

## **Anwendung von Landschaftsmaßen zur Analyse des Landschaftswandels am Beispiel des Raichberges (Schw. Alb)**

Peter von Schnakenburg & Klaus Schmieder

Schlüsselwörter: Landschaftsmaße, Landschaftsstruktur, Landschaftswandel, GIS

Keywords: Landscape metrics, Landscape structure, Landscape change, GIS

### **Abstract**

Landscape metrics generated a fast development of quantitative landscape ecology in recent decades. However, several critical issues have to be taken into account for proper application of landscape metrics and meaningful interpretation of results. This study focused on testing applicability of landscape metrics on a small scale level dataset based on interpretation of aerial photos of 1951 and 1997, to document landscape changes of a rural area in southwestern Germany in recent decades.

Results showed, that the applied indices are useful in quantifying landscape changes at small scale. However, several critical issues impede interpretation of results. Due to different spatial scale of data sources and photo quality, the thematic resolution of the datasets was limited. Furthermore, no data existed for changes in biota during the investigated time period, so that ecological relevance of the landscape changes could not be proved.

In conclusion, landscape metrics are useful tools including small scales, which enable to analyse quantitatively spatial patterns, opening a wide field of research to close the gap of relations between spatial patterns and ecological processes.

### **1. Einführung**

Die Landschaftsmaße gehen auf eine Arbeitsrichtung der Landschaftsökologie zurück, die sich seit Mitte der 1980er Jahre überwiegend in Nordamerika entwickelt hat und vereinfacht als *Landscape Metrics* („Landschaftsmaße“) bezeichnet wird (BLASCHKE 2000). Mittlerweile findet dieser Ansatz der so genannten *Landscape Metrics* auch in Europa weite Verbreitung in Wissenschaft und Forschung. Das Potenzial der *Landscape Metrics* zur Erforschung der Landschaft und zu ihrem Einsatz in Regional-, Flächennutzungsplanung und Naturschutz scheint groß, wenngleich auch noch für viele Konzepte der (Landschafts-) Ökologie keine fertigen Anleitungen oder standardisierte GIS-Verfahrenstechniken bestehen. Eine Vielzahl an Indizes zur Beschreibung und Analyse der Landschaft wurden entwickelt, viele sind ähnlich und nicht alle für jede Anwendung brauchbar. Dass sich Landschaftsmaße zur Quantifizierung der Landschaftsstruktur eignen, konnte in verschiedenen Forschungsarbeiten gezeigt werden. Zumeist basieren diese Untersuchungen jedoch auf Gebieten kleiner bis mittlerer Maßstabsebene, z. B. auf Satellitendaten mit vergleichsweise geringer Auflösung, wie beispielsweise beim Projekt Corine Land Cover (CORINE = CoORDinated INformation on the Environment, EUROPEAN

COMMISSION 2000, <http://terrestrial.eionet.europa.eu/CLC2000>) oder auf topographischen Karten (z. B. LAUSCH 1999; SCHUMACHER & WALZ 1999, LÖFFLER 1994). Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Landschaftsmaße für großräumige nordamerikanische Landschaften, meistens für die Anwendung in der Forstplanung entwickelt wurden, wird in dieser Arbeit folgenden Fragestellungen nachgegangen:

- Lassen sich die Veränderungen in einem kleinräumig strukturierten Untersuchungsgebiet mit Hilfe von Landschaftsmaßen quantifizieren und beurteilen?
- Welche Landschaftsmaße eignen sich für die Analyse der Landschaftsstruktur im Untersuchungsgebiet?
- Welche Aussagen lassen sich aufgrund von Landschaftsmaßen (der beiden Zeitpunkte) über die Landschaftsstruktur machen?

## 2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst etwa 4,8 km<sup>2</sup> und liegt im Traufbereich der westlichen Schwäbischen Alb, zwischen Hechingen (Burg Hohenzollern) und Albstadt-Onstmettingen im Zollernalbkreis (Abb. 1). Der Großteil des Gebietes liegt in einer Höhe von 900 – 950 m ü. NN. Der höchste Punkt ist mit 956 m ü. NN der Raichberg, im südlichen Bereich liegt der niedrigste Punkt mit etwa 830 m ü. NN am Sportplatz von Onstmettingen, am Steilabhang des Albtraufs im Norden etwa bei 700 m ü. NN. Nach der naturräumlichen Gliederung Deutschlands (HUTTENLOCHER 1959) zählt dieses Gebiet zur Hohen Schwabenalb, mit seinen Untereinheiten den Eyach- und Schmiecha-Randhöhen und der Raichberg-Kuppenalb.

Geologisch gesehen besteht der Raichberg, wie auch der Hohenzollern und das Gebiet südwestlich des Raichbergs aus Massenkalken (Riffkalke) des Weißjura  $\delta$ , die innerhalb des Hohenzollerngrabens vorkommen. Außerhalb des Grabens bildet in Schichtfazies vorkommender Weißjura  $\beta$  den Untergrund von Feldern und Grünland. Durch Reliefumkehr überragen die morphologisch härteren Massenkalke (Riffkalke) des Weißjura  $\delta$  ihre Umgebung deutlich. Aufgrund der Verkarstung und der Höhenlage des Arbeitsgebietes gibt es dort keine ständig fließenden Gewässer – mit Ausnahme einer kleinen Quelle und eines kurzen Bachlaufes südlich des Zeller Horns. In geringer Entfernung südwestlich des Arbeitsgebietes entspringt die zur Donau entwässernde Schmiecha. Das Wuchsklima nach ELLENBERG (1955; zitiert in IAF 1996) sieht für das Gebiet um den Raichberg die Wärmestufe „kalt“ vor und entspricht damit dem Berggrünland-Sommergetreideklima mit einer Jahresmitteltemperatur der Luft von etwa 5,5-6 °C. Die durchschnittliche Zahl der Tage mit einem Lufttemperaturmittel über 5 °C (Vegetationszeit) beträgt 190-196 Tage. Die Wärme ist ausreichend für den Anbau von Getreide, Kartoffeln und Ackerfutterbau (IAF/INSTITUT FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG DER FACHHOCHSCHULE NÜRTINGEN 1996). Im Jahresmittel kann eine Niederschlagsmenge von 900–1050 mm/m<sup>2</sup>

erwarten werden (Albstadt-Lautlingen 698 m ü. NN 921 mm/m<sup>2</sup>- und 7,3 °C Jahresmitteltemperatur, bezogen auf den Zeitraum 1961–1990) (MÜHR, 2000, <http://www.klimadiagramme.de/Bawue/bawue.html>).



Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes (aus BURKHARDT 1990, verändert)

### 3. Methoden

#### 3.1 Luftbildauswertung

Als Datengrundlage für die Anwendung der Landschaftsmaße dient eine mit dem GIS ArcView erstellte digitale Karte, die am Bildschirm manuell digitalisiert wurde. Grundlage hierfür waren Luftbilder des Gebietes von 1951 und 1997 (Abb. 2).



