

Schritte zu einer zielorientierten Strukturanalyse im Natura2000-Kontext mit GIS

Stefan LANG, Tobias LANGANKE, Thomas BLASCHKE und Hermann KLUG

Zusammenfassung

Integrierte GIS/Fernerkundungssysteme leisten heute einen wesentlichen Beitrag für teil-automatisierte Überwachungs- und Monitoringaufgaben, wie die Umsetzung des Natura2000-Netzwerkes. Strukturelle Indikatoren sollen auf Grundlage von Landschaftsstrukturmaßen dieses Monitoring unterstützen. Es existiert eine Vielzahl solcher Maße, die in einer GIS-Umgebung implementiert sind. Die wissenschaftliche Herausforderung liegt darin, diese zunächst wertfreien Zahlen als Indikatoren zu verwenden. Dieser Beitrag untersucht das Potenzial aktueller GIS-Umgebungen im Hinblick auf eine quantitative Beschreibung der Landschaftsstruktur und der Analyse von Veränderungen im Hinblick auf spezifische Schutzziele.

Anforderungen durch die Natura2000-Konzeption

Im Zuge der Nachhaltigkeitsdebatte und der Harmonisierungsbestrebungen innerhalb des europäischen Naturschutzes steht zunehmend die Forderung nach objektivierbaren, transparenten und standardisierten Bewertungs- und Analyseverfahren im Mittelpunkt. Gerade die Zielvorstellung der Errichtung eines europaweiten Netzwerkes aus Schutzgebieten zur Umsetzung der Natura2000-Konzeption und speziell die Monitoring- und Berichtspflicht stellen hohe Anforderungen an die Entwicklung standardisierter und harmonisierter Verfahren. Die im Natura2000-Kontext geforderten Monitoringaufgaben sind als zusätzliche Verpflichtungen unter den gegebenen Auflagen finanziell und personell kaum durchführbar, vor allem wenn sie durch herkömmliche Arten der terrestrischen Erhebung und/oder der manuellen Luftbildinterpretation geleistet werden müssen (Rückriem und Roscher, 1999). Die verstärkte Nutzung hochauflösender Sensoren wird daher entscheidend sein, um zu praktikablen und finanziell leistbaren Methoden des Monitorings zu gelangen.

Veränderungsindikation durch strukturelle Indikatoren

Zur Veränderungsindikation und -evaluation ist ein multipler Indikator-Ansatz zielführend, wie er in dem EU-Projekt SPIN (Spatial Indicators for European Nature Conservation) verfolgt wird. Dabei wird die Entwicklung eines spezifischen Sets an relevanten strukturellen Indikatoren sowie funktionalen- und Biodiversitätsindikatoren angestrebt, um entscheidende Zustandsparameter möglichst umfassend zu beschreiben.

Bei der Zustandsbeschreibung und Veränderungsanalyse in den zu überwachenden Gebieten mittels struktureller Indikatoren werden Konzepte zur quantitativen Erfassung der (landschafts-)strukturellen Gegebenheiten praktisch umgesetzt. Räumliche Beziehungen zwischen Landschaftselementen können mit Methoden der Geografischen Informationsverarbeitung analysiert und darauf aufbauend die spezifische Konfiguration beschrieben wer-

den. Eine Vielzahl möglicher Maßzahlen und Kennziffern zur Landschaftsstrukturanalyse stehen prinzipiell zur Indikatorenentwicklung zur Verfügung. Bei der Aufwertung räumlicher Zustandsparameter zu strukturellen Indikatoren ist es entscheidend, vor dem Hintergrund spezifischer Schutzziele eine Auswahl von Maßzahlen zu treffen. Diese müssen leistungsfähig in Bezug auf die Überwachung der entsprechenden Zielvorstellung oder des Entwicklungsziels sein. Für den Einsatz solcher Maßzahlen als Indikatoren in einem breiten anwendungsbezogenen Kontext, wie dem Monitoring von Natura2000-Gebieten, liegen derzeit noch keine verbindlichen Richtlinien vor, nicht zuletzt aufgrund der noch mangelnden Kenntnis über die Eignung von Maßzahlen zum Monitoring bestimmter Schutzziele. Es wird daher im Rahmen des SPIN-Projektes ein Ansatz erarbeitet, der die Vielzahl der prinzipiell bereitstehenden Landschaftsstrukturmaße mit Schutzziele (*conservation goals*) verbindet. Potenzielle Maßzahlen werden in der MS-ACCESS basierten Datenbank IDEFIX (**I**ndicator **D**atabase for **S**cientific **E**xchange) implementiert und stehen einem breiten Publikum zur Verfügung. Die Kopplung der Datenbank an eine ArcGIS-Umgebung ermöglicht den Zugriff und die kontrollierte Anwendung der Maßzahlen. Der Ablauf vom Index zum Indikator wird in Abbildung 1 skizziert.

