

Patterns LANDSCAPES GEOLOGY

WIEDERHOLUNG

Was ist der Grund für Landschaftsheterogenität?

- Abiotische Bedingungen (Boden, Topographie, Klima, ...)
- Biotische Interaktionen (Sukzession, Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen, Parasitismus, Ausbreitung, ...)
- Störungsregime (natürlich vs anthropogen)



BS
UP

Störungsereignisse - Charakteristika

- Fläche, Ausdehnung
- Häufigkeit, Wahrscheinlichkeit des Auftretens [Hfkt. pro Jahr]
- Wiederkehrintervall = $1/\text{Häufigkeit} = 1/\text{Frequenz}$
- Intensität / *intensity* (gemessen in geeigneter physikal. Einheit: z.B. Temperatur eines Feuers, Windgeschwindigkeit)
- Schwere / *severity* (bezogen auf den Effekt, gemessen in Mortalität, Anteil zerstörter Biomasse)
- Vorhersagbarkeit; Synergismen; räumlicher Zusammenhang; Ausbreitungsgeschwindigkeit („Ansteckungsgefahr“ / *contagion*)
- Tiefe (bei Eingriffen in die Vegetationsdecke sind die Folgen ober- bzw. unterirdischer Störungsereignisse unterschiedlich)

Stabilität & Persistenz et al. - Definitionen

- Stabilität / *stability*
Tendenz eines Systems, auf einem stabilen Zustand zu bleiben
- Persistenz / *persistence*
Zeitraum, in dem ein System in einem definierten Zustand bleibt
- Resistenz / *resistence*
Fähigkeiten eines Systems, Störungen abzapuffern
- Elastizität, Resilienz / *resilience*
Fähigkeit eines Systems, zum Zustand vor der Störung zurückzukehren
- Wiederherstellung / *recovery*
Geschwindigkeit, den vorherigen Zustand nach einer Störung wieder zu erreichen.

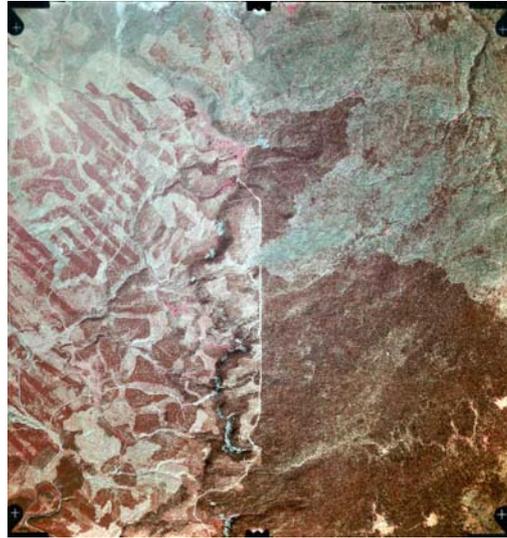
Quantifizierung der Heterogenität

Warum Quantifizierung?

- Landschaftswandel
z.B.
Westgrenze des
Yellowstone-National-
Parks

rechts: Nationalpark
mit geschlossener
Waldbedeckung

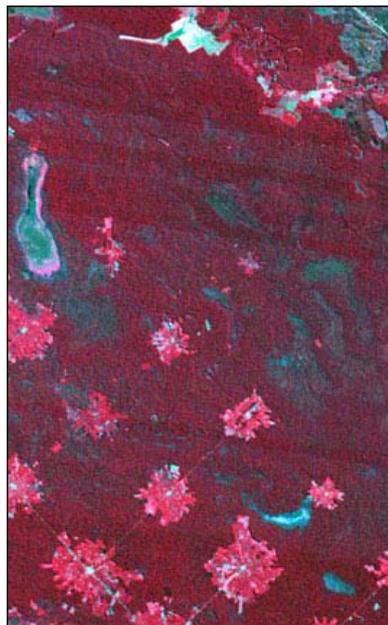
links: verteilte
Kahlschläge in privaten
Et staatlichen Wäldern



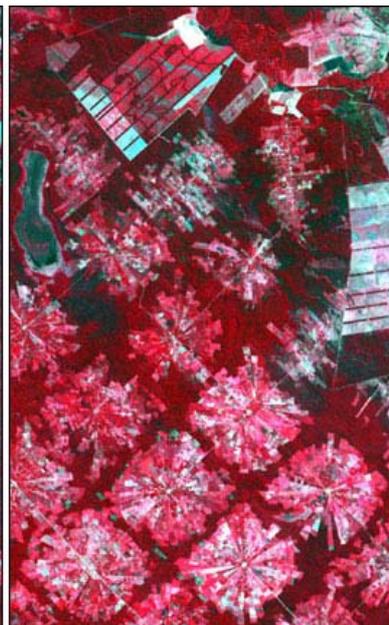
BS
UP

Turner MG, Gardner RH & O'Neill RV 2001. Landscape ecology in theory and practice - pattern and process. - Springer.

Quantifizierung der Heterogenität



August 4, 1986 (Landsat)



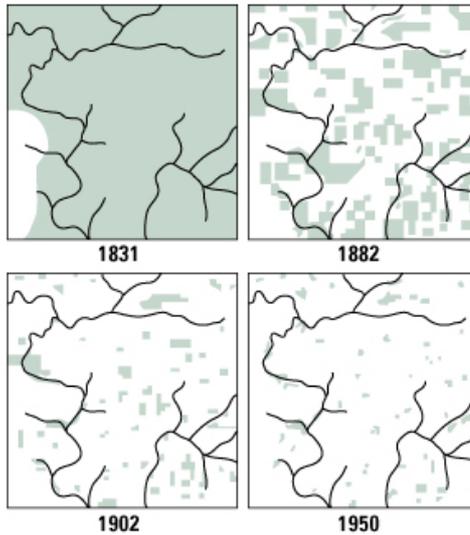
August 11, 2001 (ASTER)

BS
UP

Quantifizierung der Heterogenität

Warum Quantifizierung?

- Landschaftswandel
z.B.
Waldeckung in
Cadiz Township
(Wisconsin)
- Vergleich
- Bewertung
- Beziehung zwischen
Pattern & process
herstellen

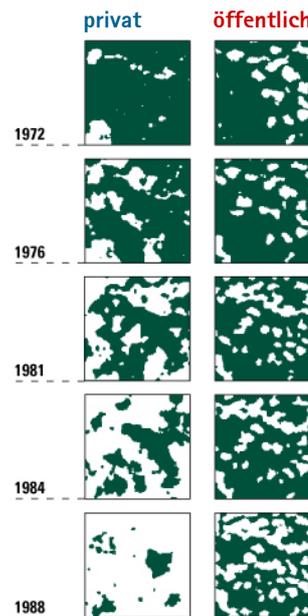


Curtis 1956

Quantifizierung der Heterogenität

Warum Quantifizierung?

- Landschaftswandel
z.B.
Waldentwicklung in Oregon
- Vergleich zwischen **privaten**
und **öffentlichen** Flächen
[2500 ha]



Turner MG et al. 2001. Landscape ecology in theory & practice.

Spies TA et al. 1994. Dynamics and pattern of a managed coniferous forest landscape in Oregon. – Ecol. Appl. 4: 555-568.