Abb. 2: Luftbilder der Untersuchungsjahre 1951 und 1997

Für die Jahre 1951 und 1997 lag jeweils ein panchromatisches (schwarzweiß) Stereo-Luftbildpaar im Umbildungsmaßstab von ca. 1:9.000 vor. Allerdings unterscheiden sich die Originalmaßstäbe; er liegt beim Luftbildpaar von 1951 bei ca. 1:32.000 und beim Luftbildpaar von 1997 bei ca. 1:18.000. Für das Jahr 1997 stellte die Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Digitale Orthophotos (DOP) zur Verfügung. Die Luftbilder von 1951 wurden eingescannt und mittels des DOP von 1997 georeferenziert und entzerrt.

Neben der Qualität der Luftbilder spielt auch der Aufnahmezeitpunkt der Luftbilder bei der Unterscheidbarkeit der Landnutzung eine Rolle (vgl. STEINER 1961). Leider ist für das Luftbild von 1951 kein Aufnahmedatum bekannt. Der Schattenwurf des Raichbergturms im Vergleich zum Luftbild von 1997 erleichtert allerdings eine zeitliche Einordnung. Bei nahezu identischer Richtung des Schattenwurfs (Tageszeit) und gleichzeitig einem deutlich kürzeren Schattenwurf 1951 kann ein Aufnahmezeitpunkt nach der Sommersonnenwende angenommen werden, da sowohl schon Wiesen gemäht sind als auch vereinzelt Getreidefelder in der Gelbreife stehen.

Die georeferenzierten Digitalen Orthophotos (DOP) lagen als quadratische „Kacheln“ vor, die einen Quadratkilometer Fläche abbilden. Das Arbeitsgebiet wird von neun solcher Kacheln abgedeckt. Mit einer Bodenauflösung von 0,25 m eignete sich das DOP sehr gut als Grundlage für die Georeferenzierung der Luftbilder von 1951. Dafür wurde mit Hilfe der Software WASY GeoImaging (WGEO Version 3.0.86 Basis) für das eingescannte Luftbild ein so genanntes Worldfile erzeugt, in dem die Weltkoordinaten abgespeichert sind. Dieses Worldfile wird automatisch mit der zugehörige Bilddatei in ArcView geladen, so dass geographischen Koordinaten angezeigt und räumliche Berechnungen (Länge, Fläche...) durchgeführt werden können. Die Georeferenzierung wurde mit Hilfe von 25 Punkten durchgeführt, die im zu georeferenzierenden Luftbild digitalisiert und dann auf der Referenzkarte (den DOPs) bestätigt wurden.

Tabelle 1: Interpretationsschlüssel zur Luftbilddauswertung

Nutzung	Erkennbarkeit im Luftbild	
	12. September 1997	1951, vermutlich Juli
Acker	Hell, mit streifiger Textur → Stoppelfelder, bei ungeernteten Feldern: Schattenwurf, bei einem Bsp: Erntemaschine erkennbar	kleine Parzellen verschiedener Grautöne in Gewannen (Streifenparzellen in Gemengelage) Dunkelgrau: vermutlich Hackfrüchte helles Grau: vermutlich Wintergerste in der Gelbreife
Grünland (Wiesen und Weiden)	Wiesen: bei häufiger Mahd mit gleichmäßigem dunklen Grauton, sonst ebenfalls streifige Textur (durch Mähen), aber dunkler als Stoppelfelder Weiden: fleckigere Textur als Wiesen, Übergang zwischen abgegrasten und nicht abgegrasteten Flächen deutliche erkennbar; hofnahe Lage	Grautöne mittlerer Helligkeit Lage außerhalb der Streifenflur, tendenziell eher größere Flächen teilweise Gehölze nach der Mahd auch streifigere Textur
Heide (mit Ödland)	Durch fehlende Mahd heller und fleckiger als Grünland, rauere Textur oft mit Büschen und kleineren Bäumen eher Randlage (an Waldrändern)	Durch fehlende Mahd heller und fleckiger als Grünland, rauere Textur oft mit Büschen und kleineren Bäumen eher Randlage (an Waldrändern)
Wald Laubwald	Blumenkohlartige Textur Grobe Textur und heller Grauton (im Vergleich zu Nadelwald)	Blumenkohlartige Textur Grobe Textur und heller Grauton (im Vergleich zu Nadelwald)
Nadelwald	feinere Textur und dunklerer Grauton, (im Vergleich zu Laubwald) spitzer Schattenwurf der Kronen, enge, z.T. regelmäßige Anordnung der Bäume (Aufforstungen)	feinere Textur und dunklerer Grauton, spitzer Schattenwurf der Kronen, enge, z.T. regelmäßige Anordnung der Bäume (Aufforstungen)
Mischwald	Keine eindeutige Dominanz von Nadel- oder Laubbäumen feststellbar	Keine eindeutige Dominanz von Nadel- oder Laubbäumen feststellbar
Gehölz	Mehr als 2 Bäume oder Sträucher im direkten räumlichen Zusammenhang (sonst: siehe Wald)	Mehr als 2 Bäume oder Sträucher im direkten räumlichen Zusammenhang (sonst: siehe Wald)
Verkehrsfläche Wege / Parkplätze	Linienführung Asphaltbelag reflektiert hellgrau, Kieswege fast weiß (Weißjura) Fahrspuren bei unbefestigten Wegen	Linienführung Kieswege fast weiß (Weißjura) Fahrspuren bei unbefestigten Wegen

Referenziert wurde mittels Trapeztransformation (Trapezentzerrung), bei der das Bild skaliert, rotiert und örtlich verschoben wird. Außerdem werden bedarfsweise nichtparallele Verzerrungen ausgeglichen. Das Bild wird neu berechnet (WASY 1996–2001).

Landnutzungskartierungen wurden wegen der besseren Übersicht effektiv über die Auswertung von Luftbildern und Stichprobenvergleichen im Gelände gemacht. Für die großmaßstäbige Landnutzungskartierung in der Vergangenheit bleibt als einzige Möglichkeit die Luftbildauswertung. Sie erfolgte visuell mittels eines Stereoauswertegerätes sowie direkt am Bildschirm über die digitalen bzw. eingescannten Luftbilder. Dabei erfolgte die Landnutzungskartierung durch Unterscheidung der Flächen nach Grauwerten, Form, Struktur und Textur. Unterstützt wurde die richtige Ansprache durch eine Geländebegehung im Juli 2003. Bei den älteren Luftbildern gestaltete sich die Interpretation weitaus schwieriger, da sowohl der Maßstab kleiner, als auch die Bildqualität deutlich schlechter waren. Leider stand auch kein Aufnahmedatum zur Verfügung. Dies erklärt auch die relativ schlechte Bildqualität, da es sich vermutlich um die Kopie einer Kopie handelte.