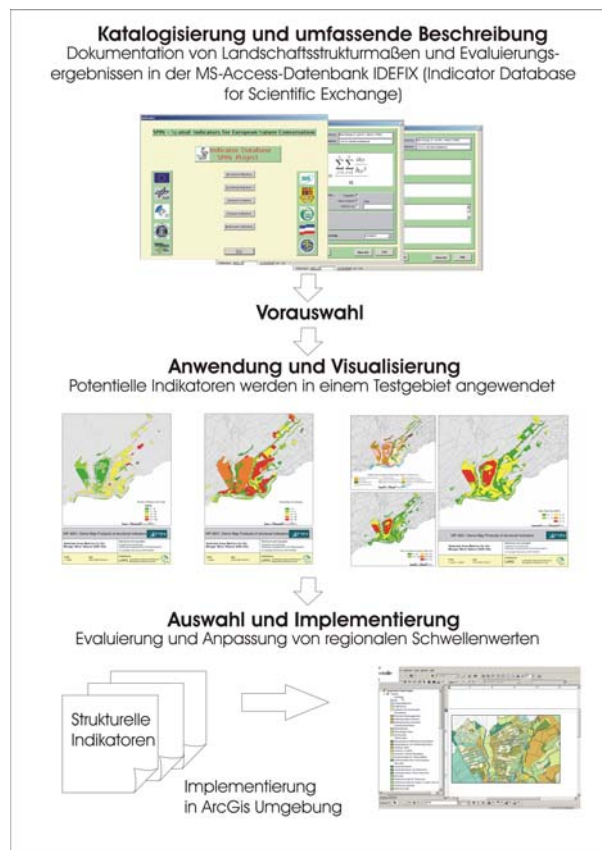


Abb. 1: Vom Landschaftsstrukturmaß zum strukturellen Indikator

1 Operationalisierung von strukturbezogene Beurteilungskriterien in einer integrierten GIS/Fernerkundungsumgebung

Viele der fachlich-konzeptionellen Entwicklungen und Erkenntnisse des Naturschutzes lassen sich heute technisch umsetzen. Zur Unterstützung eines strukturbezogenen Monitorings von den in den Anhängen der FFH-Richtlinie aufgeführten Habitats und Lebensraumtypen besteht derzeit eine starke Diskrepanz zwischen der Vielzahl prinzipiell einzusetzender Maßzahlen und de facto etablierten Indikatoren. Der Selektionsprozess, der einige wenige Maßzahlen zu Indikatoren aufwerten soll, basiert auf einem Mapping verfügbarer *metrics* auf konkrete Schutzziele. Das im Allgemeinen als „Erhalt“ und/oder „Entwicklung“ formulierte Oberziel kann kaum direkt durch eine bestimmte Maßzahl ausgedrückt werden, vielmehr müssen konkretere Fragestellungen formuliert werden, die durch die Zuordnung von geeigneten Maßzahlen parametrisierbar sind. Einfache geometrische Beschreibungsgrößen wie Fläche, Umfang oder Distanz können dabei mit Basisoperationen relativ leicht ermittelt und kombiniert werden. Konzepte wie Nähe, Fragmentierung, Diversität, Isolation, lassen sich schwieriger abbilden, weil durch konzeptionelle Unschärfen (wie z.B. „Fragmentierung“ quantitativ bewertet werden soll) bei der konkreten Implementierung der Maßzahlen in Softwareprodukten, Probleme auftreten.

