

# Aufgaben und Grenzen von Messgrößen für die Landschaftsstruktur – das Beispiel Zersiedelung

*Jochen Jaeger und René Bertiller*

## Aufgaben von Landschaftsmassen

Sind Landschaftsqualitäten quantitativ erfassbar? Dieser Frage nähert sich unser Beitrag dadurch, dass er einen Überblick über Landschaftsmasse gibt und ihre Aufgaben und Grenzen darstellt. Der Beitrag zeichnet die Entwicklung eines neuen Landschaftsmasses für die Zersiedelung (Abb. 1) nach und gibt aufgrund der dabei gewonnenen Erfahrungen eine Einschätzung zur Ausgangsfrage.

Landschaftsmasse oder Landschaftsindizes (*landscape metrics*) sind primär nicht dafür entwickelt worden, Landschaftsqualitäten zu messen, sondern um die Struktur bzw. das Muster von Landschaften zu messen und einer quantitativen Analyse zugänglich zu machen. Dabei stehen die landschaftsökologischen Fragen im Vordergrund, welchen Einfluss die Struktur von Landschaften auf die Prozesse hat, die in diesen Landschaften ablaufen, und welche Gesetzmässigkeiten hier bestehen (z. B. Turner 1989). Umgekehrt beeinflussen die ablaufenden Prozesse die Herausbildung und die zeitliche Veränderung von Landschaftsstrukturen. Die Landschaftsstruktur umfasst dabei zwei Aspekte: (1) die Zusammensetzung (*composition*) der Landschaft, d. h. welche Landschaftselemente es gibt und wie viel von jedem dieser Landschaftselemente vorhanden ist, und (2) die Konfiguration oder räumliche Anordnung (*configuration*) dieser Landschaftselemente (bei gleichbleibender Zusammensetzung). Diese Aufteilung ist

### Schlüsselwörter

Eignungskriterien  
für Landschaftsmasse  
Landschaftsindizes  
Landschaftsstruktur  
Quantifizierung  
Umweltmonitoring  
Umweltqualitätsziele  
Zersiedelung



**Abb. 1: Zer-siedelte (und strukturell verarmte) Landschaft im Schweizer Mittelland (Foto: J. Jaeger).**

heute im nordamerikanischen Ansatz der *landscape ecology* vorherrschend und gewinnt derzeit weltweit an Interesse (Forman 1995). Zunehmend interessieren sich Wissenschaftler auch dafür, ob sich qualitative Eigenschaften von Landschaften (z.B. Schönheit, Ungestörtheit) ebenfalls mit Landschaftsstrukturmassen beschreiben lassen.

Qualitative und quantitative Untersuchungsmethoden werden oft als gegensätzliche Zugangsweisen empfunden, die sich nur schwer miteinander verbinden lassen. Die Unterscheidung von *Qualität* und *Quantität* wurde in der Philosophie thematisiert, insbesondere auch das «Gesetz vom Umschlagen quantitativer Veränderungen in qualitative» (z.B. Wolters 1995). Qualitative und quantitative Untersuchungsmethoden haben ihre eigenen Vor- und Nachteile, die z.B. in der empirischen Sozialfor-

schaftung gut bekannt sind (z. B. Lamnek 1998), und je nach Untersuchungszweck eignet sich der eine oder der andere Methodentyp oder eine Kombination von beiden am besten. Qualitative und quantitative Aussagen müssen einander dabei nicht unüberbrückbar gegenüberstehen, sondern ergänzen einander und haben enge Verbindungen. So untersucht beispielsweise die Mathematik sowohl quantitative als auch qualitative Eigenschaften mathematischer Objekte; z. B. analysiert und formalisiert die Topologie qualitative Aspekte, d. h. die relative räumliche Lage von Flächen und Linien zueinander (im Gegensatz zur Geometrie, die u. a. Größenverhältnisse von Linien und Flächen misst). Grundlegend für wissenschaftliches Arbeiten sind die Suche nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden und das Treffen von neuen Unterscheidungen. Diesem Zweck dienen sowohl qualitative als auch quantitative Methoden. Der grösste Lösungsbeitrag für heutige Umweltprobleme lässt sich daher aus der Verbindung qualitativer und quantitativer Aussagen erhoffen.

Die Quantifizierung der Landschaftsstruktur hat zum Ziel, die Nachprüfbarkeit von Beobachtungen darüber, wie stark sich Landschaften strukturell verändert haben, und die Transparenz von Argumenten zu erhöhen. Aussagen über das Landschaftsmuster sollen konkretisiert und differenziert werden. Manche Begriffe können durch den Versuch, sie zu quantifizieren, geschärft werden. Die Quantifizierung unterstützt somit qualitative Überlegungen – im Sinne einer Schärfung, Klärung, Differenzierung. Der grösste Vorteil quantitativer Ansätze besteht darin, dass leistungsfähige statistische Auswertungsmethoden anwendbar sind, z. B. über den Grad der Korrelationen mit mutmasslichen Auswirkungen bestimmter Landschaftsstrukturen. Eine quantitative Bestimmung der Landschaftsstruktur erhöht die Nachprüfbarkeit von Zielfestlegungen zum Schutz von Landschaften, damit unterstützt sie die Umsetzung eines Umweltqualitätszieles. Im Einzelnen trägt die quantitative Erfassung der Landschaftsstruktur zu den in Tabelle 1 aufgelisteten Zielen bei.

Um diese Aufgaben erfüllen zu können, müssen Landschaftsmasse eine Reihe von Anforderungen erfüllen (Tab. 2).

### Überblick: Welche Landschaftsmasse gibt es?

Die Aufgabe von Landschaftsstrukturmassen besteht nicht darin, möglichst viele Daten über Struktureigenschaften einer Landschaft bereitzustellen, sondern die für einen bestimmten Aspekt relevanten Strukturinfor-

mationen so zusammenzuführen, dass sie Landschaftsmuster nach möglichst wenigen und voneinander möglichst unabhängigen Dimensionen in möglichst anschaulich interpretierbarer Weise treffend kennzeichnen, d.h. dass sie Unterschiede zwischen den Mustern, die in einer bestimmten Hinsicht wesentlich sind, erfassen.

#### Ziele der quantitativen Erfassung

1. Vergleich verschiedener Landschaften hinsichtlich bestimmter Aspekte
2. Dokumentation von Veränderungen über längere Zeiträume, z.B. für Zeitreihen von Umweltindikatoren für das Umweltmonitoring, insbesondere für kumulative Veränderungen durch eine Vielzahl von kleinen Eingriffen, Identifikation von Trends und Trendänderungen
3. Bilanzierung der Wirkungen von Eingriffen und Ausgleichsmassnahmen hinsichtlich der Landschaftsstruktur
4. Festsetzung von Richt- und Höchstwerten für die Veränderung der Landschaftsstruktur (Ausmass und Geschwindigkeit)
5. Bestimmung der «Reichweite» von strukturellen Veränderungen im Sinne einer «strukturellen Eingriffstiefe» als Mass für ihre potenzielle Erheblichkeit (für die Eingriffsbewertung)
6. Aufdecken von Zusammenhängen zwischen Strukturen und Funktionen der Landschaft (z.B. Korrelationen zwischen Landschaftsstruktur und Artenspektrum), Formalisierung von naturgesetzlichen Zusammenhängen, Analyse von kritischen strukturellen Veränderungen
7. Beurteilung der Umweltgefährdung aufgrund der «zivilisatorisch-technischen Durchdringung der Landschaft» (Ewald 1978), Formulierung normativ relevanter Strukturindikatoren

Wichtig ist dabei, dass Strukturveränderungen raumwirksam sein können, d.h. sie sind nicht nur lokal von Bedeutung, sondern können räumliche Bezüge über grosse Abstände hinweg verändern. So wirken sich beispielsweise Hindernisse auf alle Wege aus, die weit entfernt gelegene Orte miteinander verbinden und am Ort eines Hindernisses verlaufen, d.h. durch die Hindernisse unterbrochen oder durch Umgehen der Hindernisse verlängert werden.

Konkrete Eigenschaften des Landschaftsmusters, die durch Landschaftsmasse gekennzeichnet werden können, sind beispielsweise:

- Zahl und Grössen der Flächen eines bestimmten Typs, z.B. der Waldflächen;
- Nachbarschaftsverhältnisse, Anordnung der Flächen zueinander (Distanzen, Isolation);
- Form (Gestalt) der Flächen und andere Flächenqualitäten;
- Trennstärken der Infrastrukturanlagen;
- Vernetzung von Lebensräumen, Biotopverbund.

**Tab. 1: Ziele der quantitativen Erfassung der Landschaftsstruktur.**

**Anforderungen**

1. Nachvollziehbarkeit und Anschaulichkeit ihrer Definition und Berechnung
2. Korrektheit, Wohldefiniertheit und zuverlässige Reproduzierbarkeit der Mess- und Berechnungsergebnisse
3. Wiedergabe struktureller Eigenschaften der Landschaft, die in bestimmter Hinsicht relevant sind (z.B. ökologisch oder ästhetisch)
4. Monotonie hinsichtlich einer zunehmenden Ausprägung der berücksichtigten Struktureigenschaften, d.h. eine Zunahme der gemessenen Eigenschaften sollten die Masse konsistent durch einen monoton steigenden (oder sinkenden) Wert wiedergeben
5. Stetigkeit der Messwerte bei kontinuierlichen Veränderungen des Landschaftsmusters
6. Effizienz und Praktikabilität: begrenzter Aufwand für Erhebung und Verarbeitung der Daten bei möglichst grosser Aussagekraft relevanter Strukturindikatoren

**Tab. 2: Anforderungen an Landschaftsmasse.**

Einfache Beispiele für Landschaftsmasse sind der Flächeninhalt und der Umfang von Flächen, die Grösse der Kernfläche («core area»), die vom Rand der Fläche einen bestimmten Mindestabstand hat, und der Abstand zur nächstgelegenen Fläche gleichen Typs.