Um die im Luftbild erkennbaren Objekte einer Landnutzungs-klasse zuzuordnen, wurde ein der Aufgabe entsprechender Interpretationsschlüssel zur Luftbildauswertung erstellt (vgl. Tabelle 1). Weitere Hinweise zur Unterscheidung verschiedener Nutzungsarten finden sich bei SCHMIDT-KRAEPELIN & SCHNEIDER (1966) sowie bei STEINER (1961).

Land- oder Flächennutzungskartierungen unterscheiden sich vor allem in der Gewichtung der Klassenbildung von der Biotoptypenkartierung. Bei letzterer wird mehr Wert auf die Funktion als Lebensraum von Tierarten gelegt, und somit kommt eine stärker vegetationskundlich differenzierte Klassenbildung zur Anwendung. Land- oder Flächennutzung meint dagegen eher die Verwendung und Gestaltung der Erdoberfläche, deshalb erfolgt eine stärkere Untergliederung besiedelter oder gesellschaftlich genutzter Bereiche (HILDEBRANDT 1996: 391).

Nicht immer ist eine Zuordnung der im Luftbild erkennbaren Objekte zu einer Landnutzungs-klasse zweifelsfrei möglich. Eine Überprüfung der "unsicheren" Objekte durch eine Geländebegehung ist entweder gar nicht (für das Jahr 1951) oder nur sehr eingeschränkt möglich (für das Jahr 1997). Für 1951 kann allenfalls mit Hilfe topographischer Karten eingeschätzt werden, wie sicher die Interpretation ist. Die auf der Grundlage der Landnutzungskartierung ermittelten Werte weisen deshalb gewisse Fehler auf. Mögliche Fehlerquellen bei der Kartierung sind:

- Die Abgrenzung von Heide und Grünland: auch brach liegendes Grünland kann als Heide kartiert werden, da sich beide Nutzungen im Luftbild durch eine raue Textur auszeichnen;
- das fehlende Datum des Luftbildes von 1951 erschwert eine sichere Zuordnung der Grauwerte zu verschiedenen Landnutzungen (betrifft Acker, Grünland, Heide);
- die Abgrenzung bei unscharfer Wald-Offenlandgrenze oder Heide-Flächen mit Gehölz-Sukzession;
- die genaue Abgrenzung von Hof-, Garten- und Lagerflächen, die zusammen mit Gebäuden zu den Siedlungsflächen zählen.

### **3.2 GIS-Einsatz zur Erstellung der Landnutzungskartierung und zur Analyse**

Als entscheidendes Kriterium für das hohe Potenzial, das GIS und Fernerkundung für die Analyse struktureller Landschaftseigenschaften bieten, gilt die ausdrückliche Berücksichtigung des Raumes, nicht nur in Form der Geometrie sondern vor allem durch die Räumlichkeit der Dinge (der Attribute) (LANG & BLASCHKE, 2007: 45). Auch WALZ (2001: 19) spricht von einem hohen Potenzial, dass sich durch die weite Verbreitung von GIS und Fernerkundung ergibt, insbesondere auch dadurch, dass Speicherkapazität und Rechnergeschwindigkeit keine limitierenden Faktoren bei der Auswertung räumlicher Landschafts-ökologischer Daten mehr darstellen. Geographische Informationssysteme bieten das Potenzial "Geo-statistische Parameter zu landschaftsökologischen Theoriemodellen, die teilweise bereits in den 60-80er Jahren entwickelt wurden, mit konkreten Daten zu füllen und durchzurechnen" (WALZ 2001: 19).

Für die Ermittlung der Landschaftsmaße musste zunächst eine Datenbasis geschaffen werden, in diesem Fall über Digitalisierung auf dem Bildschirm und manuelle Eingabe der Attributwerte. Die Geometrie wurde in ArcView Shapefiles (Vektordaten) abgespeichert.

In Anlehnung an den Objektartenkatalog von ATKIS wurden sieben Objektarten bzw. Landnutzungsklassen gebildet: Acker, Grünland, Heide, Wald, Gehölz, Verkehrsfläche und Siedlungsfläche. Die hier gebildeten Objektarten entsprechen nicht immer den Objektarten in ATKIS sondern manchmal auch den Objektbereichen, die für diese Arbeit nicht weiter untergliedert wurden. Die minimale Kartiergröße betrug 100 m<sup>2</sup>; mit Ausnahme des Raichbergturms und Arealen, die aufgrund ihrer Lage an der Grenze des Untersuchungsgebiets eine kleinere Fläche aufweisen.

Die eigentliche Berechnung der Landschaftsmaße erfolgte über das Feld Spatial Statistics mit der Erweiterung Patch Analyst für Arcview. Für das in ArcView aktive Thema muss unter "Class" nur noch die Spalte der Attributtabelle ausgewählt werden, in der die Information über die Klassenzugehörigkeit der Patches gespeichert ist.

#### 4. Ergebnisse

Als Ergebnis der Luftbildauswertung ist für die Jahre 1951 und 1997 je eine Landnutzungskarte entstanden (Abb. 3 und Abb. 4). Es wird deutlich, dass insbesondere in den Randbereichen zum Albtrauf hin, Ackerflächen, aber auch Grünland und Heideflächen in Wald umgewandelt wurden. Die betreffenden Ackerflächen wurden meist mit Fichten aufgeforstet, Heideflächen haben sich dagegen eher durch Sukzession in Wald umgewandelt. Ackerflächen die nicht aufgeforstet wurden, sind größtenteils in Grünland umgewandelt worden, stellenweise haben sie sich durch Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung zu Heideflächen entwickelt. Die Waldfläche hat aber nicht nur von den Randbereichen her zugenommen, sondern es gab auch am zentralen Bereich des Raichbergs und dessen südwestlichen Abhang deutliche Zuwächse. Die Ackerflächen befinden sich 1997 nur noch in ebenen Lagen, die leicht geneigten Hangbereiche werden überwiegend als Grünland genutzt. Die bis 1997 neu hinzugekommenen Gehölzflächen sind bevorzugt aus ehemaligen Stufenrainen, aus Heiden und entlang der Wege aufgewachsen. Eine große Gehölzfläche ist durch ihr Wachstum 1997 in die Klasse Wald umgruppiert worden, zwei kleinere Gehölze sind durch Sukzessionsprozesse mit bestehenden Waldflächen zusammengewachsen. Bei den Ackerflächen fällt nicht nur der deutliche Flächenrückgang, sondern auch die veränderte Feldstruktur auf. Die überwiegend sehr schmalen Parzellen in Gewinnflur wurden zu kompakteren und größeren Feldern zusammengelegt. Sowohl 1951 als auch 1997 sind die Grünland-Patches deutlich größer als die Ackerparzellen. Insgesamt sind die Grünland-Patches mittlerweile auch deutlich größer als 1951, es entstanden jedoch auch etliche kleine Flächen als Koppeln und Weiden in der Nähe der Aussiedlerhöfe. Das Wegenetz ist zwar 1997 etwas dichter als 1951, ein übermäßiger Ausbau hat aber nicht stattgefunden. Die beiden bestehenden Stichstraßen wurden nur verbreitert, neue Straßen kamen nicht hinzu. Die Siedlungsflächen wurden überwiegend an der Straße im südwestlichen Teil des Arbeitsgebietes angelegt, auf dem Raichberg entstand zusätzlich eine Sendeanlage.