Patchiness vs Gradienten

BS
UP

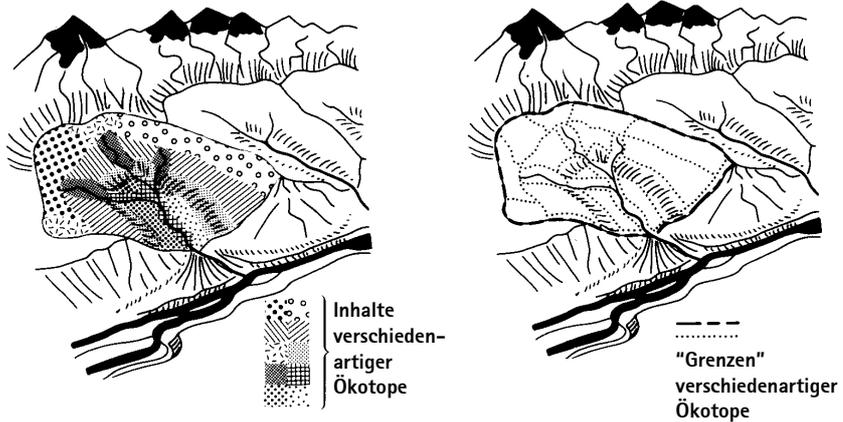
Leser – Terminologie: Ausweisung von Arealen

LANDSCHAFTSKONZEPT
BS
UP

- **naturräumliche Gliederung**
→ **statische Raumstrukturforschung**
Klassifikation aufgrund von visuell wahrnehmbaren Geofaktoren
(Relief, Boden, Oberflächenwasser, Vegetation)
 - Prinzip: visuell erkennbare Muster = Ausdruck der Prozesse
 - Betonung der Grenzen! (vs Ökotope!)
- **naturräumliche Ordnung**
→ **Ökosystemforschung & Landschaftsökologie**
Klassifikation aufgrund von ökologischen Funktionseinheiten!
 - homogener Stoff- & Energiehaushalt
(Bodenwasserhaushalt, Boden, Vegetation)
 - Bilanzierung in den Topen
 - keine Betonung der Grenzen

Leser, H. 1991. Landschaftsökologie. – Ulmer (S. 210 ff.).

Leser – Terminologie: naturräumliche Ordnung



Leser, H. 1991. Landschaftsökologie. – Ulmer (S. 213).

Konzepte für Landschaften



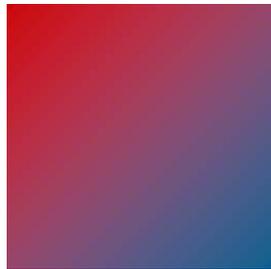
Patch-Korridor-Matrix:

Ausdehnung, Form und räumliche Anordnung der Landschaftselemente definieren das Landschaftsmuster.

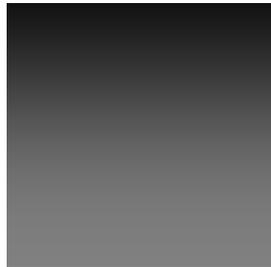
Landschaftskontinuum:

Gradienten bestimmen das Muster der Landschaft.

Gradienten vs Patches

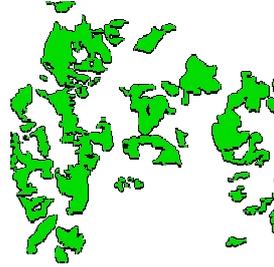


Gradienten



McGarigal (2001)

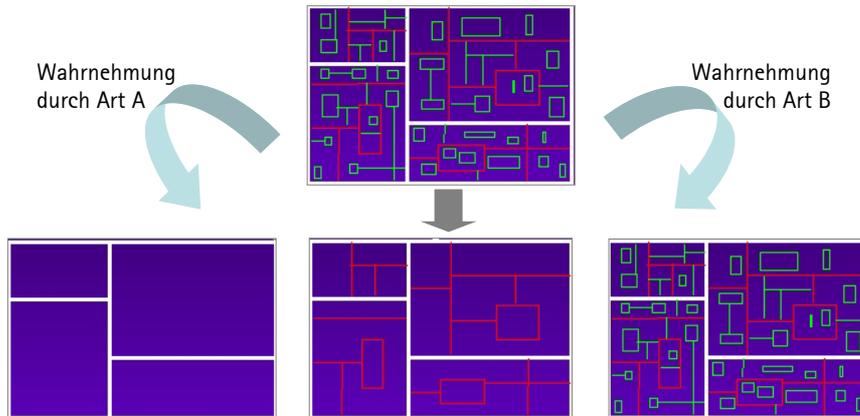
Patches



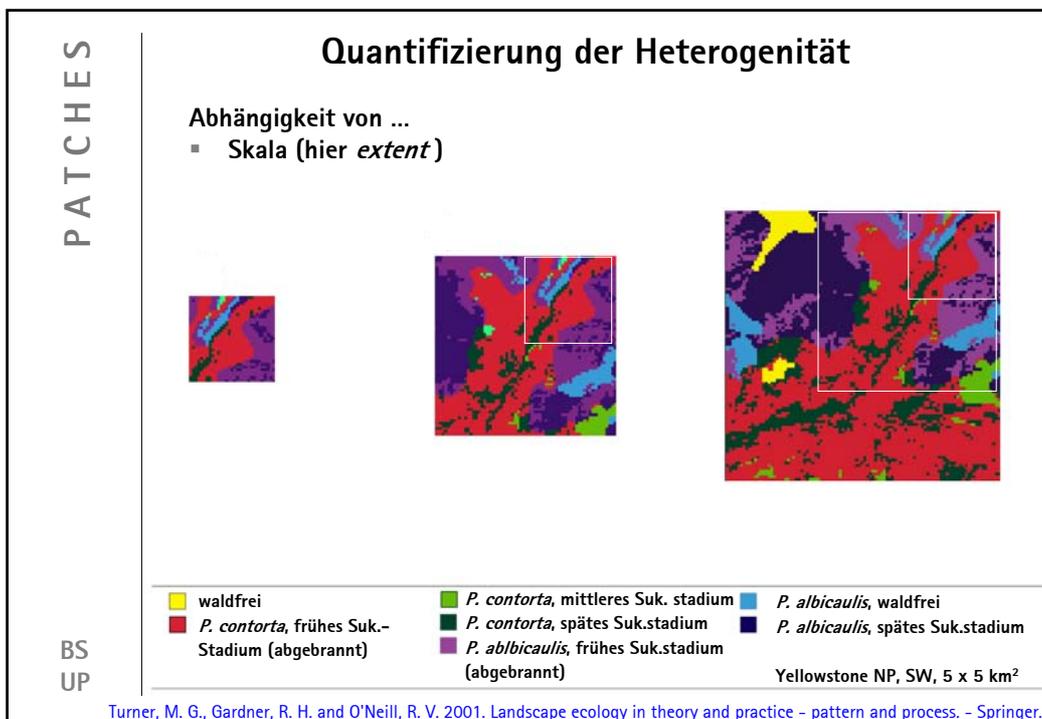
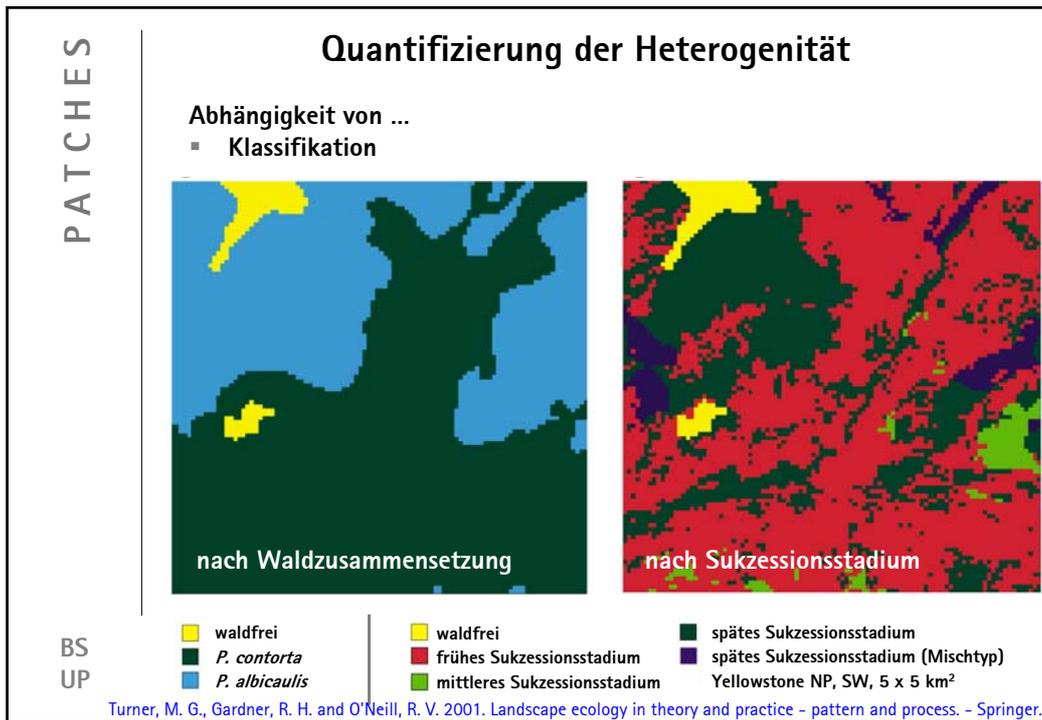
Patches