Es gibt in der Literatur weit über 100 verschiedene Landschaftsmasse (z.B. Forman & Godron 1986, O'Neill et al. 1988, Turner & Gardner 1991, Lausch & Herzog 2002). Sie lassen sich in drei Gruppen einteilen (McGarigal & Marks 1995): (a) Patch-Masse, die sich auf eine einzelne Fläche («patch») beziehen, (b) Class-Masse, die sich auf alle Flächen einer bestimmten Art («class») beziehen, und (c) Landscape-Masse, die sich auf alle Flächen in einer Landschaft beziehen. Mehrere Masse können in allen drei Formen sinnvoll sein. Ein Beispiel dafür ist der Shape Index bzw. Mean Shape Index. Er ist für einen Patch definiert als der Quotient aus Patchumfang (in m) und der Wurzel aus der Fläche des Patches (in m<sup>2</sup>), d.h.

$$SHAPE_{ij} = \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}},$$

wobei  $p_{ij}$  den Umfang und  $a_{ij}$  die Fläche des Patches bezeichnet ( $i$  ist der Flächentyp des Patches und  $j$  ist die fortlaufende Nummerierung des Patches innerhalb dieses Typs). Für eine Kreisfläche hat  $SHAPE$  den Wert 1. Die Werte von  $SHAPE$  sind daher stets grösser oder gleich 1. Für eine Klasse  $i$  lautet die Definition des Mean Shape Index ( $MSI_{c,i}$ ):

$$MSI_{c,i} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}},$$

wobei  $n_i$  die Zahl der Patches vom Typ  $i$  bezeichnet. Dies ist der Durchschnittswert der *SHAPE*-Werte aller Patches innerhalb dieser Klasse. Auf der Ebene der Landschaft ist der Mean Shape Index ( $MSI_L$ ) definiert durch

$$MSI_L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi} a_{ij}} ,$$

wobei  $m$  die Zahl der Patchtypen (Klassen) und  $N$  die Gesamtzahl aller Patches unabhängig von ihrer Klassenzugehörigkeit bezeichnet ( $N$  ist also die Summe aller  $n_i$ ).  $MSI_L$  nimmt den Wert 1 an, wenn alle Patches Kreisflächen sind. Dies tritt aus geometrischen Gründen jedoch nie auf, da man mit Kreisflächen keine Fläche auffüllen kann. Der Wert von  $MSI_L$  ist daher stets grösser als 1.

Das bekannteste Programm für die quantitative Landschaftsstrukturanalyse heisst FRAGSTATS (McGarigal et al. 2002). Es enthält derzeit 22 Patch-Masse, 123 Class-Masse und 132 Landscape-Masse (Kasten 1).

Einer der frühesten Versuche, eine Landschaftsqualität durch eine quantitative Grösse zu erfassen, war der Vielfältigkeitswert für die Bewertung der Erholungseignung einer Landschaft (Kiemstedt 1967). Ziel dieser Grösse ist, die natürlichen Voraussetzungen zu erfassen, die eine Landschaft für die Erholung besonders geeignet machen. Der Vielfältigkeitswert (V-Wert) dient als Hilfsmittel für planerische Entscheidungen, um den für die Erholung bedeutsamen Bestand an natürlichen Landschaftselementen eines Raums zu erfassen. «Der V-Wert setzt sich aus den Wertziffern für Wald- und Gewässerrand, Relief, Benutzbarkeit und Klimawirkung zusammen. Er kennzeichnet also die vielfältige Ausstattung eines Raumes mit erholungswirksamen natürlichen Landschaftselementen» (Kiemstedt 1967: 47). Die Formel für den Vielfältigkeitswert  $V$  lautet:

$$V = (R_w + R_e + 3R_g + N) \cdot K / 1000 ,$$

wobei  $R_w$  die Waldrandzahl,  $R_g$  die Gewässerrandzahl,  $R_e$  die Reliefenergiezahl,  $N$  die Nutzungszahl und  $K$  der Klimafaktor sind (für die Definition dieser Zahlen siehe Kiemstedt 1967).

Das Ergebnis ist eine dimensionslose Zahl, die einen Wert für die Erholungswirksamkeit einer Landschaft angibt. Damit können verschiedene Naturräume miteinander verglichen werden. Dabei gibt Kiemstedt den Vielfältigkeitswert von 3 für die Naherholung und von 4 für die Ferienerholung als Schwellenwerte an (Mindestwerte).

Allerdings hat der V-Wert mehrere Schwächen. Zum Beispiel ist in Gebieten, in denen zahlreiche kleine Wäldchen stehen, die Summe der Waldrandlängen sehr hoch und führt zu einem unverhältnismässig hohen Vielfältigkeitswert. Der Ansatz wurde daher in den folgenden Jahren weiterentwickelt.

#### FRAGSTATS – ein Programm zur Landschaftsstrukturanalyse

Unter den Landschaftsmassen sind Masse aus diesen zehn Gruppen am weitesten verbreitet:

- Flächenmasse (Angaben zur Flächengröße ohne Berücksichtigung der räumlichen Anordnung);
- Patchdichtemasse (Aussagen zur Vielfalt und Anzahl von Patches ohne Berücksichtigung ihrer räumlichen Anordnung);
- Kantenmasse (Länge von Grenzen bzw. Übergangsbereichen zwischen verschiedenen Patches);
- Formmasse (z. B. zur Unterscheidung von kompakten gegenüber ausgefranzten Formen);
- Kernflächenmasse (in Abhängigkeit von der Pufferbreite);
- Nachbarschaftsmasse (Lage und Entfernung von Patches zueinander);
- Kontrastmasse (Gleichartigkeit oder Gegensätzlichkeit aneinanderstossender Patches);
- Diversitätsmasse (Vielfalt von Flächentypen oder Flächengrößen und -formen);
- Zerteilungs- und Vernetzungsmasse (Zerteilung, Verknüpfung und Erreichbarkeit);
- Berührungs- und Einstreuungsmasse (*contagion* and *interspersion*, Durchmischung und Zusammenhang von Patches und Patchtypen).

Diese Einteilung ist jedoch teilweise nicht scharf, sondern fließend, d. h. einige Masse lassen sich mehreren Gruppen zuordnen. FRAGSTATS folgt im Wesentlichen dieser Einteilung, die sich künftig auch wieder verändern kann, wenn weitere neu entwickelte Masse aufgenommen werden. Mehrere Masse sind ausserdem unter demselben Namen von verschiedenen Autoren mit geringen Unterschieden verwendet worden. Daher ist es für einen Vergleich verschiedener Studien wichtig, die Abweichungen zwischen den jeweils verwendeten Definitionen zu berücksichtigen.

FRAGSTATS ist im Internet zu finden unter <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

Weitere Programme für die Landschaftsstrukturanalyse sind *r.le* (in der GRASS-Umgebung, <http://eratos.erin.utoronto.ca/res/vbr/web/rle/rle.htm>), PATCH-ANALYST (<http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/>) und LEAP II ([http://www.ai-geostats.org/software/Geostats\\_software/LEAP.htm](http://www.ai-geostats.org/software/Geostats_software/LEAP.htm)).

#### Kasten 1: FRAGSTATS und andere EDV-Programme für die quantitative Landschaftsstrukturanalyse.

Die Weiterentwicklungen beziehen zahlreiche weitere Aspekte ein und stellen ihnen auch wertmindernde und wertsteigernde Faktoren gegenüber. Ausserdem berücksichtigen sie die aus der Freizeitnutzung resultierenden Konflikte und die gesetzlichen Rahmenbedingungen. Die anfänglich stark mathematisch-ökonomisch ausgerichteten Bewertungsmodelle wurden zunehmend durch Modelle ergänzt, die neben der objektiv-wissenschaftlichen Erfassung von Landschaftsmerkmalen auch subjektive Bewertungsmuster der nutzenden Gruppen erfassen (z. B. Bastian & Schreiber 1994).

### Schwierigkeiten: Was bei der Quantifizierung zu beachten ist

Wie viele Landschaftsmasse werden benötigt, um die Landschaftsstruktur zu beschreiben? Um diese Frage zu untersuchen, haben Riitters et al. (1995) eine Faktorenanalyse mit 55 Landschaftsmassen durchgeführt. Von diesen erwiesen sich, bezogen auf die betrachteten 85 Landschaften, sechs Dimensionen als unabhängig voneinander, d.h. sechs Landschaftsmasse reichten aus, um 87 % der Variation in der Struktur dieser 85 Landschaften zu charakterisieren. Es gibt also deutlich mehr Landschaftsmasse als Struktureigenschaften dieser Landschaften, die unabhängig voneinander variieren.

Daraus folgt jedoch nicht, dass sechs voneinander unabhängige Landschaftsmasse ausreichen, um die Landschaftsstruktur von beliebigen Landschaften zu erfassen. Dazu ist die Strukturvielfalt von Landschaften viel zu gross. Es kann immer noch eine neue Landschaft gefunden werden, deren Struktur sich in anderer Weise von den bisher betrachteten Landschaften unterscheidet als die bisherigen Landschaften untereinander. Zudem werden für bestimmte Strukturaspekte ganz gezielte Landschaftsmasse benötigt, die jeweils genau diese Aspekte erfassen und ausschliesslich durch Veränderungen dieser Aspekte beeinflusst werden (z.B. Lausch & Herzog 2002).