Die Veränderung der Flächenanteile gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der Landschaft zu beiden Zeitpunkten (vgl. Abb. 5). Am deutlichsten ist der Rückgang der Ackerflächen mit einem absoluten Rückgang von 136 Hektar auf nur noch 28 Hektar im Jahr 1997, was einem Anteil von etwa 6 % entspricht. Dagegen haben die Grünland- und die Waldflächen stark zugenommen. Der Grünlandanteil steigerte sich von 13 % 1951 auf 31 % im Jahr 1997, der Waldanteil nahm im gleichen Zeitraum von 41 % auf 50 % zu. Den relativ gesehen stärksten Zuwachs um 200 % verzeichneten die Siedlungsflächen. Grund hierfür sind die im Zuge der Flurbereinigung in die Feldflur ausgesiedelten Höfe. Aufgrund der geringen Ausgangsbasis erreichen die Siedlungsflächen trotzdem nur ca. 1 % der Gesamtfläche.



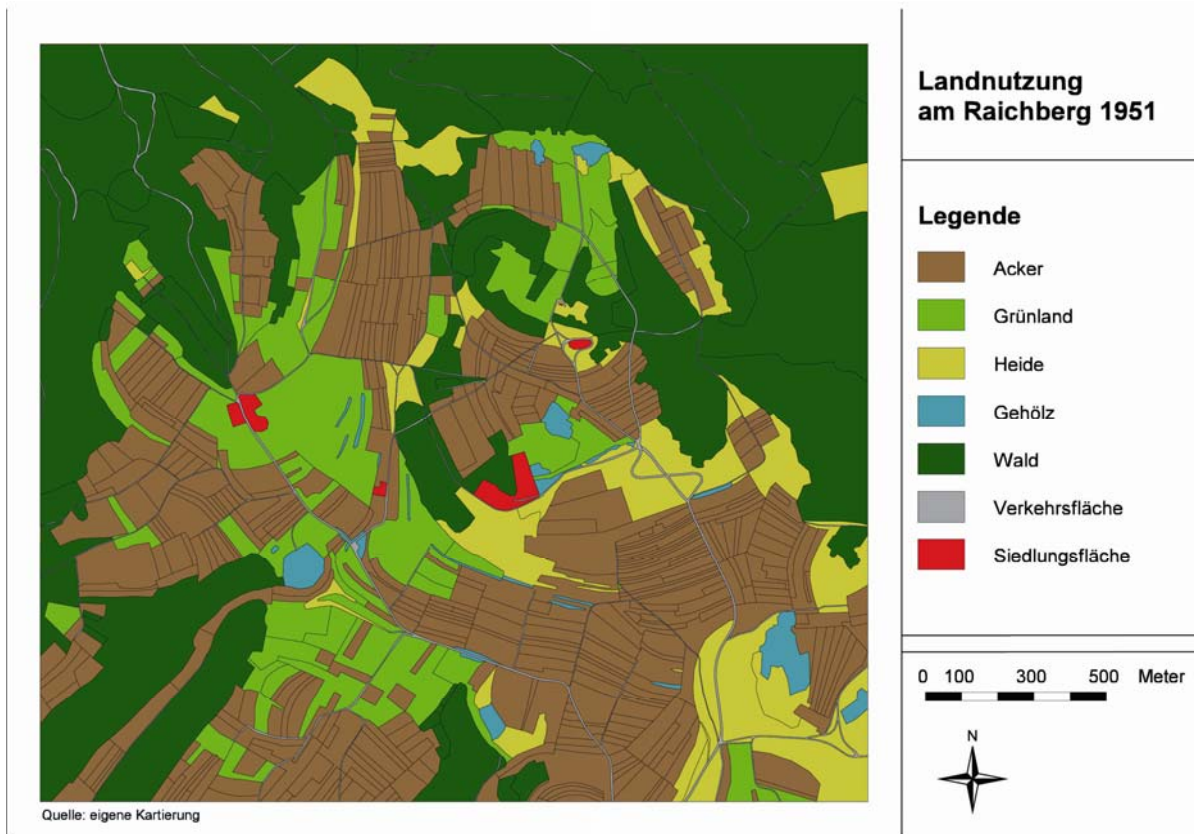


Abb. 3: Landnutzungskarte von 1951

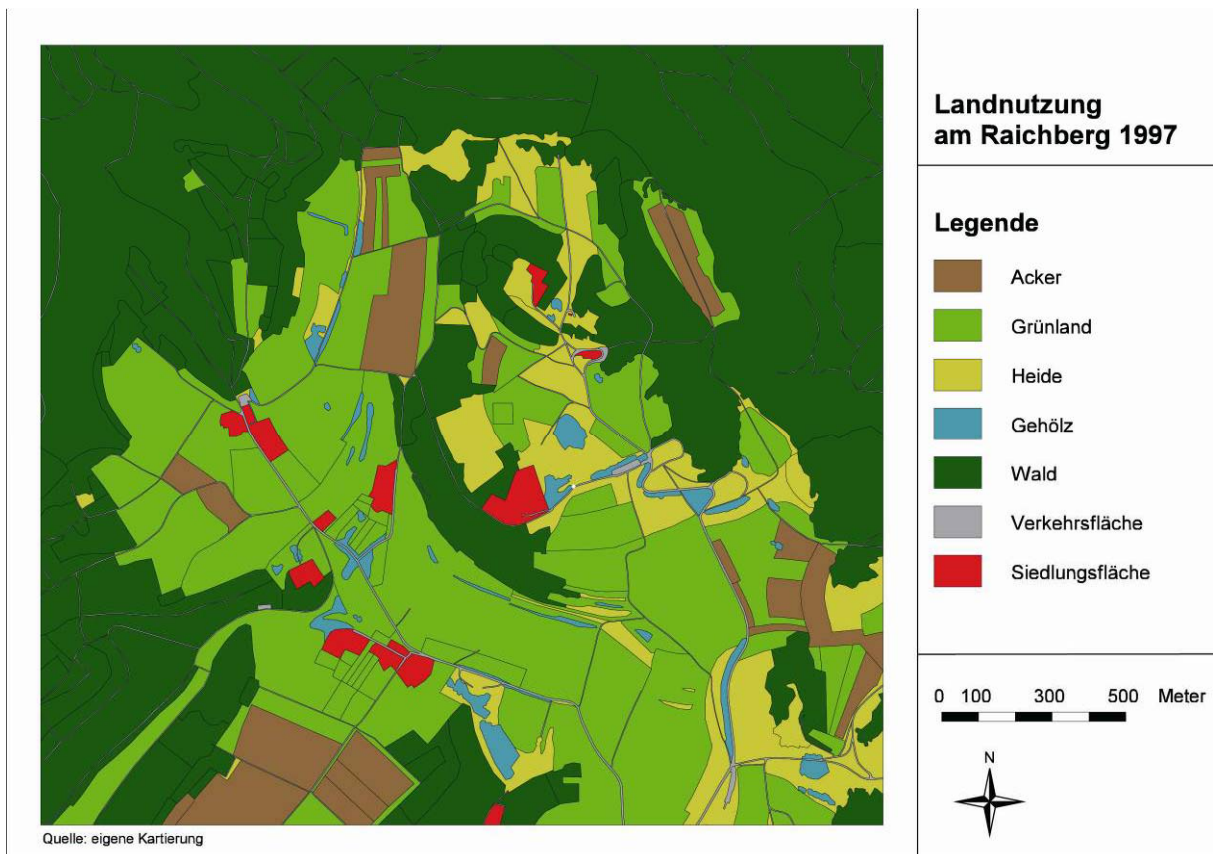


Abb. 4: Landnutzungskarte von 1997

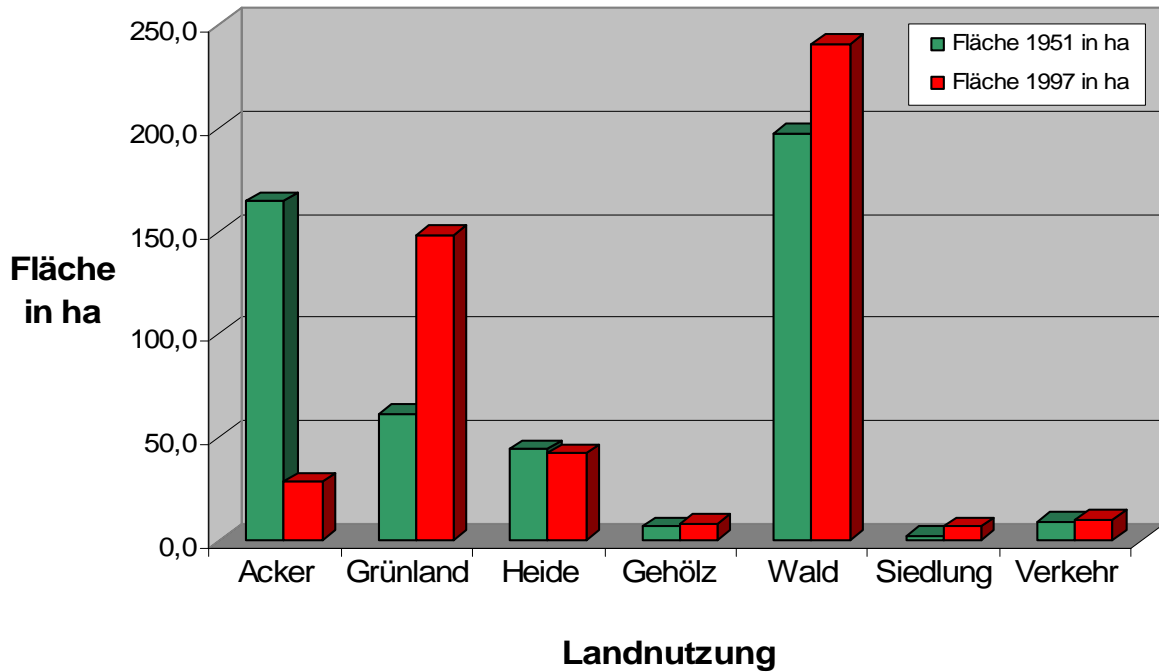


Abb. 5: Flächenanteile der Landnutzungsformen der Jahre 1951 und 1997 im Vergleich

Die als Heide kartierte Fläche ist mit einem Flächenanteil von etwa 9 % zu beiden betrachteten Zeitpunkten annähernd gleich geblieben. Allerdings haben sich räumliche Verschiebungen ergeben. Heideflächen wurden durch Sukzession zu