1.1 Landscape Metrics – die Toolbox zur quantitativen Landschaftsstrukturbeschreibung

Der nordamerikanische Ansatz der *landscape ecology* nach Forman and Godron (1986) bzw. Forman (1995), der die Grundkomponenten Funktion, Struktur und Veränderung in der Landschaft hervorhebt, hat zahlreiche Landschaftsstrukturmaße hervorgebracht, von denen ca. 200 in der Software FRAGSTATS und verwandten Produkten implementiert sind. Diese Maßzahlen beschreiben zunächst neutral die Formcharakteristik und die Zusammensetzung von Landschaftselementen (*patches*), sowie deren spezifische räumliche Anordnung (Konfiguration). Daraus sind Rückschlüsse auf funktionale Eigenschaften (Forman, 1995) möglich. Durch die Analyse der raum-zeitlichen Variabilität der gemessenen Parameter lässt sich Landschaftsveränderung und -dynamik beobachten (Blaschke 2000, 2002).

Strukturbeschreibende Indizes werden über wissenschaftliche Grundlagenstudien hinaus immer häufiger operationell angewandt (Blaschke 2001). Die entscheidende Frage zur Verwendbarkeit eines Index ist, ob die Variabilität der Werte wirklich aufgrund des spezifischen *landscape pattern* zustande kommt, oder aber weit mehr aufgrund von Biases durch den Betrachtungsmaßstab (*scale*), die Wahl des Untersuchungsgebietes (*extent*), und die thematische Auflösung (Klassenanzahl).

1.2 „Fläche“ als de-facto Indikator

Die an sich triviale Erkenntnis, dass eine größere Fläche auch potenziell mehr Arten beherbergt, gewinnt durch die Ableitung eines *minimum area point* (Forman, 1995) für bestimmte Artengruppen an Bedeutung. Dieser markiert die Habitatgröße, bei der unter vergleichbaren Bedingungen die maximale Artenzahl erreicht wird. Darüber hinaus ist das Vorhandensein einer bestimmten Mindestfläche entscheidende Voraussetzung für die Beherber-

gung einer Mindestanzahl an Individuen einer Art, die das Fortbestehen dieser garantiert (*minimum viable population size*, MVP).

Die Ermittlung der Flächengröße ist immer noch *das* grundlegende Instrument zur Beurteilung von Flächenentwicklung und Veränderungsanalyse. Im Rahmen einer räumlich-strukturellen Untersuchung wird z.B. bei Rückriem und Roscher, 1999, nur die Ab- oder Zunahme von Flächen als ein struktureller Indikator eingesetzt. Oft wird allerdings nicht einmal von absoluten Flächengrößen, sondern von relativen Anteilen ausgegangen (z.B. Abnahme um 10% geduldet). Die reine Flächengröße ist nach heutigen Gesichtspunkten in Bezug auf Habitatansprüche von bestimmten Tierarten und/oder einer funktionalen Leistungsfähigkeit eines bestimmten Habitattyps nicht mehr ausreichend, entspricht aber dafür der eher verwaltungstechnisch motivierten Konzeption.

Methodisch gesehen ist die Flächenberechnung auch eine der unbestrittensten Maßzahlen innerhalb der *landscape metrics*, da die Fläche im Rasteransatz ohnehin inhärent vorliegt und im Vektor-Ansatz entweder als Pflichtattribut mitgeliefert wird oder aber leicht berechnet werden kann. Allerdings können selbst hier geringe Abweichungen zwischen Softwarelösungen auftreten. Der Unterschied zwischen Vektor- und Rasterrepräsentation ist gering, solange die Zellweite bei der Rasterung nicht zu grob gewählt wird, sodass kleinere Flächen verschwinden und so die Anzahl negativ beeinflusst wird.

Zur flächenbezogenen Analyse der Ab- oder Zunahme von bestimmten Habitaten an der Gesamtfläche (z.B. bei der Zielvorgabe Abnahme höchstens 10%) eignet sich z.B. PLAND (*percentage of landscape*, McGarigal, 2001). Der *mean patch size*-Index (MPS) erfasst die durchschnittliche Flächengröße und kann näher spezifiziert werden durch den *largest patch index* (LPI).