Ein Beispiel hierfür ist die Landschaftszerschneidung (Jaeger 2000, 2001a, 2002). Allgemeine Fragmentierungs- und Heterogenitätsmasse (z.B. Gustafson 1998) sind nicht spezifisch genug, um den Grad der Landschaftszerschneidung zu erfassen, sondern es werden gezielte Masse benötigt, die nur durch die sechs Fragmentierungsphasen (Perforation, Durchschneidung usw.; Jaeger 2000), und zwar in derselben Richtung, beeinflusst werden (d.h. verschiedene Fragmentierungsphasen dürfen einander nicht aufheben) und nicht durch andere Veränderungen der Landschaftsstruktur. Um dies systematisch abzuklären, nützt die Untersuchung vieler Beispiellandschaften wie bei Riitters et al. (1995) wenig, da nicht garantiert ist, dass die wesentlichen Fälle bei diesen Landschaften auch wirklich auftreten. Vielmehr ist eine systematische Untersuchung des Verhaltens von Landschaftsmassen anhand von analytischen Betrachtungen und Eignungskriterien notwendig. Der vorliegende Beitrag zeigt dies im Abschnitt «Entwicklung eines neuen Landschaftsmasses am Beispiel der Zersiedelung» auf.

Solche analytischen Betrachtungen tragen zur Lösung der vier Probleme bei, die nach Li & Wu (2004) bei der Verwendung von Landschaftsmas-



sen auftreten können: (1) die ökologische Relevanz von Landschaftsmassen ist nicht immer garantiert, d. h. der wechselseitige Einfluss von erfasseter Landschaftsstruktur und Landschaftsprozessen ist unklar, (2) der Massstab der Beobachtung und Analyse passt nicht zum Massstab der untersuchten Fragestellung, (3) ungeklärte Sensitivität von Landschaftsmassen auf Strukturveränderungen (zu geringe Sensitivität bzw. Uneindeutigkeit des Wertes eines Strukturmasses), (4) Unklarheiten, was ein Landschaftsmass genau misst. Li & Wu (2004) fordern daher eine systematischere Untersuchung und Darstellung der Stärken und Schwächen von Landschaftsmassen, als es bisher der Standard in der Literatur ist.

### Entwicklung eines neuen Landschaftsmasses am Beispiel der Zersiedelung

Voraussetzung dafür, ein neues Landschaftsmass zu entwickeln, ist eine klare begriffliche Definition der interessierenden Eigenschaft. Wenn es mehrere Vorschläge gibt, wie diese Eigenschaft quantifiziert werden kann, stellt sich die Frage, welcher Vorschlag am besten geeignet ist. Um dies systematisch zu untersuchen, werden Vergleichskriterien benötigt. Wir werfen nun einen Blick in die Werkstatt und skizzieren die erforderlichen Arbeitsschritte am Beispiel der Zersiedelung (Abb. 1; Jaeger et al. in Vorbereitung).

#### *Suche nach einer möglichst klaren Definition*

In der Literatur gibt es zahlreiche Definitionen für «Zersiedelung» oder englisch «Urban Sprawl» (vgl. dazu z. B. die Zusammenstellungen von Johnson 2001 und Siedentop 2005). Ein Beispiel: «Zersiedelung ist ein ungeplantes, konzeptloses, flächenintensives Hinauswachsen vor allem von städtischen Siedlungen in den ländlichen Raum und ist eine Folge der fortschreitenden Verstädterung und Urbanisierung. Das Bedürfnis nach Wohnen im Grünen, nach Wochenendhäuschen, schnell erreichbaren Einkaufszentren, billigen Industriegebieten und Verkehrsbauten benötigt viel Platz, und ohne Auflagen der Raumplanung und des Umweltschutzes wird dort gebaut, wo es am billigsten ist. Freiflächen, Erholungsgebiete und ökologische Ausgleichsflächen gehen dadurch verloren, werden zerschnitten oder verkleinert und verlieren ihre ökologische wie auch sozioökonomische Funktionalität» (Landscape Gesellschaft für Geo-Kommunikation 2000–2002: 469).

Fast alle in der Literatur vorgeschlagenen Definitionen vermischen Ursachen und Folgen der Zersiedelung mit einer Definition des eigentlichen Phänomens «Zersiedelung». Als Ursachen werden z.B. genannt: Wunsch nach Wohnen im Grünen, ungehindertes und unregelmäßiges Wachstum, plan- bzw. konzeptloses Bebauen der Landschaft, Zweitwohnungsbau und die Suche nach möglichst günstigem Baugrund. Typische Folgen der Zersiedelung sind geringe Bebauungsdichten, Beeinträchtigung und Zerstörung von Landschaften, Fehlen von Freiräumen, räumliche Trennung verschiedener Funktionen (z.B. Wohnen, Arbeiten, Einkaufen) und hohe Pendlerströme. Einen Konsens darüber, wie Urban Sprawl zu definieren sei, gibt es derzeit nicht (Siedentop 2005).

Aufgrund dieser Vermischung von eigentlicher Definition mit den Ursachen und Folgen muss zunächst eine engere Definition von «Zersiedelung» aufgestellt werden (Kasten 2).

#### Definition von Zersiedelung

Zersiedelung ist ein Phänomen, das in der Landschaft optisch wahrnehmbar ist. Eine Landschaft ist umso stärker zersiedelt, je stärker sie von Gebäuden durchsetzt ist. Der Grad der Zersiedelung bezeichnet das Ausmass der Bebauung der Landschaft mit Gebäuden und deren Streuung. Je mehr Fläche bebaut ist und je weiter gestreut die Gebäude sind, desto stärker ist die Zersiedelung.

Der Begriff Zersiedelung beschreibt sowohl einen Zustand (d.h. den Grad der Zersiedelung einer Landschaft) als auch einen Prozess (die fortschreitende Zersiedelung der Landschaft).

Ursachen und Auswirkungen der Zersiedelung sind nicht Bestandteil dieser Definition, sondern werden davon unterschieden. Die Ursachen umfassen unter anderem das plan- oder konzeptlose Bebauen der Landschaft, das Bedürfnis nach Wohnen im Grünen und die Suche nach günstigem Baugrund. Auswirkungen der Zersiedelung sind z.B. der Verlust von Freiflächen und Naherholungsgebieten, geringe Bebauungs- und Bevölkerungsdichten, die räumliche Trennung von Wohnen und Arbeit und hohe Pendlerströme.

In dieser Definition von Zersiedelung wird die qualitative Komponente der Siedlungsflächen bewusst nicht berücksichtigt. Eine Siedlung bzw. ein Einzelgebäude wird immer gleich behandelt (nämlich als überbautes Gebiet) – unabhängig davon, ob es sich um eine landwirtschaftliche Scheune, ein traditionelles Bauernhaus oder um ein Fabrikgebäude oder Hochhaus handelt. Berücksichtigt wird einzig die vom Gebäude in Anspruch genommene Fläche.

Grundsätzlich wäre es denkbar und auch wünschbar, verschiedene qualitative Eigenschaften ebenfalls in die Berechnungen einzubeziehen, z.B. den Grad, wie stark ein Gebäude der traditionellen Siedlungsstruktur

**Kasten 2: Definition von Zersiedelung (aus Jaeger et al. in Vorb.).**

entspricht, den Grad der Einpassung in den Landschaftscharakter (dazu würde ein Mass für den Kontrast zwischen Gebäudestil und Landschaft benötigt), die Einwohnerdichte im betrachteten Siedlungsausschnitt oder die Gebäudehöhe (dies wäre z.B. über Luftbildauswertungen möglich). Mehrere Gründe sprechen jedoch dagegen:

(1) Die *Entfernungen* landschaftsfremder Gebäude von Siedlungsflächen in historischer Bauweise spielen in jedem Fall eine Rolle, daher müssen die Distanzen zu den traditionellen Gebäuden mit in die Berechnung einfließen, um die Streuung der Gebäude insgesamt bestimmen zu können.

(2) Eine hohe Einwohnerdichte wird generell als positive Eigenschaft bewertet, da sie die Zersiedelung verringert. Daher ist nicht klar, ob ein Hochhaus (bzw. ein Siedlungsausschnitt hoher Dichte) durch einen quantitativen Faktor stärker gewichtet (da die Landschaft stärker belastend als ein Einfamilienhaus) oder weniger stark gewichtet werden soll (da es mehr Menschen beherbergt). Wenn z.B. ein Hochhaus mit einem Faktor belegt würde, der der Fläche einer Einfamilienhaussiedlung mit gleicher Bewohnerzahl entspricht, dann wäre der Zersiedelungsgrad in beiden Fällen gleich, und der Unterschied zwischen ihnen wird durch das Mass nicht mehr ausgedrückt. Daher sollten Zersiedelung (ohne Berücksichtigung der Dichte) und Einwohnerzahl bzw. Dichte besser separat bestimmt und erst anschliessend miteinander verglichen und interpretiert werden.

(3) Das Identifizieren der jeweiligen Gebäudeeigenschaften (z.B. der Höhe) wäre extrem zeitaufwändig. Zudem bestünden Probleme bei der Berechnung des Zersiedelungsgrades für historische Zustände, da die benötigten Angaben in Landkarten von früheren Zuständen nicht vorhanden sind.

(4) Die Abgrenzung, welche Gebäude in die Landschaft passen und welche nicht, ist in vielen Fällen kontrovers. Sollen ästhetische oder ökologische Kriterien hierfür verwendet werden? Die Gebäudehöhe ist zudem keine zuverlässige Angabe, um den Charakter oder die Ästhetik von Gebäuden quantitativ zu erfassen. Architektur ist (zu einem grossen Teil) Geschmackssache. Welche Gebäude als weniger zersiedelungswirksam gelten, wäre somit von der Wertung der Bearbeiter abhängig. Solche Bewertungsspielräume sollten bei der Definition von neuen Landschaftsstrukturmassen vermieden werden.

Diese Einschränkung hinsichtlich der qualitativen Komponente von «Zersiedelung» muss bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt

werden. An diesem Punkt wird die eingangs diskutierte Schwierigkeit deutlich, qualitative Eigenschaften auf quantitative Weise zu erfassen. Prinzipiell ist zwar eine Verfeinerung der Definition in diese Richtung möglich, doch würde dies eine quantitative Umsetzung schnell sehr kompliziert machen.