Definition: relativ diskrete Flächen mit relativ homogenen Umweltbedingungen und mit Grenzen, die für das jeweilige Bezugsobjekt relevant sind.

Hierarchische Patchstruktur: Patches sind dynamisch & skalenabhängig.



Patches müssen i) hinsichtlich eines spezifischen Phänomens definiert & ii) auf eine spezifische Skala bezogen werden!



Quantifizierung der Heterogenität

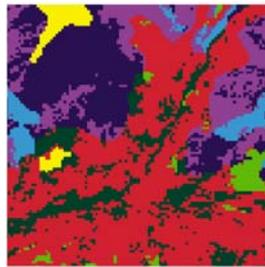
Abhängigkeit von ...

- Skala (hier *grain*)

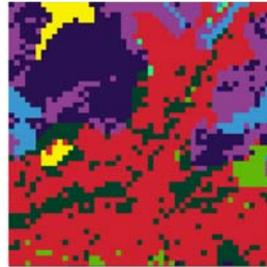
Detaillierte Studien:

Wu J et al. 2002. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. – Landscape Ecol. 17: 761–782.

Wu, J. 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. – Landscape Ecology 19: 125–138.



Auflösung: 50 x 50 m²



Auflösung: 100 x 100 m²



Auflösung: 200 x 200 m²

■ waldfrei	■ <i>P. contorta</i> , mittleres Suk. stadium	■ <i>P. albicaulis</i> , waldfrei
■ <i>P. contorta</i> , frühes Suk.-Stadium (abgebrannt)	■ <i>P. contorta</i> , spätes Suk.stadium	■ <i>P. albicaulis</i> , spätes Suk.stadium
	■ <i>P. albicaulis</i> , frühes Suk.stadium (abgebrannt)	
Yellowstone NP, SW, 5 x 5 km ²		

Turner, M. G., Gardner, R. H. and O'Neill, R. V. 2001. Landscape ecology in theory and practice – pattern and process. – Springer.

Gründe für Patchiness

Patchtypen in der Landschaftsökologie und zugrunde liegende Mechanismen:

- *spot disturbance patches*, durch lokale Störungen
- *remnant patches*, durch großräumige Störungen
- *environmental resource patches*, durch heterogene Ressourcenverteilung
- *introduced patches*, durch menschliche Störungen
- *ephemeral patches*, durch vorübergehende Ressourcenveränderungen

Forman RTT & M Godron. 1986. Landscape Ecology. John Wiley, New York.

Skalenabhängige Prozesse, die Patchiness hervorrufen

Lokalskala [0.1 .. x0 m, d .. x0 a]

- vegetative Prozesse,
bestimmen Pflanzenwachstum, -form & Bodenstruktur

Mesoskala [0.1 .. x00 km, a .. x0 a]

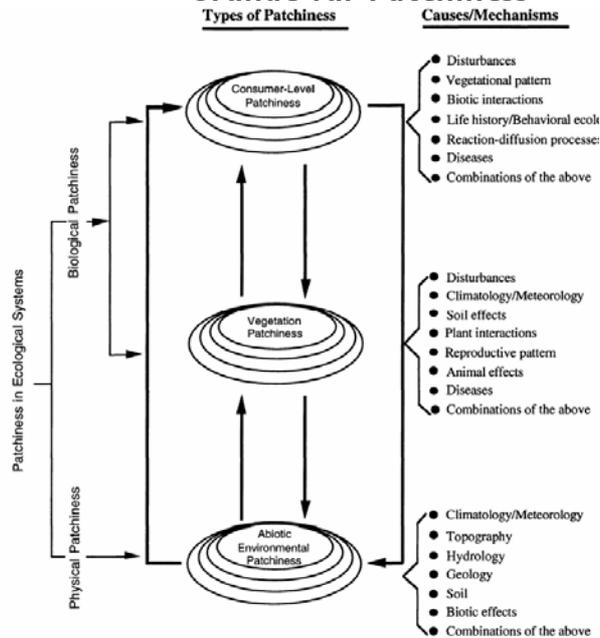
- zusammenhängende Störungsprozesse wie
Feuer, Insektenkalamitäten, Pflanzenkrankheiten

Makroskala [x00 .. x000 km, x00 .. x000 a]

- geomorphologische Prozesse,
bestimmen Topographie & großskalige Bodenstruktur

Holling, C. S. 1992. Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems. *Ecological Monographs* 62:447-502.

Gründe für Patchiness



Wu J & OL Loucks. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quart Rev Biol* 70:439-466.

Patch- identifikation

BS
UP

PATCHES

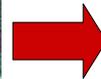
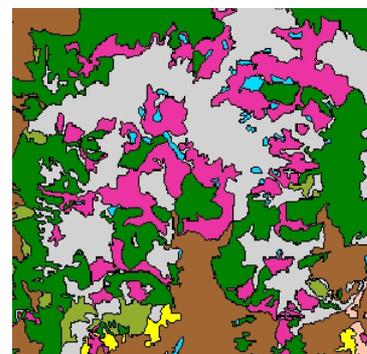
Verfahren der Patchidentifikation - Digitalisieren

- Vektordaten durch Digitalisierung von Fernerkundungsdaten

Luftbild



Vektordaten



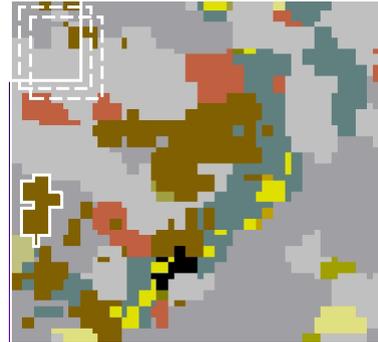
BS
UP

Verfahren der Patchidentifikation - Aggregation

Rasterdaten - einfache Aggregation:

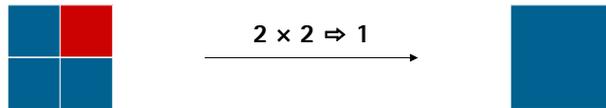
Zusammenfassen aller aneinander grenzenden Flächen / Pixel, welche dieselben oder ähnliche Werte für das interessierende Attribut aufweisen.