Wald, Grünland und stellenweise Ackerflächen wurden durch Aufgabe der bisherigen Nutzung zu Heide. Der Wert der Gesamtfläche der Landschaft (TLA) hat keine Aussagekraft bezüglich der Landschaftsstruktur. Er kann zur Einschätzung der Größenordnung anderer absoluter Werte wie der Klassenfläche und der Gesamtkantenlänge benutzt werden. Manchmal geht TLA auch in die Berechnung anderer Landschaftsmaße ein.

Betrachtet man die Zahl der kartierten Patches (Abb. 6) so fällt auf, dass bei den Ackerparzellen ein Rückgang von 96 % auf nur noch 21 Patches stattgefunden hat. Neben dem starken Rückgang der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche, spiegelt sich darin auch die Vergrößerung der einzelnen Nutzungspartellen durch Flurbereinigung und eine veränderte Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe wider. Entsprechend der Tatsache, dass ein Großteil der Ackerflächen in Grünland umgewandelt wurde, hat hier die Anzahl der Patches zugenommen. Da sich auch hier die Nutzungspartellen vergrößert haben, fiel der Anstieg mit 42 % moderat aus. Interessanter ist hingegen die Zunahme der kartierten Gehölze von 29 auf 47, was einer Zunahme von 62 % entspricht. Gehölze wirken im Verhältnis zu ihrer Fläche optisch landschaftsprägend und dienen häufig als Trittsteine zur Verbindung von Waldbiotopen.