#### *Zusammenstellen der bestehenden Messmethoden*

Die Literatur bietet verschiedene Messgrößen an, die auf den ersten Blick zum Messen der Zersiedelung in Frage kommen könnten (obwohl einige von ihnen nicht primär zu diesem Zweck entwickelt wurden). Nach einer groben Vorauswahl – zum Aussortieren der Masse, die offensichtlich nicht geeignet sind – müssen die Methoden genauer getestet werden, die in die engere Auswahl kommen. Hierzu zählen der Mean-Proximity-Index (MPI; Whitcomb et al. 1981), der Contagion-Index (CI; O’Neill et al. 1988, Li & Reynolds 1993), der Interspersion-and-Juxtaposition-Index (IJI; McGarigal & Marks 1995) und der Aggregation-Index (AI; He et al. 2000).

#### *Eignungskriterien zum Vergleich von Landschaftsmassen*

Landschaftsmasse müssen mehrere Kriterien erfüllen (siehe oben, Abschnitt «Aufgaben von Landschaftsmassen», Tab. 2). Was diese Anforderungen konkret für Masse für die Zersiedelung bedeuten, ist in Tabelle 3 angegeben. Die Kriterien haben einen unterschiedlich starken Verpflichtungscharakter: Einige Bedingungen sind notwendig, andere stellen zusätzliche wünschenswerte Eigenschaften dar. Im Idealfall sollen alle Kriterien (Tab. 3) zugleich möglichst gut erfüllt sein.

**Tab. 3: Eignungskriterien für Zersiedelungsmasse (aus Jaeger et al. in Vorb.).**

<b>Eignungskriterien</b>	
1.	Anschaulichkeit (intuitive Einsichtigkeit)
2.	Mathematische Einfachheit
3.	Geringer Datenbedarf
4.	Monotonie der Reaktion des Masses auf Flächenzuwachs
5.	Monotonie der Reaktion auf steigende Distanz zwischen zwei Siedlungsflächen
6.	Monotonie der Reaktion auf ansteigende Streuung von drei Siedlungsflächen
7.	Stetigkeit der Reaktion auf die Verschmelzung zweier Siedlungsflächen
8.	Robustheit gegenüber dem Einbeziehen (oder Weglassen) von sehr kleinen Siedlungsflächen
9.	Unabhängigkeit des Masses von der Lage des Zersiedelungsmusters im Bildausschnitt

Die der Literatur entnommenen Masse müssen auf diese Eignungskriterien systematisch überprüft werden, und ebenso der eigene neu entwickelte Vorschlag (siehe unten). Dies geschieht mit möglichst einfachen Tests anhand von Siedlungsmustern. Zum Beispiel wird das Kriterium 4 «Monotonie der Reaktion auf Flächenzuwachs» (Tab. 3) anhand von Siedlungen mit wachsender Siedlungsfläche getestet. Dabei müssen die errechneten Werte für die Zersiedelung stets monoton mit wachsender Siedlungsfläche zunehmen.

#### *Entwicklung eines Gedankenmodells*

Aufbauend auf der Definition von Zersiedelung (Kasten 2) wird nun ein Gedankenmodell entwickelt, das sich mathematisch umsetzen lässt. Kerngedanke ist dabei, dass sowohl das Ausmass der Siedlungsfläche als auch die Streuung der Siedlungen im Raum in die Messgrösse einfließen sollen. Dazu dient die folgende Vorstellung: Von einem zufällig in der Siedlungsfläche postierten Verteilzentrum muss an jedes Gebäude eine Lieferung stattfinden. Dabei muss jede Lieferung vom Verteilzentrum aus gestartet werden. Der aufsummierte Weg, den der Zulieferer zu sämtlichen Bauten innerhalb der Landschaft zurücklegen muss, ist ein Mass für die Zersiedelung. Dieser Weg nimmt mit steigender Anzahl der zu beliefernden Bauten (entsprechend zunehmender Siedlungsfläche) und grösserer Distanz zu den einzelnen Bauten zu (Mass für den Streuungsgrad).

Diese Weglänge hängt allerdings davon ab, wo das Verteilzentrum steht. Peripher gelegene Standorte haben längere Verbindungswege. Daher wird in einem nächsten Schritt über alle Orte innerhalb der Siedlungsfläche als mögliche Standorte des Verteilzentrums gemittelt.

Die lineare Aufaddierung der Weglänge erfüllt allerdings noch nicht das Kriterium 6 «Monotonie der Reaktion auf ansteigende Streuung von drei Siedlungsflächen». Daher ist als ein weiterer Schritt die Einführung einer Funktion in Abhängigkeit der Distanz nötig, die weniger rasch ansteigt als die Distanz (d. h. nicht linear; für die Einzelheiten siehe Jaeger et al. in Vorb.). Diese Funktion charakterisiert den «Aufwand» für das Erreichen der Verteilorte (Aufwandfunktion). Dies hat im Fall von drei Häusern zur Folge, dass der Zersiedelungsgrad am höchsten ist, wenn alle drei gleich weit voneinander entfernt sind (und möglichst weit auseinander liegen). Je näher zwei von ihnen zueinander rücken bei gleich bleibender Summe der Entfernungen (d. h. je stärker sie «geklumpt» sind), umso mehr nimmt der Zersiedelungsgrad ab.

### *Herleitung einer rechnerischen Beschreibung durch eine Formel*

Dieses Modell dient als Basis, um eine mathematische Formel zu entwickeln. Damit kann man für beliebige Siedlungsmuster den Wert für den Zersiedelungsgrad errechnen. Die folgenden Beispiele verwenden als Aufwandsfunktion in Abhängigkeit von der Distanz eine logarithmische Funktion. Da die Aufwandsfunktion dimensionslos ist und über alle Zielorte integriert wird, hat der Zersiedelungsgrad die Einheit  $\text{km}^2$  (die Mittelung über alle möglichen Startorte verändert die Einheit nicht). Diese Rechenvorschrift für den Zersiedelungsgrad lässt sich intuitiv verstehen als die *aufwandsgewichtete Siedlungsfläche*, wobei die Gewichtung mit dem mittleren Warenverteilungsaufwand oder Distanzüberbrückungsaufwand erfolgt ist.

Diese aufwandsgewichtete Siedlungsfläche kann anschliessend noch umgerechnet werden in die Grösse einer Kreisfläche, die den gleichen Zersiedelungsgrad (d. h. die gleiche aufwandsgewichtete Siedlungsfläche) besitzt wie die untersuchte Landschaft. Diesen Wert nennen wir Kreisflächenäquivalent (Einheit:  $\text{km}^2$ ). Die Werte der aufwandsgewichteten Siedlungsfläche und des Kreisflächenäquivalents unterscheiden sich voneinander, da die aufwandsgewichtete Siedlungsfläche einer Kreisfläche einen anderen (meistens einen grösseren) Wert hat (in  $\text{km}^2$ ) als die Grösse der Kreisfläche (siehe unten, Abb. 8). Dies führt zu interessanten weiteren Überlegungen (siehe dafür Jaeger et al. in Vorb.), doch wird darauf in den folgenden Abschnitten nicht weiter eingegangen.

### *Anwendung auf Beispiele*

Die Überprüfung der neuen Grösse anhand der Kriterien aus Tabelle 3 zeigt, ob das neue Mass den bisherigen Grössen aus der Literatur wirklich überlegen ist (bzw. in welchen Punkten und in welchen nicht; Jaeger et al. in Vorb.). Zur Förderung des intuitiven Verständnisses der neuen Grösse trägt die Anwendung auf einfache Beispiele bei. Solche Anwendungen verdeutlichen auch, wo allenfalls noch künftige Modifizierungen des Masses sinnvoll sind.

Abbildung 2 zeigt die Siedlungsflächen der Agglomerationen Zürich, Basel und Bern innerhalb eines Kreises mit 6 km Radius (dabei wurde die Lage des Mittelpunktes optisch geschätzt).

Zürich und Basel weisen eine nahezu gleich grosse Siedlungsfläche auf (innerhalb des 6-km-Radius), wobei Basel etwas «regelmässiger» wirkt,

