass außerdem Aussagen zu Auswirkungen der Veränderungen auf verschiedene Landschaftsfunktionen (z. B. Erholung) (Berger 2003) oder weiterführende Entwicklungstendenzen ableitbar sind.

Die Bewertung der Ergebnisse der Flächennutzungserhebung zeigte allerdings auch, dass nicht mit absoluter Gewissheit festgelegt werden kann, ob die erhobenen Flächennutzungszustände der tatsächlichen Landschaftsgestalt des jeweiligen Zeitschnittes entsprechen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, um vor allem genauere Aussagen zum Generalisierungsgrad der Meilenblätter treffen zu können. Von Vorteil wäre an dieser Stelle auch das vergleichende Einbeziehen weiterer historischer Karten, historischer Landschaftsabbildungen (Landschaftsgemälde) sowie schriftlicher Überlieferungen zur Gestalt der Landschaft.

Forschungsbedarf besteht weiterhin zur Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen innerhalb eines Langzeitmonitorings. So wurde deutlich, dass die ausgewählten Maße zwar zur hinreichenden Quantifizierung der Strukturveränderungen genutzt werden können. Es zeigte sich aber auch, dass diese teilweise auf die Qualität der Daten und somit auf die Eigenarten bestimmter Grundlagenkarten (Maßstab, Aufnahmegeneralisierung) reagierten. Auch die Abhängigkeit einiger Maße von der Klassenanzahl ist gerade bei der Analyse von Landschaftszuständen unterschiedlicher Zeitschnitte von Nachteil.

Literatur

- AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. Arbeitsgruppe Boden der geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Bastian, O.; Schreiber, K.-F. (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- Berger, A. (2003): Langzeitmonitoring einer Landschaft mittels GIS – Landschaftswandel & Erholungswert. Diplomarbeit TU Dresden, 105 S.
- Blaschke, K. (1960): Die Sächsische Schweiz und ihre Geschichte. In: Deutsche Akademie der Wissenschaften Berlin (Hrsg.): Im Süden der Barbarine. Werte der deutschen Heimat, Band 3, Akademie Verlag, Berlin.
- Blaschke, T. (1999a): Quantifizierung von Fragmentierung, Konnektivität und Biotopverbund mit GIS. In: Strobl, J.; Blaschke, T. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1999. Wichmann Verlag.
- Blaschke, T. (1999b): Quantifizierung der Struktur einer Landschaft mit GIS: Potential und Probleme. In: Walz, U.: Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR) (Hrsg.): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur – Auswertung mit GIS und Fernerkundung. IÖR-Schriften, Band 29. Dresden.
- Herzog, F.; Lausch, A.; Müller, E.; Thulke, H.-H. (1999): Das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen – Fallstudie Espenhain. In: Walz, U.: Institut für ökologischen Raumentwicklung e. V. (IÖR) (Hrsg.): Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur – Auswertung mit GIS und Fernerkundung. IÖR-Schriften, Band 29.
- LAF – Sächsische Landesanstalt für Forsten (1998): Der Waldzustand im Nationalpark Sächsische Schweiz. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 14/98.
- McGarigal, K.; Marks, B. J. (1994): FRAGSTATS – Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University, Corvallis.
- Turner, M. G.; Gardner, R. H. (1991): Quantitative Methods in Landscape Ecology. Springer Verlag, New York.
- UL – Universal Lexikon (1986): VEB Bibliographisches Institut Leipzig.
- Walz, U. (2001): Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satelliten – Fernerkundung und der Geoinformatik. Logos Verlag, Berlin.

- Walz, U.; Neubert, M.; Schumacher, U.; Witschas, S.; Lange, A. (2001): Ableitung naturschutzfachlich relevanter Flächeninformationen aus historischen Kartenwerken. Endbericht zur Forschungs- und Entwicklungsstudie, Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Dresden (unveröffentlicht).
- Walz, U.; Berger, A. (2003): Georeferenzierung und Mosaikerstellung historischer Kartenwerke – Grundlage für digitale Zeitreihen zur Landschaftsanalyse. In: PFG – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Jahrgang 2003, Heft 3, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Witschas, S. (2002): Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. In: Kartographische Nachrichten. 52(3); Bonn-Bad Godesberg.
- Vogel, R. (1957): Gebiet Königstein, Sächsische Schweiz. Werte der deutschen Heimat, Band 1, Akademie Verlag, Berlin.