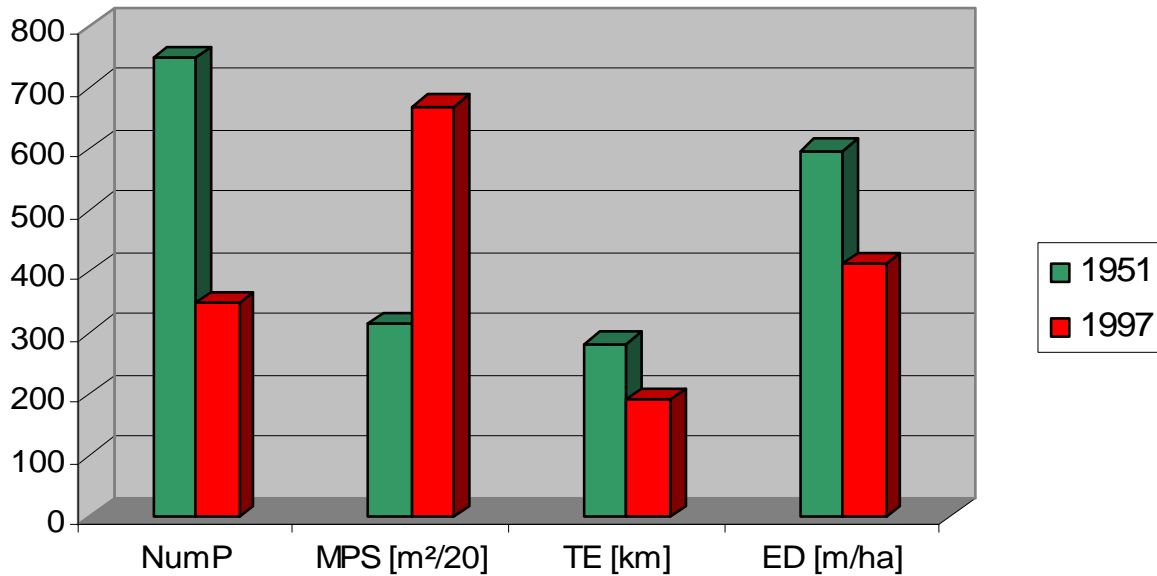


Abb. 6: Landschaftsmaße der Untersuchungsjahre im Vergleich (NumP = Number of patches, MPS = Mean patch size, TE = Total edge length, ED = Edge density)

Zur Betrachtung der Mittleren Patch Größe MPS (Abb. 6) wird die Berechnung der Landschaftsmaße auf Grundlage der Originaldaten herangezogen. Der Index MPS verfeinert die Aussage des Parameters Klassenfläche. Bei den Klassen Acker und Grünland wird der Strukturwandel der Landwirtschaft mit Trend zu größeren Nutzungsparzellen deutlich. Die Ackerflächen sind 1951 im Mittel 0,31 ha groß, 1997 schon 1,35 ha. Beim Grünland ist die Differenz nicht ganz so deutlich ausgeprägt (0,99 ha zu 1,68 ha), aber auch hier zeigt sich eine deutliche Zunahme.

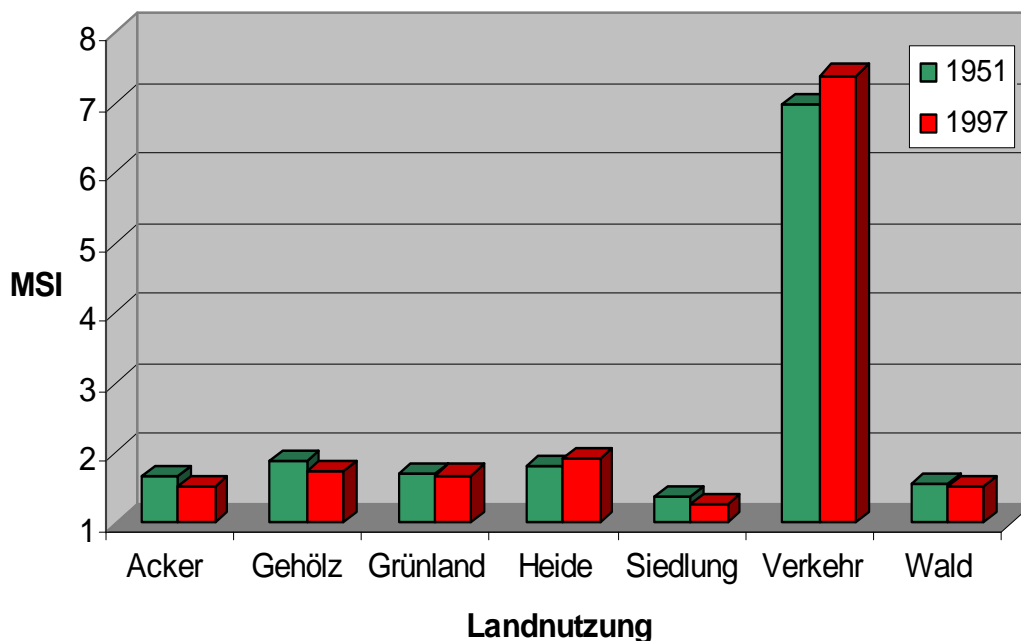


Abb. 7: MSI (Mean shape index) für die Einzelnen Landnutzungsformen in den Untersuchungs Jahren 1951 und 1997 im Vergleich

Die mittlere Gehölzfläche hat dagegen minimal von 0,23 auf 0,17 ha abgenommen. Dies ist aber nicht mit einem Rückgang der Gehölzfläche insgesamt verbunden, sondern mit einer Zunahme ihrer Anzahl. Diese neu aufgewachsenen Gebüschgruppen oder verbuschende Ackerraine sind noch relativ klein und senken daher den Mittelwert MPS.

Beim Vergleich einer Landschaft zu unterschiedlichen Zeitpunkten sind die Gesamte Kantenlänge (TE) und die Kantendichte (ED) redundant (Abb. 6). Die Hektar-bezogene Angabe ist allerdings anschaulicher und deshalb zum Vergleich besser geeignet. Der deutlichste Unterschied tritt für die Klasse Acker auf (Originaldaten). Hier reduziert sich die Grenzlänge von 327 m/ha auf nur noch 24 m/ha 1997. Durch die Zunahme der Gehölzflächen hat sich deren Grenzlänge von 14 auf 22 m/ha erhöht.

Der MSI (Mean shape index, Abb. 7) wird wieder auf Grundlage der Originaldaten betrachtet. Am niedrigsten sind die Werte für die Siedlungsflächen 1997 (1,27), ein Hinweis auf die relativ kompakte Anlage der einzelnen Höfe. Für die Ackerflächen nimmt der Formindex von 1,66 auf 1,52 im Jahr 1997 ab. Grund dafür ist das Zusammenlegen schmaler Ackerstreifen zu größeren Schlägen. Insgesamt gesehen sind die Werte von MSI recht ähnlich, mit Ausnahme der Werte für die Verkehrsflächen, die für 1997 bei etwa 7,4 liegen. In diesem Fall steht der hohe Wert nicht für eine größere Natürlichkeit. Für das Jahr 1997 betrachtet, stimmt die Regel eher: Acker (1,52), Wald (1,52), Grünland (1,68), Gehölz (1,73) und Heiden (1,92). Die Klasse Wald wird hier durch die vielen geradlinigen Begrenzungen „naturferner“.

## 5. Diskussion

Die Landschaftsmaße zeigen quantitativ an, wie sich die Landschaftsstruktur verändert hat. Wie sich diese Veränderungen auf den Landschaftshaushalt auswirken kann bislang allerdings nur qualitativ abgeschätzt werden. Die Maße können dazu dienen, diese Veränderungen zu erkennen und in ihrer Dimension einzustufen.