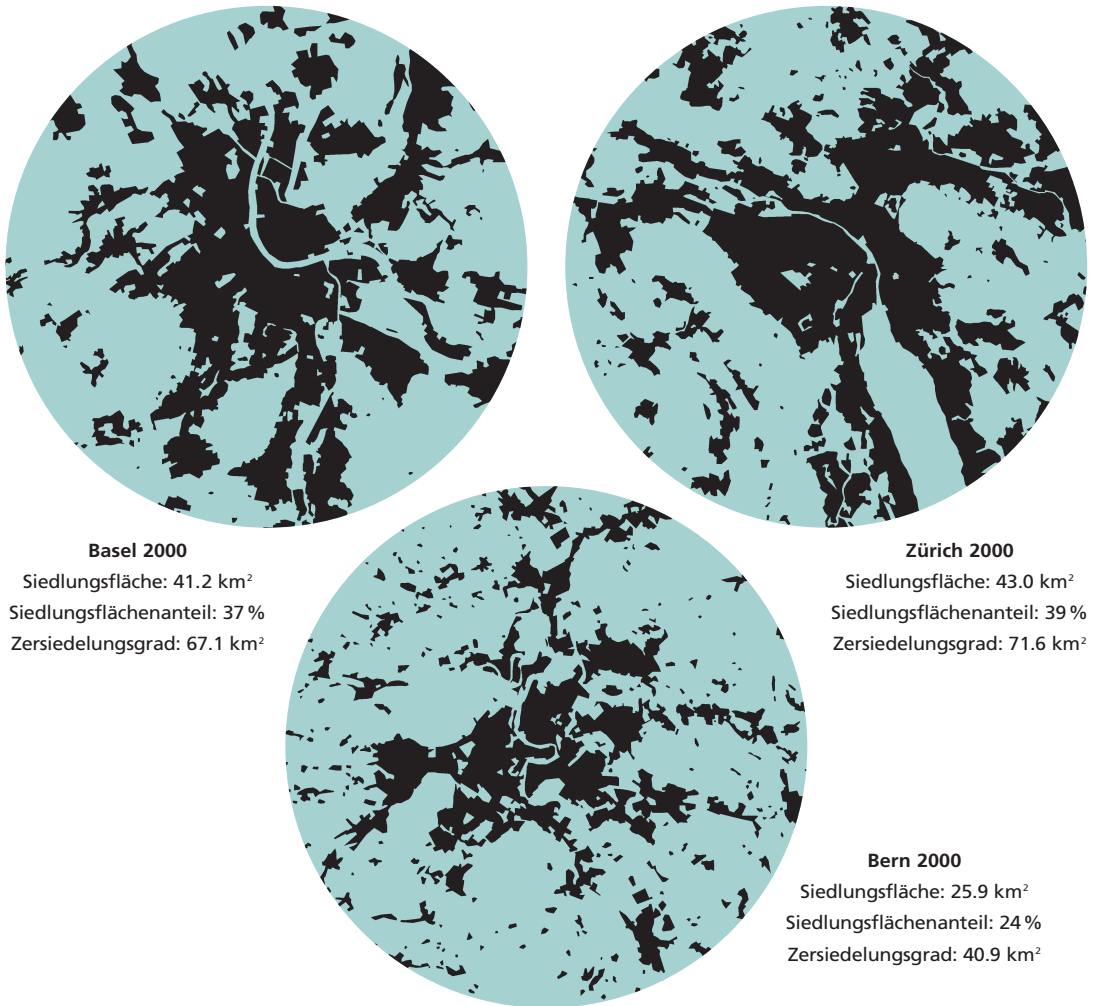


Abb. 2: Siedlungsflächen (schwarz) der drei Agglomerationen Zürich, Basel und Bern innerhalb einer Kreisfläche mit 6 km Radius (alle für das Jahr 2000). Darunter sind der Siedlungsanteil (bezogen auf die Kreisfläche) und der Zersiedelungsgrad angegeben. Datengrundlage ist die Pixelkarte 1:25 000 (Bundesamt für Landestopographie 2004).

d. h. Zürich weist bereits relativ zentrumsnah grosse unbesiedelte Flächen auf wie den Zürichsee und die Albiskette mit dem Üetliberg. In Basel hingegen folgen die offenen Flächen erst weiter aussen. Der Raum um Bern enthält zahlreiche kleinere Siedlungsflächen. Der Raum ist deutlich schwächer besiedelt, aber recht regelmässig.

Der Wert für den Zersiedelungsgrad der drei Agglomerationen entspricht dem Eindruck, dass die Region Bern deutlich weniger zersiedelt ist als die beiden anderen Beispiele. Lässt sich aus den Bildern auch intuitiv

verständlich machen, dass Zürich etwas stärker zersiedelt ist als Basel? Zürich hat etwas mehr Siedlungsfläche als Basel (um 1,8 km<sup>2</sup>, entsprechend 4,3%). Zur Interpretation ist Abbildung 4 hilfreich, die zeigt, dass die Siedlungsflächen in Zürich ab 4,5 km Entfernung vom Zentrum weiter nach aussen hin verteilt sind, d.h. stärker gestreut sind, während sie in Basel unterhalb von 4 km Entfernung vom Zentrum etwas höher konzentriert, d.h. kompakter angeordnet sind, während die Kurve des Siedlungsflächenanteils ausserhalb von 4 km Zentrumsentfernung stärker abfällt als in Zürich. In Basel wird die Siedlungsfläche durch grössere Flächen erst weiter aussen unterbrochen, und die verbleibenden Freiflächen sind ab 4 km Abstand vom Zentrum etwas grösser. Bern hingegen unterscheidet sich deutlich von den beiden anderen Agglomerationen; z.B. ist die Siedlungsfläche kleiner und damit auch der Zersiedelungsgrad.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Zersiedelungsgrades ist das Erstellen von Zeitreihen für einen fest gewählten Landschaftsausschnitt. Abbildung 3 zeigt die Siedlungsentwicklung in der Agglomeration Basel ab 1917.

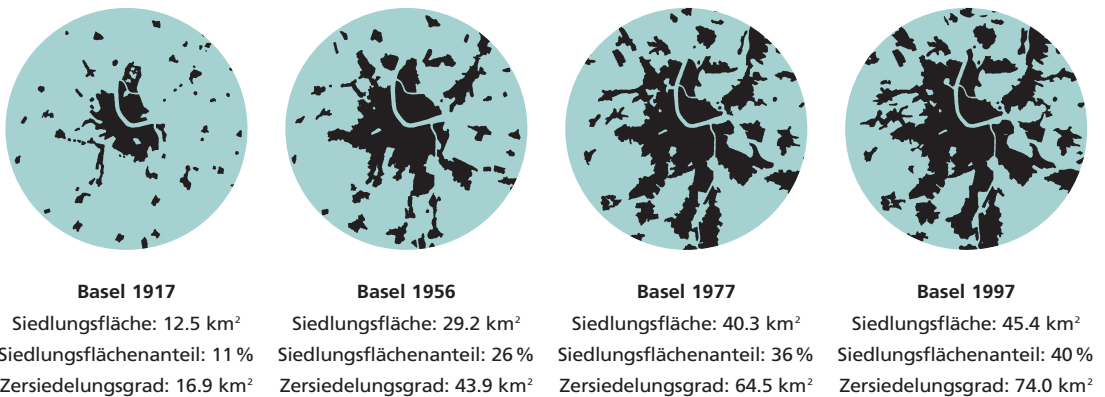
Die Siedlungsfläche ist vor allem zwischen 1917 und 1977 stark gewachsen. Danach hat die Siedlungsfläche vor allem in den peripheren Flächen zugenommen. Auch zwischen 1977 und 1997 findet das Siedlungswachstum vor allem aussen statt. Dies zeigt der Wert des Zersiedelungsgrades, der trotz geringerem Siedlungsflächenwachstum zwischen 1977 und 1997 deutlich weiter ansteigt (Abb. 7 und 8). Dies liegt daran, dass die Siedlungsflächen an der Peripherie zum Zersiedelungsgrad stärker beitragen als zentral gelegene, weil sie weiter entfernt sind von den übrigen Siedlungsflächen.

Die Grundlage für das Erfassen der Siedlungsfläche in Abbildung 2 waren Pixelkarten im Massstab 1:25 000 (Bundesamt für Landestopographie 2004). Für die Zeitreihen in Abbildung 3 wurden die Siedlungsflächen weniger genau erfasst, da die Kartengrundlagen nicht einheitlich waren. Als Grundlage für die Darstellung des Zeitschnittes 1997 diente eine eingescannte Landeskarte im Massstab 1:100 000. Dies ist der Grund dafür, dass sich die Werte für Basel im Jahr 1997 in Abbildung 3 von jenen für Basel in Abbildung 2 unterscheiden; z.B. ist die Siedlungsfläche für den Datenpunkt «Basel 1997» (Abb. 3) grösser als jene für den Datenpunkt «Basel 2000» (Abb. 2). Dies hat im vorliegenden Beispiel für den Zersiedelungsgrad einen nennenswerten Einfluss und könnte in weniger stark besiedelten Regionen sogar noch stärker ins Gewicht fallen. Es ist daher wichtig,



möglichst genau zu arbeiten und bei Vergleichen verschiedener Räume oder verschiedener Zeitpunkte dieselbe Auflösung zu verwenden.

Zur Analyse und Darstellung der Verstädterung schlägt Siedentop (1999) ein Ringzonenmodell vor. Um einen definierten Mittelpunkt wird der Siedlungsflächenanteil für alle Ringe mit einer Ringbreite von 0,5 km berechnet. Damit lässt sich die Ausdehnung des Siedlungsflächenanteils und damit die verstärkerungsbedingte Landschaftsbelastung radial darstellen (Abb. 3 und 4).



**Abb. 3:** Ausdehnung der Siedlungsflächen in der Agglomeration Basel für vier Zeitschnitte. Die Abbildungen wurden weniger genau erfasst als jene in der Abbildung 2 (daher die Unterschiede in den Werten zu Abb. 2). Datengrundlage sind historische Karten und die Landeskarte 1:100 000 für den Zeitschnitt 1997.

Die Analyse der Daten aus den Abbildungen 2 und 3 dient dazu, die radiale Verstädterung der drei Agglomerationen (Abb. 4) und die Entwicklung der Verstädterung der Region Basel (Abb. 5) zu vergleichen. Diese Kurven stellen jedoch kein Mass für die Zersiedelung dar. Sie erfassen die Anordnung der Siedlungsflächen zu wenig genau; z. B. wird die Klumpung der Siedlung innerhalb der Kreisringe nicht erfasst, da nur der Anteil der Siedlungsfläche gemessen wird, nicht aber die Verteilung der Siedlungsflächen.

Die Berechnung des Zersiedelungsgrades für Kreise mit 0,5 km, 1 km, 1,5 km, ... Radius zeigt, dass Zürich bis 4,5 km Zentrumsentfernung unterhalb von Basel liegt und erst bei grösserem Radius stärker zersiedelt ist (Abb. 6). Dies stimmt mit den Beobachtungen zu Abbildung 4 überein, allerdings wird in Abbildung 6 auch die Streuung der Siedlungsflächen berücksichtigt und nicht wie in Abb. 4 nur der reine Siedlungsflächenanteil.

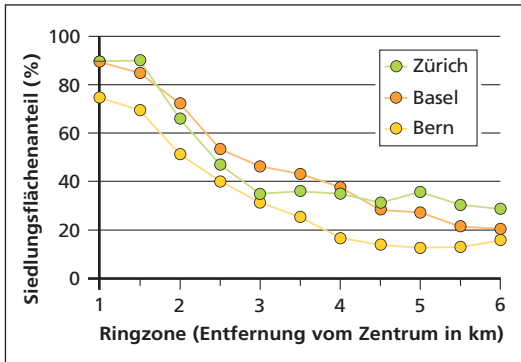


Abb. 4: Radiale Ausdehnung des Siedlungsflächenanteils für die Agglomerationen Zürich, Basel und Bern (vgl. Abb. 2) auf einer Kreisfläche mit 6 km Radius nach der Methode von Siedentop (1999).