Rasterdaten



Quantifizierung der Heterogenität

Aggregationsregeln - Aggregationsfehler



Aggregation verringert Gittergröße auf $\frac{1}{4}$

Anteil Typ A: p | Anteil Typ B: $(1-p)$

- Regel I (*majority*): mindestens 3 Zellen = A, damit A resultiert

: Fehler = 0 bei $p = 0$, $p = 1$ und $p = 0.76$

$$p_{neu} = p^4 + 4p^3(1-p)$$

- Regel II (50%): mindestens 2 Zellen = A, damit A resultiert

: Fehler = 0 bei $p = 0$, $p = 1$ & $p = 0.24$

$$p_{neu} = p^4 + 4p^3(1-p) + 6p^2(1-p)^2$$

- Regel III (*average*): wenn 2 Zellen = A, dann Zufall, sonst Regel I

: Fehler = 0 bei $p = 0$, $p = 1$ & $p = 0.5$; bewahrt p !!

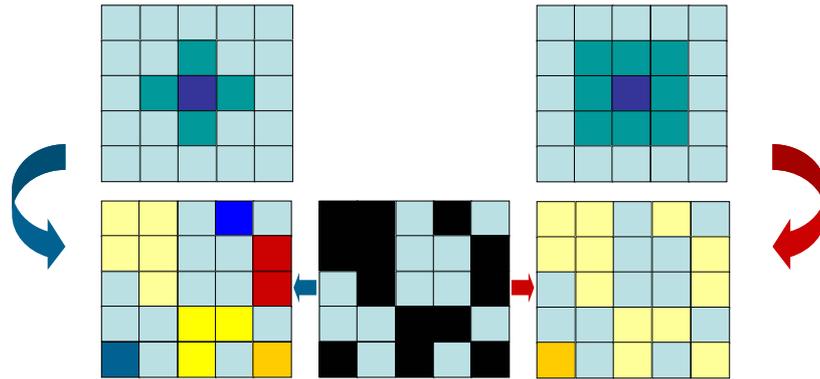
$$p_{neu} = p^4 + 3(p^3(1-p)) + 3(p^2(1-p) + p(1-p)^3)$$

Verfahren der Patchidentifikation - Aggregation

- Rasterdaten: einfache Aggregation

Regel I : Turmnachbarschaft, d.h.
benachbarte Kanten
4er-Nachbarschaft
von-Neumann-Nachbarschaft

Regel II : Damennachbarschaft, d.h.
benachbarte Ecken
8er-Nachbarschaft
Moore-Nachbarschaft



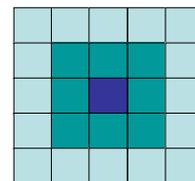
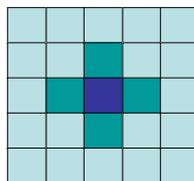
Verfahren der Patchidentifikation - Aggregation

- Einfache Aggregation - Ausweitung des Einflussbereiches

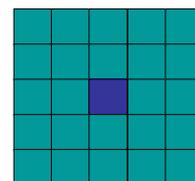
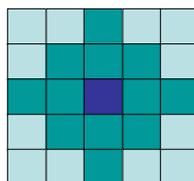
Regel I : Turmnachbarschaft

Regel II : Damennachbarschaft

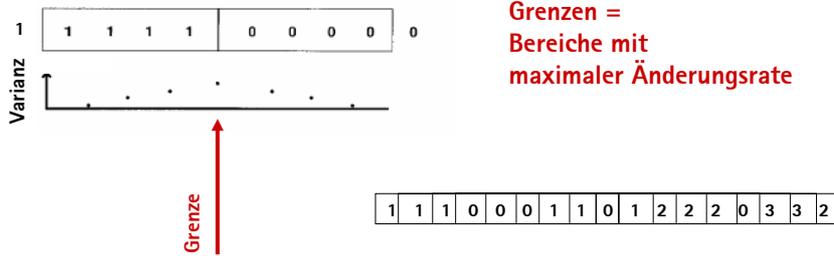
Nachbarschaft
1. Grades



Nachbarschaft
2. Grades



Patchidentifikation & Suche nach (Patch-)Grenzen

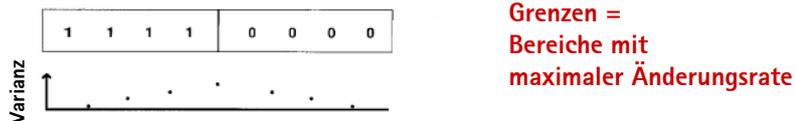


- (1) *Moving-window* wird in Transekten über die Daten geführt
- (2) Berechnung der Varianz von aneinandergrenzenden Punkten
- (3) Grenze liegt dort, wo die Varianz am höchsten ist

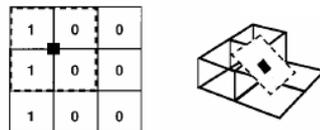
Johnston, C. A., Pastor, J. and Pinay, G. 1992. Quantitative methods for studying landscape boundaries. – In: Hansen, A. and Castri, d. (eds.), Landscape Boundaries: consequences for biotic diversity and ecological flows. Springer, pp. 106-125.

Patchidentifikation & Suche nach (Patch-)Grenzen

MOVING SPLIT-WINDOW

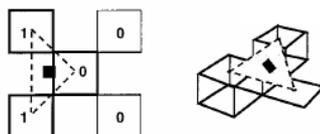


LATTICE-WOMBLING *vgl. Raster-DGM*



Änderungsrate:
Neigung des Quadrats, das für jeweils 4 benachbarte Pixel berechnet wird.

TRIANGULATION-WOMBLING *vgl. TIN-DGM*



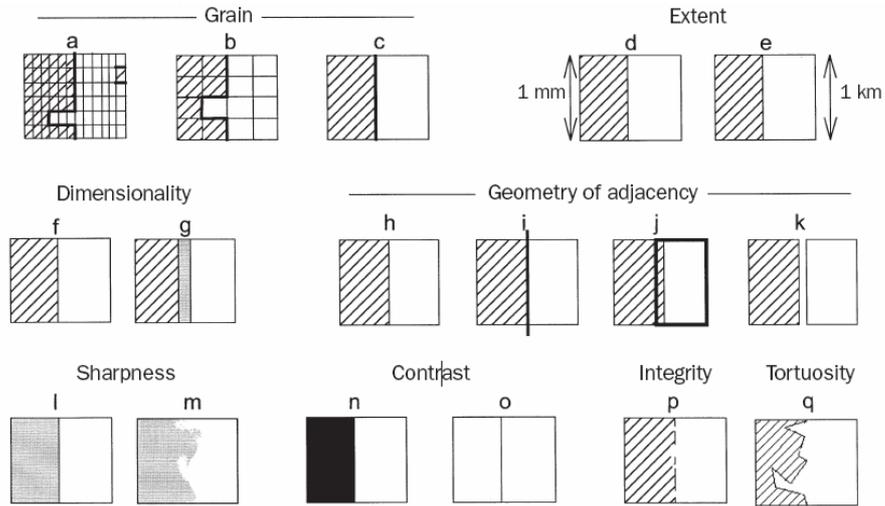
Änderungsrate:
Neigung des Dreiecks, das für jeweils 3 benachbarte Pixel berechnet wird.

Bei mehreren Variablen wird die mittlere Änderungsrate für alle Variablen berechnet.

Fortin, M.-J., et al. 2000. Issues related to the detection of boundaries. – Landscape Ecology 15: 453-466.