Allerdings birgt die Anwendung von Landschaftsmaßen auch Gefahren. LI & WU (2004) weisen auf drei wesentliche kritische Punkte hin: konzeptionelle Schwächen, inhärente Grenzen und unsachgemäße Anwendung von Landschaftsmaßen. So beschränken sich viele Landschaftsanalysen auf die reine Anwendung der Landschaftsmaße und scheitern an der Verknüpfung von Mustern und Prozessen. Auch werden Landschaftsmaße häufig angewendet ohne ihre ökologische Relevanz zu prüfen, was nicht nur die Interpretation von Ergebnissen erschwert, sondern auch zu unsinnigen Ergebnissen führen kann. Weiterhin sind viele Landschaftsmaße sehr empfindlich gegenüber Unterschieden in der räumlichen und thematischen Auflösung, so dass je nach Skala unterschiedliche Ergebnisse resultieren und Ergebnisse verschiedener Landschaftsanalysen nur selten vergleichbar sind.

Zusammenhänge zwischen Habitateignung und Patchgröße und –form z. B. konnten bisher nur für wenige Schlüsseltierarten hergestellt werden (WALZ 2001: 145). Bekannt ist hingegen, dass Ökotope mit die artenreichsten Biozönoten besitzen (RÖSER 1988: 82). Der Anteil dieser wertvollen Lebensräume in der Landschaft steigt, wenn die Grenzlinien - insbesondere die der Gehölze - nicht gerade, sondern möglichst geschwungen verlaufen. Dies kann mit den Formindizes wie MSI gemessen werden, zusätzliche Auskunft hierzu gibt die Randliniendichte ED. Flurgehölze wie Hecken und Gebüsche bieten einer Vielzahl von Tierarten Lebensraum, die ohne diese keine landwirtschaftlichen Nutzflächen besiedeln könnten. Darunter befinden sich auch etliche für die Landwirtschaft nützliche Arten (RÖSER 1988: 107). Feldgehölze dienen auch Vögeln oder räuberischen Kleinsäugetern als Stützpunkte für Streifzüge in die angrenzenden Flächen. Feldgehölze und Saumbiotope sind artenreicher als großflächige Lebensräume homogener Struktur, sie dienen als Rückzugsgebiete für Ackerbewohner, zur Überwinterung und damit auch als Basis für die Wiederbesiedlung der Ackerflächen im Frühjahr. Die Randlinien der Gehölze haben sich im Untersuchungsgebiet im Zeitraum von 1951 bis 1997 verlängert, es sind also zusätzliche Lebensräume in der Offenlandschaft entstanden. Die Werte des MSI zeigen eine Abnahme der Formkomplexität, die aber nicht mit einer Abnahme der Lebensräume einhergeht.

Neben den Hecken und vergrasten Bereichen ist auch abwechslungsreiche Feldflur von hoher Bedeutung für die Artenvielfalt. Da nie alle Ackerparzellen gleichzeitig bearbeitet werden, können reine Feldtiere bei wenig zuträglichen Bewirtschaftungsmaßnahmen in benachbarte Felder oder in angrenzende Saumbiotope ausweichen (TISCHLER 1980: 99). Ein Mosaik nicht allzu großer Felder ergibt eine hohe Grenzlängendichte und damit auch bessere Chancen, den Folgen der Feldbearbeitung auszuweichen. Bei großen Ackerparzellen steigen die zurückzulegenden Distanzen, die Wahrscheinlichkeit, passende Ausweichflächen zu finden sinkt. Die ermittelten Maßzahlen zeigen diesbezüglich eine deutliche Verschlechterung der Situation an. So hat sich die Kantendichte der Klasse Acker drastisch reduziert. Die Mittlere Patch-Größe MPS stieg im selben Zeitraum stark an, d. h. es hat eine Entmischung von Flächennutzungen stattgefunden. Das Strukturmosaik ist somit wesentlich eintöniger geworden.

Hohe Werte der Grenzliniendichte bedeuten dabei nicht zwingend eine hohe Wertigkeit der Struktur, es muss vielmehr auf die Qualität der Grenzen geachtet werden. So sind vor allem durch Verkehrswege negative Randeffekte zu erwarten. Selbst geschotterte oder asphaltierte Wirtschaftswege haben eine Isolationswirkung. Sie werden von vielen Insekten gemieden, weil sie dort ungeschützt gegenüber ihren Fress-Feinden sind (RÖSER 1988: 174). Durch eine nach Klassen getrennte Betrachtung der Kantenmaße kann man dies herausfinden.

Mit Hilfe der Landschaftsmaße kann allerdings nicht die Bewirtschaftungsintensität beurteilt werden. Sie hat neben der Landschaftsstruktur großen Einfluss auf das Artenspektrum und die Artenzahlen einer Landschaft (RÖSER 1988). Eine Intensivierung der Grünlandnutzung durch häufigere Mahd und Düngung verändert den Pflanzenbestand und damit indirekt auch das Tierartenspektrum (RÖSER 1988: 117). Die Folge ist meist ein Rückgang der  $\alpha$ - bzw. Arten-Diversität. Die Geländebegehung am Raichberg hat ergeben, dass ein Teil des Grünlandes als eingesähtes Grünland einer intensiven Nutzung unterliegt.

Der Mittlere Formindex (MSI) kann als Maß für die Natürlichkeit einer Landschaft verwendet werden (BLASCHKE 1999: 69), da die Formkomplexität prinzipiell mit Zunahme der menschlichen Einflussnahme abnimmt. Der MSI steigt mit zunehmender Irregularität der Patches an, höhere Werte stehen somit für eine höhere Natürlichkeit. Dabei muss der Natürlichkeitsgrad der betrachteten Klassen berücksichtigt werden. So weisen die Verkehrsflächen aufgrund ihres geschwungenen und netzartigen Charakters einen besonders hohen MSI-Wert auf. Will man also MSI als Indikator für die Natürlichkeit einer Landschaft verwenden, so muss man genau überlegen, welche Klassen in die Berechnung einfließen und welche nicht. Unter Ausschluss der Klassen „Verkehr“ und „Siedlung“ ergab der MSI einen leichten Rückgang der Formkomplexität. Der MSI ist also unter Berücksichtigung der Eingangsdaten gut zur Beurteilung der Formkomplexität geeignet.