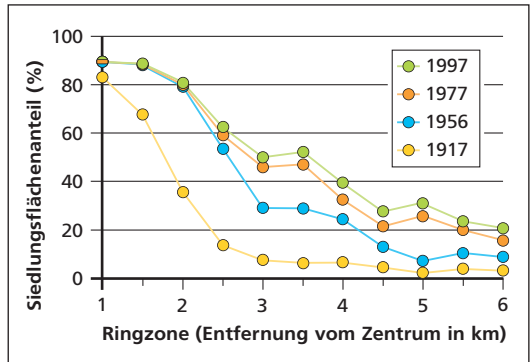


Abb. 5: Wachstum des radialen Siedlungsflächenanteils in der Agglomeration Basel in vier Zeitschnitten (vgl. Abb. 3) auf einer Kreisfläche mit 6 km Radius. Die Siedlungsmuster wurden weniger genau erfasst als jene in der Abbildung 2.

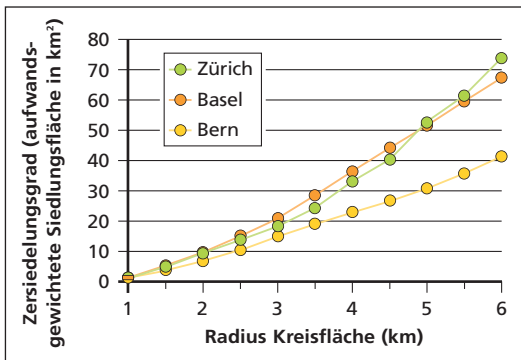
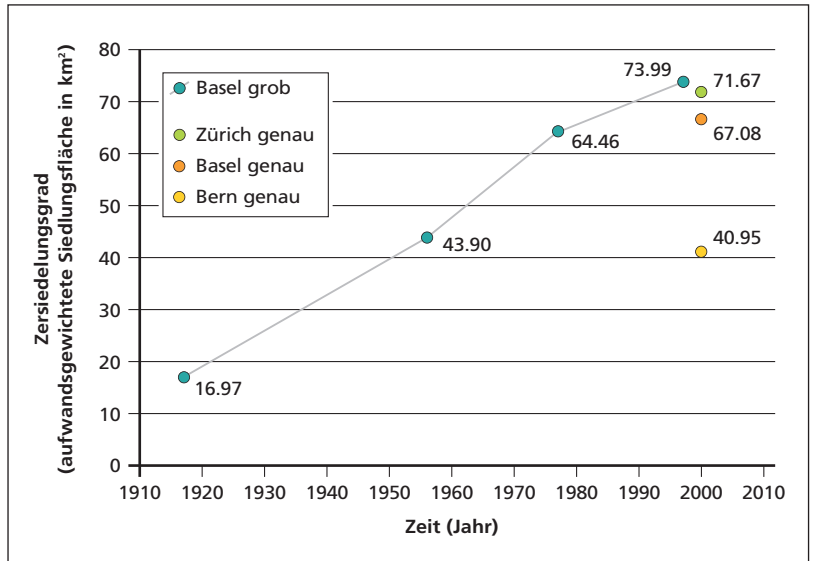


Abb. 6: Radialer Zersiedelungsgrad (kumulativ anstatt für Kreise) von Basel, Bern und Zürich (zum Vergleich mit Abb. 4).

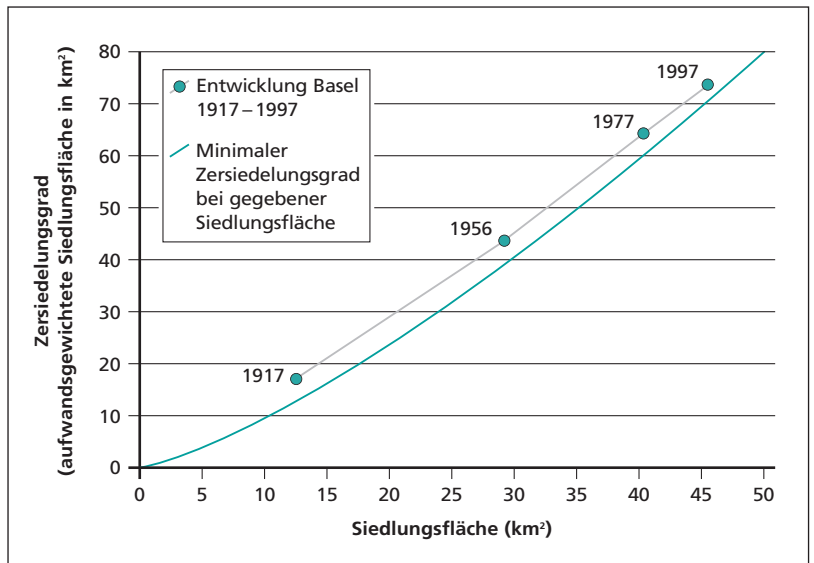
Die zeitliche Entwicklung in Basel ist durch eine grosse Gleichmässigkeit der Zunahme der Zersiedelung gekennzeichnet (Abb. 7). Es ist keine Trendabschwächung erkennbar. Eine lineare Extrapolation der bisherigen Zunahme der Siedlungsfläche führt auf das Jahr 2150, in dem Basel vollständig zugebaut wäre. Diese Extrapolation geht von der unwahrscheinlichen Annahme aus, dass sämtliche Waldgebiete und der Rhein überbaut werden. Das heisst, dass in Abbildung 5 die Kurve für das Jahr 2150 eine gerade Linie bei 100 % wäre. Der Wert veranschaulicht, wie rasch die Siedlungsfläche heute zunimmt.

Ordnet man die Siedlungsfläche für die aufgezeigten Beispiele kreisförmig an, so ergibt sich daraus der minimal mögliche Zersiedelungsgrad bei gegebener Fläche (Abb. 8). Die Anordnung einer Siedlung als Kreis ist die ideale Form, um bei gegebener Siedlungsfläche einen minimalen Wert

**Abb. 7:** Zeitliche Entwicklung des Zersiedelungsgrads der Agglomeration Basel (grobe Datenerfassung, vgl. Abb. 3). Der Vollständigkeit halber sind zum Vergleich die Zersiedelungsgrade der drei Städte Basel, Zürich und Bern für das Jahr 2000 gemäss der genaueren Datenerfassung (vgl. Abb. 2) mit angegeben.



**Abb. 8:** Gegenüberstellung von Zersiedelungsgrad (aufwandsgewichteter Siedlungsfläche) und tatsächlicher Siedlungsfläche für die Agglomeration Basel 1917–1997 (grobe Datenerfassung von Abb. 3). Als Vergleich dient die Linie des minimalen Zersiedelungsgrades bei gegebener Siedlungsfläche. Städte, deren Zersiedelungsgrade auf dieser Linie liegen, haben eine kompakte kreisrunde Siedlungsfläche.



des Zersiedelungsgrads zu erzeugen. Punkte in der Abbildung 8 können somit nie rechts unterhalb dieser Linie liegen.

*Brauchbarkeit als Grösse für das Messen einer Landschaftsqualität*

Das hier vorgestellte Mass für den Zersiedelungsgrad charakterisiert eine wichtige Komponente der Qualität der Landschaft. Es ist ein Indikator

für die «zivilisatorisch-technische Durchdringung der Landschaft» (Ewald 1978: 178) durch die Siedlungstätigkeit des Menschen. Das neue Mass dient zwar in erster Linie zur Messung des Zersiedelungsgrades und nicht zur Bestimmung der Landschaftsqualität. Es kann aber als ein Indikator verwendet werden, um sich einer Beschreibung der Landschaftsqualität quantitativ zu nähern. Umweltindikatoren geben generell nur einen Anhalt (Indikation) für einen Landschaftszustand und erfassen nicht das Ganze. Entsprechend dem *Pressure-State-Response*-Modell drückt der Zersiedelungsgrad eine bestehende anthropogene Belastung (*pressure, impact*) aus, die auf die Landschaft einwirkt und die Landschaftsqualität beeinträchtigt. Wie stark die Landschaftsqualität davon tatsächlich beeinträchtigt wird, hängt von zahlreichen weiteren Bedingungen ab (z.B. Empfindlichkeit des Landschaftsbildes). Zeitreihen zeigen auf, ob und wie schnell sich die Belastung weiter erhöht und wie stark die Landschaftsqualität demnach voraussichtlich beeinträchtigt wird.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Wie sinnvoll eine Quantifizierung ist, hängt vom Zweck der jeweiligen Untersuchung ab und davon, wie die Daten eingesetzt werden. Eine unreflektierte Schematisierung der Argumentation auf der Basis von quantitativen Daten ist immer bedenklich, denn ein so vielfältiger Betrachtungsgegenstand wie die Landschaft kann niemals allein quantitativ aufgefasst werden, sondern die quantitativen Angaben müssen stets durch qualitative Aussagen eingebunden und ergänzt werden. Ausserdem können quantitative Landschaftsmasse nur aufgrund von qualitativen Überlegungen ausgewählt, kritisiert und weiterentwickelt werden. Das Beispiel der Zersiedelung macht deutlich, dass zahlreiche qualitative Überlegungen in die Entwicklung von solchen Massen einfließen müssen, wenn sie aussagekräftig sein sollen.

Zwar sind Landschaftsmasse nicht zu dem Zweck entwickelt worden, die Landschaftsqualität zu quantifizieren, doch können sie nützliche Indikatoren dafür sein, z.B. für die Bedrohung der ästhetischen Qualitäten einer Landschaft durch Landschaftszersiedelung und Landschaftszerschneidung. Das ökologische Wirkungsgefüge von Landschaften ist in seiner Komplexität vom Menschen nur schwer erfassbar und kann niemals vollständig analysiert und beschrieben werden (z.B. Scheringer et al. 1998). Dennoch müssen Entscheidungen gefällt werden über künftige Landschaftseingriffe.