Grenzen, Ökotope, *Boundaries, Ecotones, Edges*

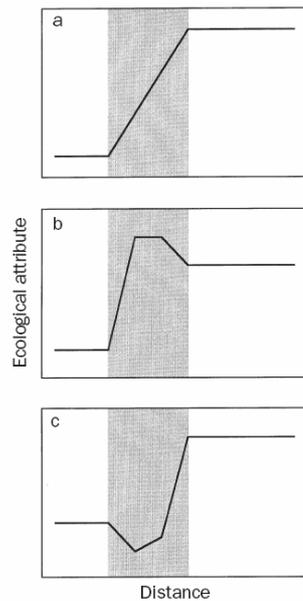
räumliche Struktur: Beispiele



Strayer, DL, ME Power, WF Fagan, STA Pickett, and J Belnap. 2003. A classification of ecological boundaries. *Bioscience* 53:723-729.

Grenzen, Ökotope, *Boundaries, Ecotones, Edges*

räumliche Struktur: Beispiele (Lidicker 1999)



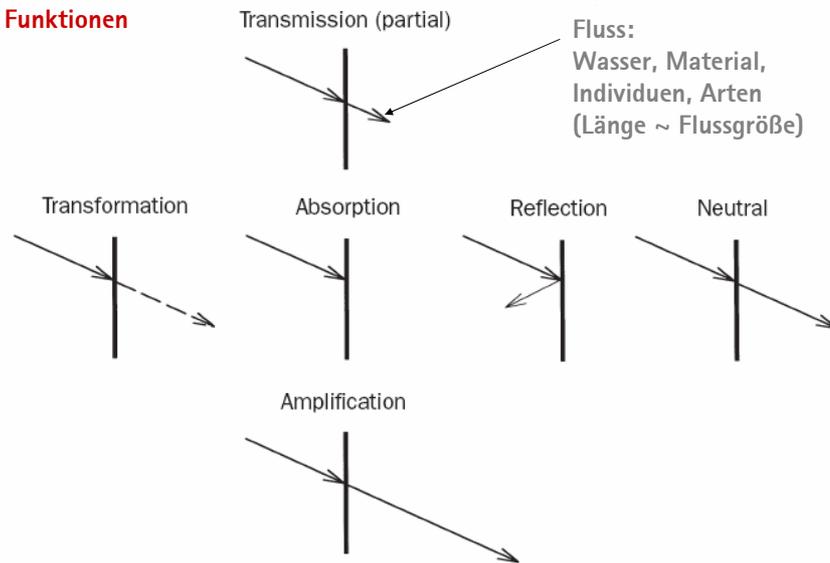
- nicht-interaktiv
- interaktiv

Lidicker, W. Z. 1999. Responses of mammals to habitat edges: An overview. *Landscape Ecology* 14:333-343.

Strayer, DL, ME Power, WF Fagan, STA Pickett, and J Belnap. 2003. A classification of ecological boundaries. *Bioscience* 53:723-729.

Grenzen, Ökotone, *Boundaries, Ecotones, Edges*

Funktionen



Strayer, DL, ME Power, WF Fagan, STA Pickett, and J Belnap. 2003. A classification of ecological boundaries. *Bioscience* 53:723-729.

Korridore

Korridor = lineare Elemente eines Typs, der sich von seiner beiderseitigen Umgebung unterscheidet.



Korridore

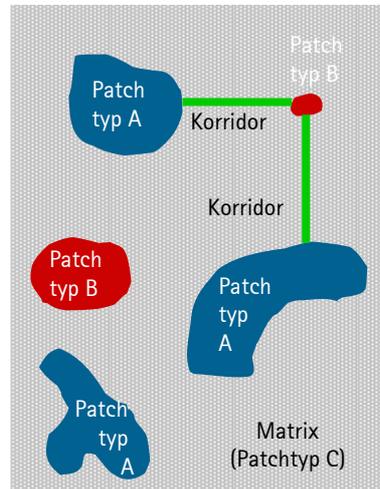
Definition auf der Basis struktureller Attribute.

Interne Struktur:

- Korridorbreite und -länge
- Kontrast gegenüber der Matrix
- Lage relativ zu Umweltgradienten
- interne Bedingungen

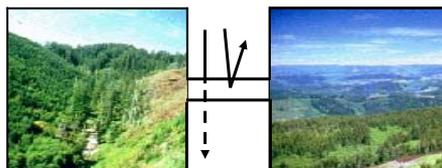
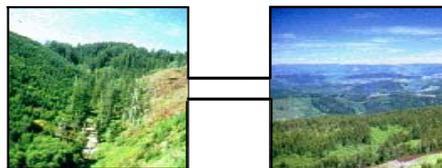
Externe Struktur:

- Form, Geradlinigkeit
- Ausrichtung zu benachbarten Patches
- Konnektivität



Korridore

Definition auf der Basis funktioneller Attribute.



Habitatkorridore:

erhöhen Konnektivität, Habitats, die Ausbreitung & Genfluss durch die Landschaft erleichtern.

Korridore erleichterter Bewegung:

erhöhen Konnektivität, erleichtern Bewegung & Ausbreitung durch die Landschaft.

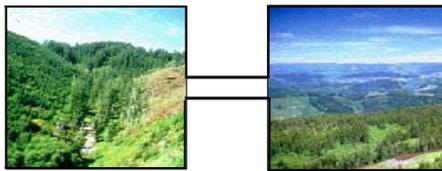
Barrieren:

Verhindern oder behindern/filtern die Bewegung von Organismen durch die Landschaft.

Korridore

Korridore erleichterter Bewegung:

erhöhen Konnektivität, erleichtern Bewegung & Ausbreitung.



z.B.

- Straßen, Wege, Stromleitungen
- Waldstreifen, Hecken, Knicks
- Fließgewässer

Eigenschaften von Organismen und Korridoren

Selektivität – Ausmaß, in dem ein Organismus zwischen Habitatpatches unterscheiden kann und so in der Lage ist, die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Ausbreitung zu maximieren.

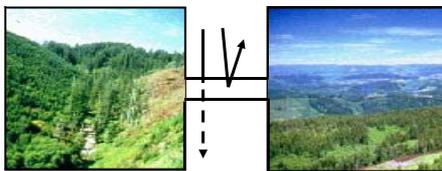
Resistenz – Überlebenskosten pro Zeiteinheit Aufenthalt in einem Korridor.

Geschwindigkeit – durchschnittl. Bewegungsrate in einem Korridor.

Korridore

Barrieren:

Verhindern oder behindern/filtern die Bewegung von Organismen.



z.B.

- Straßen, Wege, Stromleitungen
- Waldstreifen, Hecken, Knicks
- Fließgewässer

Mögliche Filterwirkungen abhängig von:

- Korridorbreite
- Häufigkeit von (z.B. menschlichen) Störungen im Korridor
- Mobilität und Verhalten der Organismen

Matrix

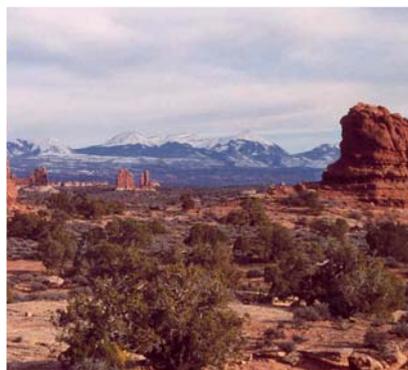
Matrix = das häufigste & am stärksten zusammenhängende Landschaftselement spielt normalerweise die dominante Rolle in der Landschaftsfunktion.

- Matrix wird definiert mit Hinsicht auf ein Zielobjekt (Organismus, Prozess)
- Matrix ist dynamisch in Raum und Zeit.
- Definition der Matrix beeinflusst die Interpretation von Landschaften und die Berechnung von Landschaftsmaßzahlen / *landscape metrics*.