Da die Maßzahlen über die Landschaftsstruktur in den meisten Fällen nur Vergleiche innerhalb des Arbeitsgebietes zulassen, bzw. keine unter identischen Bedingungen erhobenen Vergleichsdaten vorliegen, können die absoluten Werte auch nicht eingeordnet werden. Am ehesten können noch die Flächenmaße verglichen werden. So steht die deutliche Abnahme der Ackerfläche am Raichberg entgegen dem deutschlandweiten Trend einer Zunahme (HENKEL 1999: 128). Zwar hat zweifellos eine Intensivierung des Ackerbaus stattgefunden, flächenmäßig ist jedoch ein deutlicher Rückgang zugunsten einer teils intensiven, teils extensiven Grünlandwirtschaft zu verzeichnen. Was die Landschaft am Raichberg viel entscheidender geprägt hat, ist die Zunahme des Waldanteils durch Aufforstung und Sukzession. Die Zunahme der Waldflächen betrifft nicht nur den Raichberg, sondern auch die Umgebung (vgl. REGIONALVERBAND NECKAR-ALB, 1998). Im gesamten ehemaligen Landkreis Balingen (heute teilweise Zollernalbkreis) nahm der Waldanteil von 1950 bis 1978 von etwa 33 % auf 41 % zu (BIRNBACHER 1987: 31). Die Landschaftsveränderungen im Gebiet des Raichbergs sind zum allergrößten Teil auf den Struktur- und Nutzungswandel der Landwirtschaft zurückzuführen, Siedlungserweiterungen spielen nur in geringem Maße durch Aussiedlerhöfe eine Rolle. Die Wacholderheiden sind einer zunehmenden Verbuschung unterworfen, da die Schafbestandszahlen und damit die Weideintensität lange Zeit rückläufig war (vgl. BEINLICH & KLEIN 1995).

## 6. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund ständiger Veränderungen der Landschaft wurde in dieser Arbeit untersucht, ob sich ein Wandel der Landschaftsstruktur mit Hilfe von Maßzahlen der Landscape Metrics untersuchen und beurteilen lässt. Es zeigte sich, dass die Methode sehr gut zum Vergleich der Landschaftsstruktur verschiedener Zeitpunkte geeignet ist. Die in der verwendeten Software berechenbaren Landschaftsmaße konnten die Veränderungen der Landschaftsstruktur abbilden. Manche Maße sind in ihrer Aussage jedoch redundant, dafür fehlen Maße, welche die Landschaftsstruktur explizit räumlich quantifizieren. Die berechneten Indizes sind darüber hinaus nur unter bestimmten Voraussetzungen mit anderen Ergebnissen vergleichbar, die absoluten Werte sind mit Ausnahme der Flächenmaße wenig aussagekräftig. Auch wenn Beziehungen zwischen Werten der Landschaftsmaße und einzelnen Landschaftsfunktionen nicht quantifiziert werden konnten, scheint die Verwendung der Indizes in Planung und Umweltmonitoring schon heute ein sinnvoller Verwendungszweck zu sein. Bevor das hohe Potenzial der Landscape Metrics voll ausgeschöpft werden kann, müssen die Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktion besser erforscht werden.

## 7. Literatur

- BEINLICH, B. & KLEIN, W. (1995): Kalkmagerrasen und mageres Grünland: bedrohte Biotoptypen der Schwäbischen Alb.- In: Beih. Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege Bad.-Württ. **83**: 109-128.
- BIRNBACHER, H. (1987): Zollernalb.- 215 S.; Stuttgart, Aalen.
- BLASCHKE, T. (1999): Quantifizierung von Fragmentierung, Konnektivität und Biotopverbund mit GIS.- In: STROBL, J & BLASCHKE, T. [Hrsg.]: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI; 575 S.; Heidelberg.
- BLASCHKE, T. (2000): Landscape Metrics: Konzepte eines jungen Ansatzes der Landschaftsökologie und Anwendungen in Naturschutz und Landschaftsforschung.- In: Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **39** (9): 267-299.
- HENKEL, G. (1999): Der Ländliche Raum.- 383 S.; Stuttgart, Leipzig.
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie.- 676. S.; Heidelberg.
- HUTTENLOCHER, F. (1959): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 178 Sigmaringen.- Naturräumliche Gliederung Deutschlands.- 61 S.; Remagen.
- IAF/ INSTITUT FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG DER FACHHOCHSCHULE NÜRTINGEN (1996): Digitaler Landschaftsökologischer Atlas Baden-Württemberg.- Nürtingen. [CD-Rom]
- LANG, S. & BLASCHKE, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS.- Ulmer Verlag Stuttgart: 404 S.

- LAUSCH, A. (1999): Raumstrukturmaße in der Tagebaufolgelandschaft „Süd-  
raum Leipzig“ – Landschaftsmonitoring und Bewertungsansätze.- In:  
IÖR-Schriften, **29**: 77-91; Dresden.
- LI, H. & WU, J. (2004): Use and misuse of landscape indices.- Landscape Eco-  
logy **19**: 389-399.
- LÖFFLER, E. (1994): Geographie und Fernerkundung.- 2. Aufl., 243 S.; Stutt-  
gart.
- REGIONALVERBAND NECKAR-ALB [Hrsg.] (1998): Der Wald auf dem Vor-  
marsch?- 67 S.; Mössingen.
- RÖSER, B. (1988): Saum- und Kleinbiotoppe: Ökologische Funktion, wirt-  
schaftliche Bedeutung und Schutzwürdigkeit in Agrarlandschaften.- 258  
S.; Landsberg/Lech.
- SCHMIDT-KRAEPELIN, E. & SCHNEIDER, S. (1966): Luftbildinterpretation in der  
Agrarlandschaft.- 156 S.; Bad Godesberg.
- SCHUMACHER, U. & WALZ, U. (1999): Landschaftsbewertung unter struktur-  
analytischen Gesichtspunkten mit GIS am Beispiel des Kartenblattes  
Plauen.- In: WALZ, U. [Hrsg.] (1999): Erfassung und Bewertung der  
Landschaftsstruktur.- IÖR-Schriften, **29**: 107-120; Dresden.
- STEINER, D. (1961): Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpreta-  
tion auf panchromatischen Luftbildern.- 81 S.; Bad Godesberg.
- STEINHARRDT, U. & VOLK, M. [Hrsg.] (1999): Regionalisierung in der  
Landschaftsökologie.- 400 S.; Stuttgart, Leipzig.
- TISCHLER, W. (1980): Biologie der Kulturlandschaft.- 253 S., Stuttgart, New  
York.
- WALZ, U. (2001): Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der  
Satelliten-Fernerkundung und der Geoinformatik.- 204 S.; Berlin.

### **Adressen der Autoren:**

Dipl.-Geogr. Peter von Schnakenburg  
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Geographie  
Kochstr. 4/4, D - 91054 Erlangen

Tel.: ++49 (0)9131/85 22016

Fax: ++49 (0)9131/85 22013

E-mail: pvons@web.de

Priv. Doz. Dr. Klaus Schmieder  
Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie (320)  
August-von-Hartmann Str. 3, D – 70593 Stuttgart

Tel. +49 (0)711/459 23608

Fax +49 (0)711/459 22831

E-mail: schmied@uni-hohenheim.de