Es ist deshalb wichtig, geeignete Messgrößen zu finden, welche Ergebnisse über den Zustand der Landschaft zusammenfassen (Komplexitätsreduktion) im Hinblick auf die anschließende Bewertung, damit sinnvolle Entscheidungen für ein nachhaltigeres Handeln in der Zukunft getroffen werden können.

Gerade die Politik, aber auch die Öffentlichkeit, benötigt leicht verständliche Messzahlen, da häufig schnelle Antworten und einfach nachvollziehbare Argumente erwartet werden. Daher sind Indikatoren gefragt, die den Qualitätszustand der Landschaft zusammenfassend beschreiben und leicht kommunizierbar sind. Indikatoren haben die Aufgabe, komplexe Sachverhalte auf einfache, durchschaubare Masse zu reduzieren (Renn et al. 2000). Umweltindikatoren sollen in der Regel eine Reihe verschiedener Belastungsfaktoren zusammenfassen (als «*proxy measures*» im Sinn von relativ hoch aggregierten Messgrößen für die Abschätzung von Umweltbelastungen) und die grobe Entwicklungsrichtung der Umweltbelastung erkennbar machen (Berg & Scheringer 1994). Besonders relevant sind Indikatoren zur Früherkennung von nahenden Umweltgefährdungen (Jaeger 1998).

Eine konkrete Schwierigkeit stellt sich im Umgang mit qualitativen Landschaftseigenschaften für das Handeln von Verwaltungen. Verwaltungen benötigen, um aktiv werden zu können, sehr oft eine *Handhabe* für ihr Handeln, die nachvollziehbar sein muss. Dazu müssen Veränderungen der Landschaft objektiviert werden, um möglichst eindeutig zu sein. Um dies zu erreichen, ist die Quantifizierung eine der einfachsten Möglichkeiten. Auf diesem Weg können Umweltqualitätsziele nachprüfbar gemacht werden, die oftmals von politischen Gremien nur qualitativ formuliert werden und damit «zahnlos» bleiben, solange sie keine nachprüfbare Handhabe liefern. Mit quantitativen Angaben lassen sich insbesondere Ziel-, Richt- oder Grenzwerte festlegen (Jaeger 2001b), wie es das deutsche Umweltbundesamt für die Begrenzung der Landschaftszerschneidung kürzlich konkret vorgeschlagen hat (Umweltbundesamt 2003: 301, Penn-Bressel 2005).

Die Zukunft der Landschaftsstrukturmasse wird von vier teilweise gegenläufigen Tendenzen geprägt sein:

- dem Bedarf nach zahlreichen neuen Landschaftsmassen für spezifische Aufgaben, für die die bisherige Masse nicht geeignet sind;
- dem allgemeinen Wunsch nach einer Reduktion der unübersichtlichen Vielfalt auf die wichtigsten und «wirklich relevanten» Masse;

- der Weiterentwicklung der strukturellen Masse hin zu tierartspezifischen funktionalen Massen, um zu beschreiben, wie Tierarten die Landschaft wahrnehmen («*ecologically scaled landscape indices*» im Sinn von Vos et al. 2001);
- dem Versuch, auch qualitative Eigenschaften von Landschaften quantitativ zu erfassen, z. B. ästhetische Qualitäten.

Um die quantitativen Werte von Landschaftsmassen zuverlässig auf Landschaftsqualitäten beziehen zu können, werden statistische Untersuchungen benötigt, die aussagen, wann die quantitativen Veränderungen der Landschaftsstruktur zu qualitativen Veränderungen führen. Es sollte jedoch nicht das Ziel sein, qualitative Wahrnehmungen durch quantitative Angaben zu ersetzen. Qualitative Betrachtungen bilden die Grundlage. Sie können durch quantitative Angaben präzisiert, aber nicht ersetzt werden. Damit bezeichnen die qualitativen Betrachtungen zugleich die Grenzen, wie weit der Einsatz von Landschaftsmassen sinnvoll ist.

Kritisch zu sehen ist daher an der heutigen Entwicklung der Landschaftsökologie, dass über qualitative Unterschiede, die bisher nicht quantitativ erfasst sind – oder überhaupt nicht quantitativ erfassbar sind –, generell weit weniger geforscht wird als über die quantitativen. Damit geht ein zunehmender Verlust an verbaler Anschaulichkeit in der Wissenschaftssprache einher. Eine abstrakte wissenschaftliche Begriffssprache setzt sich durch, die im heutigen Wissenschaftsbetrieb nach organisierten Normen vorteilhaft und bequem ist, wie bereits Neef (1981) hervorhob: «Was allein die drei Wörter System, Modell und Information an ausdrucksstarkem Wortgut verdrängt haben, lässt sich kaum abschätzen. (...) Leider wird «System» als ein immer passendes Wort für geographische Erscheinungen aller Dimensionen verwendet. (...) Der Systembegriff wird also leer und taugt nicht mehr zur Gewinnung neuer Erkenntnisse.» Diese sprachliche Verarmung schwächt zugleich die Basis für die Entwicklung brauchbarer Landschaftsmasse, d. h. von Landschaftsmassen, die nicht unter den Problemen leiden, die Li & Wu (2004) aufgezeigt haben (siehe Abschnitt «Schwierigkeiten: Was bei der Quantifizierung zu beachten ist»). Den Zusammenhang zwischen Landschaftsqualitäten und quantitativer Erfassung von Landschaftsstrukturen – und damit die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten von Landschaftsmassen – bringen bereits die grundlegenden Aussagen von Neef (1981) auf den Kernpunkt: «Dass eine Beschreibung physiognomischer Sachverhalte unwissenschaftlich sei oder ihr die für Wissenschaft verbindliche Exaktheit und Eindeutigkeit fehle, kann nur je-

mand äussern, der die Funktion der Beschreibung als wichtiges Mittel der Datengewinnung mangels ausreichender eigener Erfahrung nicht kennt. (...) Die Präzisierung von Beobachtungen durch Messungen ist ein regulärer Bestandteil der Beobachtungen, und es ist unzulässig, diese Form der Datengewinnung von der Beobachtung zu trennen.»

### Zusammenfassung

*Landschaftsmasse sind ein wichtiges Instrument in der Landschaftsökologie, um Landschaftsmuster quantitativ zu beschreiben. Der Beitrag stellt die Aufgaben und Anforderungen dar, die an Landschaftsmasse gestellt werden, und erläutert schrittweise das Vorgehen bei der Entwicklung neuer Landschaftsmasse. Als Beispiel dient der Zersiedelungsgrad von Landschaften. Die Quantifizierung soll auch die räumliche Anordnung der Siedlungsflächen berücksichtigen. Der Beitrag schlägt hierfür als neues Landschaftsmass die «aufwandsgewichtete Siedlungsfläche» vor, wobei die Gewichtung mit dem mittleren Warenverteilungsaufwand oder Distanzüberbrückungsaufwand erfolgt. Landschaftsmasse wurden zwar nicht primär dafür entwickelt, um Landschaftsqualitäten zu erfassen, aber es gibt zunehmend Versuche, sie auch für die Beschreibung qualitativer Eigenschaften einzusetzen. So können sie etwa als quantitative Indikatoren für Landschaftsqualitäten verwendet werden. Allerdings ist es für eine korrekte Interpretation der Werte notwendig zu überprüfen, welche quantitativen Werte mit welchen Ausprägungen von Landschaftsqualitäten korrespondieren und wie zuverlässig diese Korrelationen sind. Qualitative Betrachtungen bilden die Grundlage für die Entwicklung und Weiterentwicklung von Landschaftsmassen. Landschaftsmasse können nie ohne den Bezug auf qualitative Aussagen zur betrachteten Landschaft sinnvoll interpretiert werden, sonst tragen Landschaftsmasse lediglich zu einem weiteren «Verlust der Anschaulichkeit» in der wissenschaftlichen Betrachtung von Landschaften bei und führen zu einer gefährlichen Entfremdung vom untersuchten Gegenstand.*

### Danksagung

Wir danken Herrn Beat Trachsler für das Erstellen eines Computerprogramms zur Berechnung des Zersiedelungsgrades für die gezeigten Beispiele. Die in diesem Aufsatz vorgestellten Ergebnisse entstammen den Vorarbeiten für einen Projektantrag für das NFP 54

«Nationales Forschungsprogramm Sustainable Development of the Built Environment» beim Schweizerischen Nationalfonds. Diese Vorarbeiten wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes geleistet, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch ein DFG-Forschungsstipendium an J. J. gefördert wird (Förderkennzeichen JA 1105/1-1). Das inzwischen bewilligte NFP 54-Projekt trägt den Titel «Landschaftszersiedelung in der Schweiz: Quantitative Analyse 1940–2002 und Folgerungen für die Raumplanung» und hat eine Laufzeit von 18 Monaten (Juli 2005 bis Dezember 2006).