Landschaftskontinuum

- In einigen Landschaften können Patches, Korridore und Matrix nur schwerlich definiert werden.
- Kleine, isolierte Elemente sind zu klein, um alleine als Habitate zu dienen, wohl aber zusammen mit anderen.
(sind nicht der Matrix zuzuordnen).



Patch- beschreibung

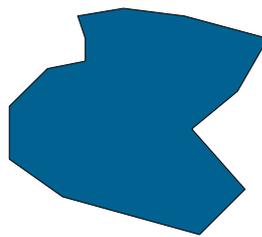
BS
UP

Quantifizierung der Heterogenität

PATCHES

Beschreibung von Patches

- Fläche / *area*
- Umfang / *perimeter*
- Typ, Wert
- Nachbarschaft



Grundlage aller Indizes (hohe Korrelation untereinander)

BS
UP

Quantifizierung der Heterogenität – *landscape metrics*

Ebenen der Patchiness (vgl. FragStats, McGarigal & Marks)

- patchbasierte Maße:
s. Beispiele von eben
- klassen-, typenbasierte Maße:
integriert über alle
Patches eines Typs
- Landschaftsindices,
Landschaftsmaßzahlen:
über alle Patchtypen,
für die gesamte Ausdehnung



Quantifizierung der Heterogenität

Komponenten der Landschaftsstruktur

- **Komposition / *landscape composition* :**
Variabilität und relative Häufigkeit der Landschaftselemente,
nicht räumlich, Diversitätsindices
- **Konfiguration / *landscape configuration* :**
räumliche Charakteristik und Verteilung der Landschaftselemente

Landscape Pattern Indices | Landscape Metrics

Landschaftskomposition:
nicht-räumliche Maßzahlen der Landschaftszusammensetzung

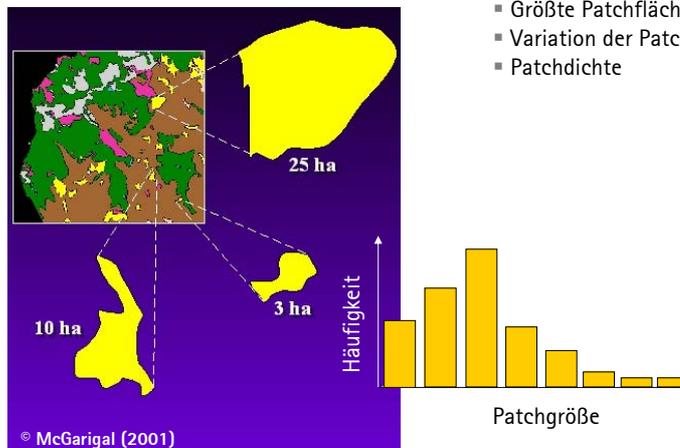
- Anteil der vom Typ i besetzten Fläche p_i mit $i = 1 \dots s$
Erwartungswert bei Gleichverteilung: $1/s$
- Relative Reichhaltigkeit / *relative richness* $R = \frac{s}{s_{max}} \cdot 100$
- Diversität / *diversity* $H \in [0,1]$
 $s =$ Anzahl der Typen
$$H = \frac{-\sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)}{\ln s}$$
- Dominanz / *dominance* $D \in [0,1]$
 $H_{max} = \ln s$, d.h. maximale Diversität
$$D = \frac{H_{max} + \sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)}{H_{max}}$$

Patch Metrics

Patchbasierte Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration

Flächengrößenverteilung

- Mittlere Patchgröße
- Größte Patchfläche
- Variation der Patchgröße
- Patchdichte

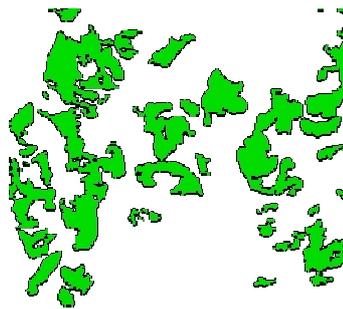


Patch Metrics

Patchbasierte Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration

Patchform

- Patchfläche & -umfang / *patch area & perimeter*
oft als Verhältnis von Umfang zu Fläche: P/A



komplexe Geometrie



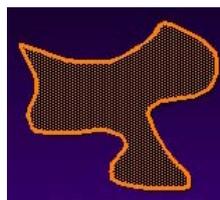
einfache Geometrie

Patch Metrics

Zu beachten: Abhängigkeiten von Datenformat und Auflösung

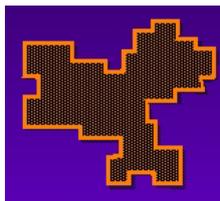
Datenformat

Vektor-
daten



Kantenlänge = 100

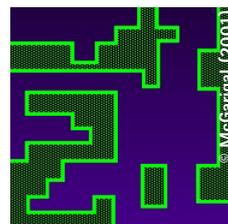
Raster-
daten



Kantenlänge = 130

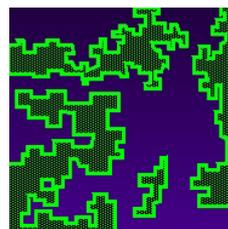
Grain

Coarse-
grained



Kanten-
länge
= 1000

Fine-
grained



Kanten-
länge
= 1500

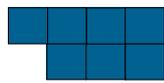
Patch Metrics

Komplexität der Form / *shape complexity*

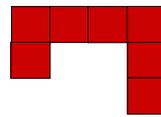
- Umfang/Fläche-Verhältnis / *perimeter/area ratio* = P/A
Nachteil: größenabhängig
bessere Alternative
- Formindex / *shape index*

relativ zu  $SHAPE = 0.25 \cdot P / \sqrt{A}$

relativ zu  $SHAPE = 0.5 \cdot P / \sqrt{\pi \cdot A}$



gleiche Fläche



geringes Umfang/Fläche-Verhältnis
geringe Komplexität

höheres Umfang/Fläche-Verhältnis
höhere Komplexität

Landscape Metrics

Fraktale Dimension / *fractal dimension D*

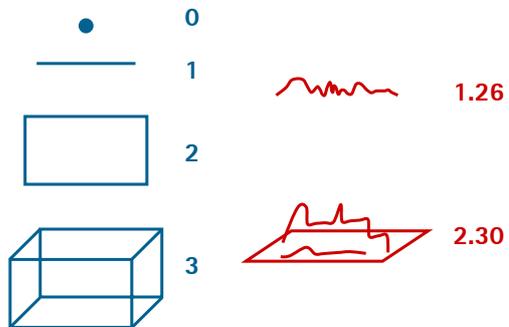
mit

$$r = 1/a = 1/(\text{Länge der Messlatte})$$

N : Anzahl der Schritte zur Bestimmung der Gesamtlänge mit Maß a

$$D = \frac{\log N}{\log r}$$

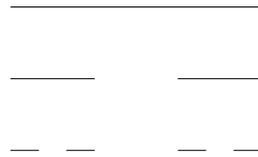
euklidische Dimension \leq fraktale Dimension



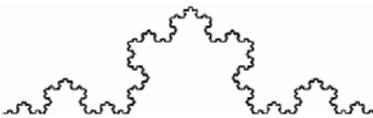
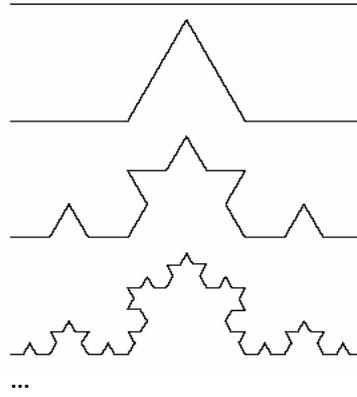
Fraktale