1.3 Kern- und Ökotonflächenanalyse

Die Übergangszone zwischen zwei Habitaten ist meist keine harte Grenze, sondern ein weicher Übergangsbereich (Ökoton) mit spezifischen Standortbedingungen (z.B. Windwirkung oder Sonneneinstrahlung) und einem speziellen Artenspektrum (*edge-effect*). Randbereiche (Ökotone) gelten als „*biological cornucopias*“ (FORMAN, 1995), da sie sich durch eine hohe Diversität und Individuendichte auszeichnen. Verschiedene Arten zeichnen sich entweder aus als *edge species*, die den Randbereich, oder *interior species*, die den Habitattinnenraum bevorzugen. Die Anwendung eines ‚negativen‘ Buffers generiert den unter Abzug des durch den *edge*-Effekt beeinflussten Randbereichs verbleibenden Innenbereich (*interior* oder *core area*). Die für Innenraumspezialisten effektiv nutzbaren Restflächen sind meist bedeutend geringer als die Ausgangsflächen. Dieser Sachverhalt spielt auch eine entscheidende Rolle bei der Beurteilung von Auswirkungen der Fragmentierung. Durch die Maßzahlen TCA (gesamte Kernfläche) und NDCA (Anzahl der getrennten Kernfläche pro Ausgangshabitat) kann die Abnahme der effektiven Innenfläche beurteilt werden. Bei Ökotonpezialisten, die am Kontaktsaum angrenzender Habitate leben, muss zusätzlich die Qualität des Nachbarhabitats berücksichtigt werden, z.B. über die Analyse des Kontrasts in der ökologischen Wertigkeit.

1.4 Formindikation

Eine mögliche Ergänzung zur Flächenbetrachtung ist die Charakterisierung der Form von *patches*. Diese kann u.a. erfolgen durch:

- a) Das Flächen-Randlinien-Verhältnis (*interior-edge-ratio*): Das absolute Verhältnis steigt mit der Flächengröße eines *patches*. Kleine *patches* mit einer relativ langen Grenzlinie weisen folglich eine niedrige relative, wie auch absolute *interior-edge-ratio* auf. Die Form eines *patches* kann in standardisierter Form als Grad der Abweichung von dem Flächen-Randlinien-Verhältnis des Kreises charakterisiert werden.
- b) Die Gestalt und Komplexität der Randlinie (*curvilinearity*): Ein populäres Maß ist die Fraktale Dimension. Ihr Vorteil liegt in der Unabhängigkeit von absoluten Größen. Ein Problem tritt allerdings auf, wenn die absolute zugrunde liegende Fläche kleiner als 1 ist (z.B. 0.3 m²);
- c) das Verhältnis und die Ausrichtung von Achsen (etwa von umschreibenden Ellipsen);
- d) das Inkreis-/Umkreis-Verhältnis.

1.5 Vernetzungsgrad versus Isoliertheit

Die Vernetzung von Habitaten, also die über bestimmte Distanzen bedingte Konnektivität, ist vor allem aus der Sicht der Metapopulationstheorie von zentraler Bedeutung. Konnektivität ist ein Maß für das Potenzial für Untergruppen einer Tierart, die durch Austausch eine funktionale demographische Einheit bilden können. Aber auch ungeachtet des Austauschs unter Subpopulationen ist *animal dispersal*, das nach seiner räumlichen Erstreckung verschiedenen Ebenen zuzuordnen ist, ein bedeutender ökologischer Faktor. Viele Bewegungen geschehen über ein bestimmtes Mosaik an *patches* hinweg.

Fragmentierung, das Negativ-Bild der Konnektivität, bezeichnet analog zu den Synonymen ‚Zerschneidung‘ oder ‚Verinselung‘ die Verkleinerung wie auch Zerteilung größerer, zusammenhängender *patches*. Bezugnehmend auf die vorangegangenen Diskussionen über Mindestflächen, *edge*-Effekte, und MVP ergeben sich wesentliche ökologische Konsequenzen als direkte oder indirekte Folgen der Fragmentierung. Während die *inter-patch* Distanzen zunehmen, nehmen *patch size*, *core area*, *interior-to-edge ratio* und die Konnektivität ab mit negativen Auswirkungen auf die Metapopulation und Artenzahl.

Konzepte wie Nähe oder Eingebundensein lassen sich vereinfachend über Flächen-Distanz-Verhältnisse abbilden. Flächenbasierte Distanzindizes werden im Bereich der *landscape metrics* unter der Bezeichnung *Proximity Indexes* subsummiert. Diese dienen der Unterscheidung relativ isolierter Habitatflächen von solchen, die in eine Konfiguration aus mehreren *patches* desselben Habitattyps eingebunden sind.