## Literatur

- Bastian, O. & Schreiber, K.-F. (Hrsg.) (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Fischer, Jena, 502 S.
- Berg, M. & Scheringer, M. (1994): Problems in environmental risk assessment and the need for proxy measures. *Fresenius environmental bulletin* 3: 487–492.
- Bundesamt für Landestopographie (Hrsg.) (2004): Pixelkarten. Produktdokumentation, Bern, 12 S.
- Ewald, K. C. (1978): Der Landschaftswandel – Zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Ges. Baselland, Liestal, und EAFV-Berichte Nr. 191, Birmensdorf, 55–308.
- Forman, R. T. T. & Godron, M. (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Forman, R. T. T. (1995): *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, 632 S.
- Gustafson, E. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* 1: 143–156.
- He, H. S., DeZonia, B. E. & Mladenoff, D. J. (2000): An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* 15(7): 591–601.
- Jaeger, J. (1998): Exposition und Konfiguration als Bewertungsebenen für Umweltgefährdungen. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 11(3/4): 444–466.
- Jaeger, J. A. G. (2000): Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15(2): 115–130.
- Jaeger, J. (2001a): Ansätze zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung und die Einbeziehung räumlich-funktionaler Zusammenhänge. – In: Jopp, F. & Weigmann, G. (Hrsg.): *Rolle und Bedeutung von Modellen für den ökologischen Erkenntnisprozess. Beiträge zu einer Tagung des Arbeitskreises «Theorie» in der Gesellschaft für Ökologie vom 1.–3. März 2000*. Peter Lang, Frankfurt a.M.: 115–126.
- Jaeger, J. (2001b): Beschränkung der Landschaftszerschneidung durch die Einführung von Grenz- oder Richtwerten. *Natur und Landschaft* 76(1): 26–34.
- Jaeger, J. (2002): *Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäss dem Konzept der Umweltgefährdung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 447 S.
- Jaeger, J. A. G., Bertiller, R., Cavens, D., Trachsler, B., Schwick, C., Ewald, K. C. & Kienast, F.: Degree of urban dispersion: a new measure of urban sprawl. In Vorbereitung für *Landscape Ecology*.
- Johnson, M. P. (2001): Environmental impacts of urban sprawl: a survey of the literature and proposed research agendas. *Environment and Planning A* 33: 717–735.
- Kiemstedt, H. (1967): Zur Bewertung von Landschaft für die Erholung. *Beiträge zur Landschaftspflege, Sonderheft 1*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 151 S.



- Lamnek, S. (1998): Qualitative Sozialforschung. Band 1: Methodologie. Psychologie Verlags Union, München und Weinheim.
- Landscape Gesellschaft für Geo-Kommunikation (2000 – 2002): Lexikon der Geowissenschaften. Band 5, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 6 Bände.
- Lausch, A. & Herzog, F. (2002): Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators* 2: 3–15.
- Li, H. & Reynolds, J. F. (1993): A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* 8(3): 155–162.
- Li, H. & Wu, J. (2004): Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology* 19(4): 389–399.
- McGarigal, K. & Marks, B. J. (1995): Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122 S.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C. & Ene, E. (2002): FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available online at the following web site: [www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html)
- Neef, E. (1981): Der Verlust der Anschaulichkeit in der Geographie und das Problem der Kulturlandschaft. *Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse* 115(6): 15–28.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S., Dale, V. H. & Graham, R. L. (1988): Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153–162.
- Penn-Bressel, G. (2005): Begrenzung der Landschaftszerschneidung bei der Planung von Verkehrswegen. *GAIA* 14(2): 130–134.
- Renn, O., Léon, C. & Clar, G. (2000): Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg. Statusbericht 2000. Langfassung. Arbeitsbericht Nr. 173. Akademie für Technikfolgenabschätzung, Selbstverlag, Stuttgart.
- Riitters, K. H., O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D., Yankee, D. H., Timmins, S. P., Jones, K. B. & Jackson, B. L. (1995): A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10(1): 23–39.
- Scheringer, M., Mathes, K., Weidemann, G. & Winter, G. (1998): Für einen Paradigmenwechsel bei der Bewertung ökologischer Risiken durch Chemikalien im Rahmen der staatlichen Chemikalienregulierung. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 11(2): 228–234.
- Sidentop, S. (1999): Kumulative Landschaftsbelastungen durch Verstädterung. Methodik und Ergebnisse einer vergleichenden Bestandsaufnahme in sechs deutschen Grossstadtregionen. *Natur und Landschaft* 74(4): 146–155.
- Sidentop, S. (2005): Urban Sprawl – verstehen, messen, steuern. Ansatzpunkte für ein empirisches Mess- und Evaluationskonzept der urbanen Siedlungsentwicklung. *DISP* 160: 23–35.
- Turner, M. G. (1989): Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual review of ecology and systematics* 20: 171–197.
- Turner, M. G. & Gardner, R. H. (Hrsg.) (1991): Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. Springer, New York, 536 S.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2003): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr. Materialienband. Texte 90/03, 324 S.

- Vos, C. C., Verboom, J., Opdam, P. F. M. & Ter Braak, C. J. F. (2001): Toward ecologically scaled landscape indices. *American Naturalist* 183(1): 24–41.
- Whitcomb, R. F., Robbins, C. S., Lynch, J. F., Whitcomb, B. L., Klimkiewicz, M. K. & Bystrak, D. (1981): Effects of forest fragmentation on avifauna of the eastern deciduous forest. – In: Burgess, R. O. & Sharpe, D. M. (Hrsg.): *Forest island dynamics in man-dominated landscapes*. Springer-Verlag, New York: 125–205.
- Wolters, G. (1995): Qualität/Quantität. – In: Mittelstrass, J. (Hrsg.): *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Band 3. J. B. Metzler, Stuttgart: 428 u. 438.

Festschrift für  
Prof. Dr. Klaus C. Ewald  
anlässlich  
seiner Emeritierung  
im Jahr 2006

Herausgeber:  
Karl Martin Tanner  
Matthias Bürgi  
Thomas Coch

Autorinnen und Autoren:

Klaus Aerni  
Bruno Baur  
René Bertiller  
Andres Betschart  
Mario Broggi  
Peter Duelli  
Hans-Rudolf Egli  
Patricia Felber  
Wolfgang Haber  
Marcel Hunziker  
Jochen Jaeger  
Beate Jessel  
Felix Kienast  
Werner Konold  
Martin Lendi  
Michael Lütolf  
Werner Nohl  
Raimund Rodewald  
Nina Schneeberger  
Hanspeter Schneider  
Thomas Walter  
Hans Weiss  
Otto Wildi

Haupt Verlag  
Bern Stuttgart Wien

# Landwirtschafts- qualitäten

 Haupt

# Impressum

Diese Publikation wurde mit finanziellen Beiträgen unterstützt von:

- Klaus Aerni, ViaStoria, Bern
- Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (scnat), Bern
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf
- Wolfgang Haber, TU München-Weihenstephan
- Beate Jessel, Universität Potsdam
- Kober Schwabe-Stiftung für Natur- und Landschaftsschutz, Arlesheim
- Professur für Natur- und Landschaftsschutz, ETH Zürich
- Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL), Bern

Zitierung: Tanner, K. M., Bürgi, M. & Coch, T. (Hrsg.) (2006): Landschaftsqualitäten. Bern/Stuttgart/Wien, Haupt. 320 S.

Gestaltung/Druckvorstufe: Markus Kappeler, Röschenz

Abbildung Umschlag vorn: Das Waldenburgerthal im Oberbaselbiet aus der Vogelschau – ein abwechslungsreiches Mosaik aus Landwirtschafts-, Wald- und Siedlungsflächen prägt die Landschaft (Aufnahme vom 7. August 1998; © Bundesamt für Landestopografie).  
Abbildung Frontispiz: Porträt Klaus C. Ewald (Aufnahme vom 17. Juli 2003; Foto: Susi Lindig, Zürich)

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-258-07048-2

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright © 2006 by Haupt Berne

Jede Art der Vervielfältigung ohne Genehmigung des Verlages ist unzulässig.

Printed in Germany

[www.haupt.ch](http://www.haupt.ch)

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Herausgeber	7
Beruflicher Werdegang von Klaus Christoph Ewald	11
<b>Grundlagen</b>	
<i>Hans Weiss:</i> Was heisst Qualität der Landschaft?	15
<i>Raimund Rodewald:</i> Von der Qualität der Landschaft	23
<i>Marcel Hunziker:</i> Wahrnehmung und Beurteilung von Landschaftsqualitäten – ein Literaturüberblick	39
<i>Martin Lendi:</i> Integrierender Zutritt zur Landschaftsplanung – die Lebensraumverfassung, das Prinzip der Nachhaltigkeit	57
<i>Wolfgang Haber:</i> Nachhaltigkeit und Wahrung der biologischen Vielfalt als Qualitätsansprüche an die Landschaftsentwicklung	81
<i>Peter Duelli:</i> Biodiversität als Landschaftsqualität	103
<i>Hans-Rudolf Egli:</i> Landschaftsbewertung – die Grenzen der Wissenschaft	117
<b>Methoden</b>	
<i>Otto Wildi:</i> Das Zeitalter der Landschaftsinventare	133
<i>Klaus Aerni, Andres Betschart &amp; Hanspeter Schneider:</i> Das Inventar historischer Verkehrswege der Schweiz (IVS) als Instrument zur Landschaftspflege	145
<i>Jochen Jaeger &amp; René Bertiller:</i> Aufgaben und Grenzen von Messgrössen für die Landschaftsstruktur – das Beispiel Zersiedelung	159
<i>Felix Kienast, Michael Lütolf, Patricia Felber &amp; Nina Schneeberger:</i> Retrospektive Analyse der Landschaftsqualität und ihr Einfluss auf Artverbreitung und Wahrnehmung	185
<i>Beate Jessel:</i> Zwischen Theorie und Praxis – landschaftliche Eigenart im Naturschutz und in der Eingriffsregelung	195
<b>Beispiele</b>	
<i>Werner Nohl:</i> Auswirkungen von grosstechnischen Baustrukturen auf das Landschaftsbild	215
<i>Thomas Walter:</i> Ökologischer Ausgleich und Biodiversität	233
<i>Bruno Baur:</i> Konkurrierende Raumnutzungen: Forstwirtschaft, Erholung und Naturschutz in stadtnahen Wäldern	243
<i>Mario Broggi:</i> Liechtensteinische Raumentwicklung – Status, Bilanz und Perspektiven	263
<i>Werner Konold:</i> Wälder im Waldland aus landespflegerischer Sicht	293
Anschriften der Autorinnen, Autoren und Herausgeber	319