Beispiele besonderer Fraktale

- Cantormenge
- von Koch'sche kurve



$$D = \frac{\log 2}{\log 3} = 0.631$$



BS
UP

$$D = \frac{\log N}{\log \frac{1}{a}} \quad D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.262$$

Fraktale – L-Systeme

Beispiele besonderer Fraktale

- Cantormenge
- Koch'sche Kurve
- Sierpinski-Dreieck
- Juliamenge & Mandebrotmenge
- L(indenmayer)-Systeme (nach Aristid Lindenmayer):
Regelmengen zur Modellierung von Wachstumsprozessen

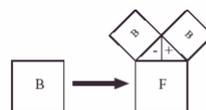
Beispiel:

- Axiom : B
 Regel 1 : B → F[-B]+B
 Regel 2 : F → FF

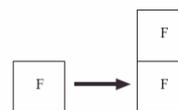
Axiom



Regel 1



Regel 2



BS
UP

- Axiom : Start mit Zelle B
 Regel 1 : jede B-Zelle teilt sich in eine F- und zwei B-Zellen
 Regel 2 : jede F-Zelle teilt sich in zwei F-Zellen

<http://www.ifi.unizh.ch/ailab/teaching/AL01/chapter2.pdf>

Fraktale – L-Systeme

Beispiele besonderer Fraktale

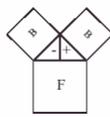
- Cantormenge
- Koch'sche Kurve
- Sierpinski-Dreieck
- Juliamenge & Mandebrotmenge
- L(indenmayer)-Systeme (nach Aristid Lindenmayer):
Regelmengen zur Modellierung von Wachstumsprozessen



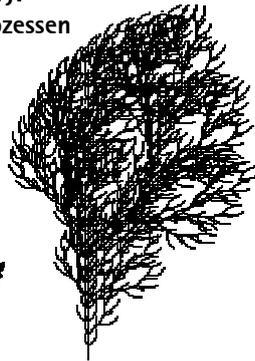
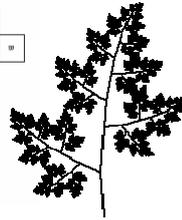
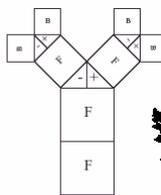
Schritt 0



Schritt 1



Schritt 2



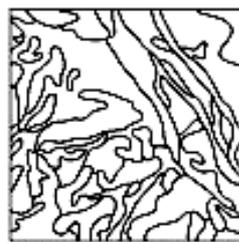
<http://www.ifi.unizh.ch/ailab/teaching/AL01/chapter2.pdf>

Fraktale

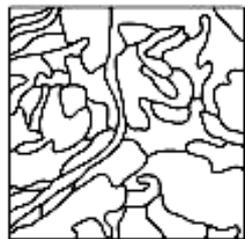
Selbstähnlichkeit bei Mustern in einer Bodenkarte über mehrere Skalen



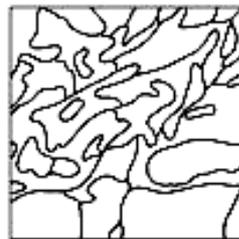
100 km



10 km



1 km



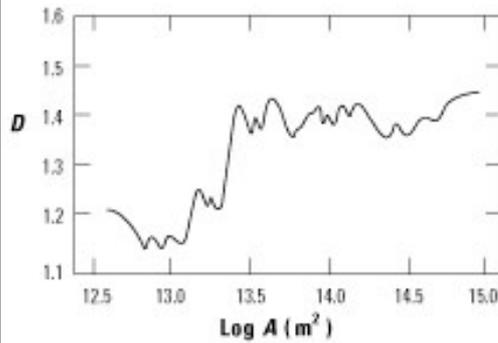
100 m

Burroughs 1986

Fraktale

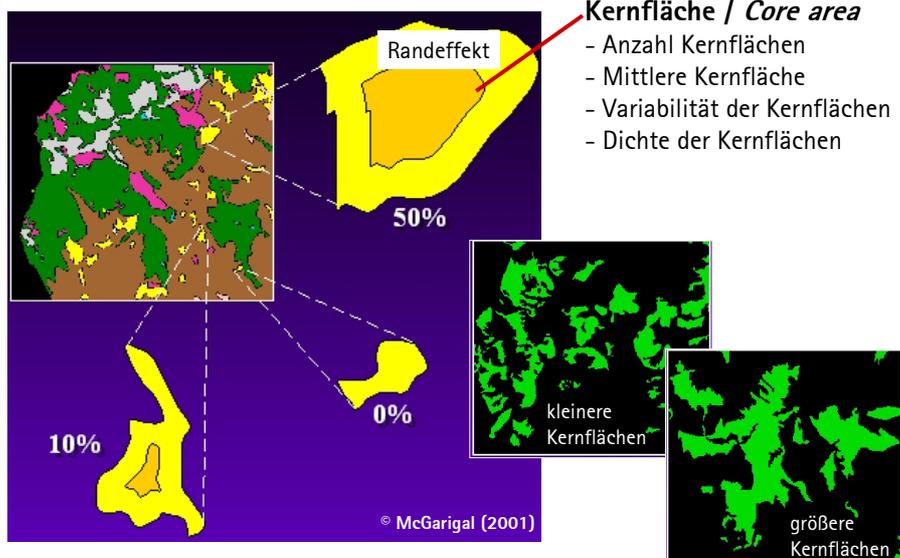
als Maß für die Form von Patches

Beispiel: fraktale Dimension von Waldpatches in Mississippi in Abhängigkeit von ihrer Größe



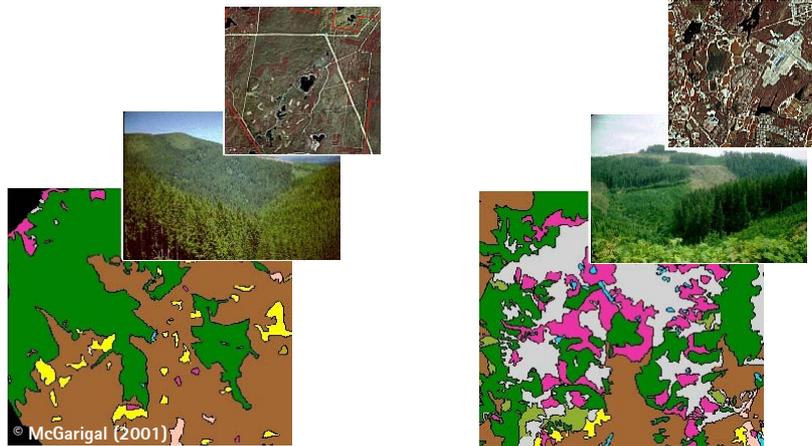
kleine Patches: einfach
große Patches: komplex

Landscape Pattern Indices | Landscape Metrics



Landscape Pattern Indices | Landscape Metrics

Kontrast / *contrast*



© McGarigal (2001)

gering

hoch

Landscape Pattern Indices | Landscape Metrics

Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration: Nachbarschaft

- Wahrscheinlichkeit der Nachbarschaft / *probability of adjacency* q
 n_i : Anzahl der Rasterelemente des Typs i
 $n_{i,j}$: Anzahl der Fälle, in denen die Typen i und j benachbart sind
(richtungsabhängig)

$$q_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_i}$$

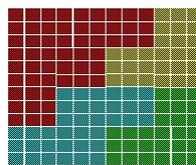
- Contagion** $\in [0,1]$ ("die Ansteckung/Seuche")
mit P_{ij} : Wahrscheinlichkeit, dass 2 zufällig gezogene benachbarte Pixel zu den Typen i und j gehören:

$$P_{ij} = P_i \cdot P_{ji}$$

$$C = \frac{1 + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s (P_{ij} \ln P_{ij})}{2 \ln s}$$



gering



hoch

© McGarigal (2001)