1.6 Struktureichtum vs. Zerschneidung

Generell wird davon ausgegangen, dass Struktureichtum im Vergleich zu einer relativ monotonen Landschaft („Agrarsteppe“) als ökologisch positiv zu bewerten ist. Über die Bestimmung der Grenzliniendichte ED (*edge density*) bzw. der Gesamtlänge der Grenzlinien im Untersuchungsgebiet TE (*total edge*) kann die Heterogenität eines Landschaftsausschnittes beurteilt werden. Aufgrund der bestehenden Dichotomie zwischen Struktureichtum und Zerschneidung muss beim Einsatz von Maßzahlen als Indikator vor reinem ‚Linienzählen‘ gewarnt werden (Blaschke, 2001). Deshalb sollte die Qualität der Linien auf jeden Fall berücksichtigt werden. Ein GIS-methodisches Problem ist ferner darin zu sehen, dass nur in einer streng-topologischen Vektorumgebung Linien einzeln gezählt werden, in anderen Datenformaten (z.B. ArcView-Shapefile) werden Linien durch die Speicherung von Polygonen letztlich doppelt gezählt.

1.7 Aggregationsgrad und Diversität der Habitattypen

Methoden der Adjazenz- bzw. Nachbarschaftsanalyse lassen Rückschlüsse auf die räumliche Aggregation bestimmter Habitattypen zu. Darüber hinaus kann z.B. der Kontrast in der ökologischen Wertigkeit beurteilt werden. Der durchaus umstrittene Contagion-Index gibt den ‚Klumpungsgrad‘ an. Die auf der Informationstheorie von Shannon basierenden Diversitätsindizes (Richness, Diversity, Dominance und Evenness) untersuchen den Informationsgehalt eines Untersuchungsgebietes im Hinblick auf den Anteil von Habitattypen. Da die Anordnung dieser nicht entscheidend ist, sondern nur der Flächenanteil einfließt, beschreiben diese Art von Indizes die Komposition, nicht aber die Konfiguration einer Landschaft. Sie werden auch als räumlich implizit bezeichnet. Bei bekannten Flächenanteilen können die Werte für diese Gruppe von Indizes leicht in einem Tabellenkalkulationsprogramm berechnet werden.

2 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein grundlegendes wissenschaftliches Problem tritt auch im vorliegenden Artikel zu tage: Die GIS-Technologie ist so vielfältig, dass sie für den Fachanwender auf wenige vordefinierte Methoden eingeschränkt werden muss, was andererseits Theorien und Konzepte erfordert. Es konnte zum wiederholten Male gezeigt werden, dass prinzipiell Landschaftsstrukturmaße als strukturelle Indikatoren genutzt werden können. Die Herausforderung liegt nun in der Bereitstellung und Implementierung der Indikatoren in einer benutzerfreundlichen GIS/Fernerkundungs-Umgebung. Während in Fernerkundungspublikationen eher zu lesen ist, dass die verstärkte Nutzung hochauflösender Sensoren entscheidend sein wird, zu praktikablen (und bezahlbaren) Monitoring-Konzepten zu gelangen, halten die Autoren dies nur für *eine* wichtige Voraussetzung, die alleine das Problem jedoch nicht löst.

3 Literaturverzeichnis

- BLASCHKE, T. (2000): Landscape metrics: Konzepte eines jungen Ansatzes der Landschaftsökologie im Naturschutz. – In: Archiv für Naturschutz & Landschaftsforschung, H. 9, S. 267–299.
- FORMAN, R.T.T. UND M. GODRON (1986): Landscape Ecology, New York.
- LANG, S. (2002): Zur Anwendung des Hierarchykonzeptes bei der Generierung regionalisierter Segmentierungsebenen in höchst-auflösenden Bilddaten. – In: Blaschke, T. (Hrsg), Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden, Heidelberg, S. 24-33.
- MCGARIGAL, K. (2001), Fragstats Documentation, part 3 (Fragstats Metrics). http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html
- RÜCKRIEM, C. UND S. ROSCHER (1999): Empfehlungen zur Umsetzung der Berichtspflicht gemäß Artikel 17 der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, Angewandte Landschaftsökologie, Heft 22, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- WEIERS, S. (1999): Monitoring und Bewertung von Landschafts- und Biotopveränderungen in Schleswig-Holstein und Dänemark mit Methoden der Satellitenfernerkundung. - In:

Blaschke, T. (Hrsg.): Umweltmonitoring und Umweltmodellierung. GIS und Fernerkundung als Werkzeuge einer nachhaltigen Entwicklung, Heidelberg, S. 83-90.