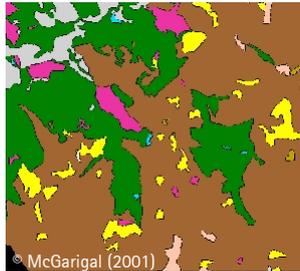
Landscape Metrics

Landschaftsbasierte Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration

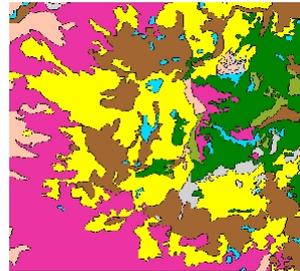
- Adjazenzindex / *Adjacency Index*
(angrenzend, unmittelbar benachbart)
- Einstreuungsindex / *Interspersion*

hohe *adjacency* / *contagion*

geringe *adjacency* / *contagion*



© McGarigal (2001)



geringe Einstreuung

hohe Einstreuung

Landscape Metrics

Patchbasierte Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration

- Nachbarschaftsindex / *Proximity Index* PX_i
mit s_j : Fläche von Patch k innerhalb der Suchdistanz
 n_j : Minimaldistanz zwischen Patches i und k

$$PX_i = \sum_{j=1}^k \frac{s_j}{n_j}$$

- *mean nearest neighbour distance*



schwache Isolation/hohe *proximity*

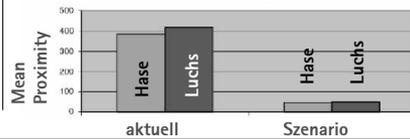
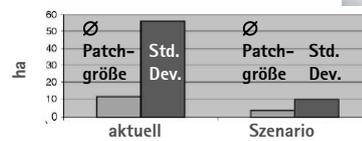
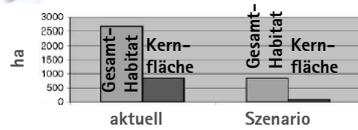
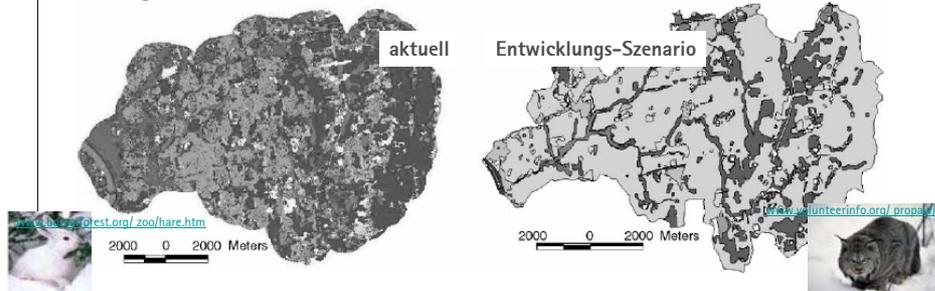


starke Isolation/geringe *proximity*

Wichtige Landschaftsmaßzahlen für die LS-Planung

Planungsbeispiel: Mill River – Einzugsgebiet

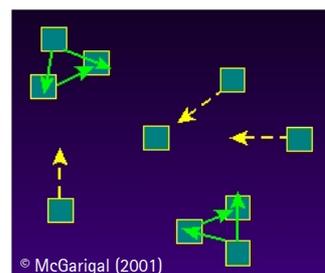
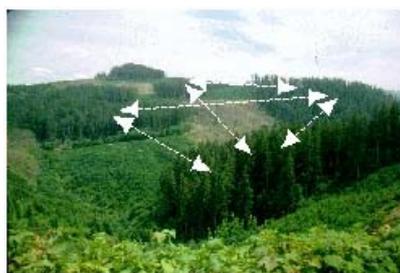
dunkelgrau: Habitats von Schneehase & Luchs



Botequilha Leitão, A. & Ahern, J. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. – Landscape and Urban Planning 59: 65-93.

Landscape Metrics - Konnektivität

Patchbasierte Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration



▪ Konnektivität I / *Connectance C*

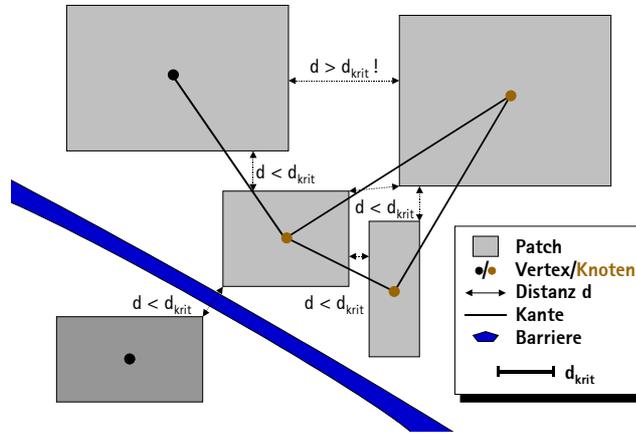
- c_i : funktionelle Verknüpfung der m Patches

- jedes Patchpaar ist entweder verknüpft (1) oder nicht (0)

- Nenner: max. Anzahl nicht redundanter paarweiser Verknüpfungen

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{n(n-1)/2}$$

Konnektivität - Korrelationslänge nach Keitt et al.



BS
UP

Schröder, B. 2000. Zwischen Naturschutz und Theoretischer Ökologie: Modelle zur Habitataignung und räumlichen Populationsdynamik für Heuschrecken im Niedermoor.
Keitt, T. H. et al. 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. – Cons. Ecol. 1: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art4>.

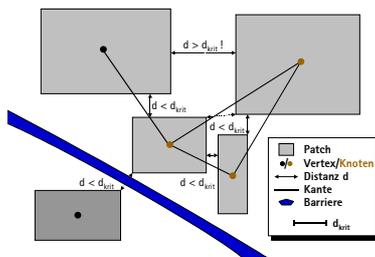
Landscape Metrics - Konnektivität

Patchbasierte Maßzahlen der räumlichen Landschaftskonfiguration

- Korrelationslänge C (flächengewichteter mittlerer Kreisradius R) / correlation length (area-weighted average radius of gyration)

für jedes Patch:
$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}$$

für die Landschaft:
$$C = \frac{\sum_{k=1}^m (n_k R_k)}{\sum_{k=1}^m n_k}$$



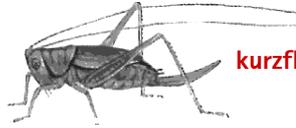
BS
UP

Keitt, T. H. et al. 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. – Cons. Ecol. 1: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art4>.

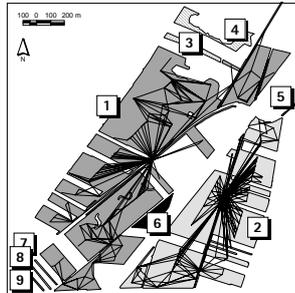
Interpretation:

C entspricht der durchschnittlichen Distanz, die man auf der Karte ausgehend von einem Zufallspunkt in zufälliger Richtung zurücklegen kann, ohne einen Patchtypen verlassen zu müssen.

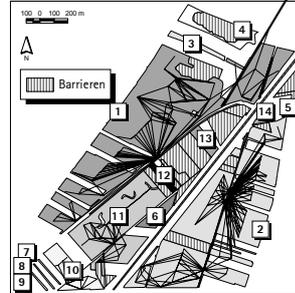
Habitatkonnektivitätsanalyse – Barrierewirkung



Patches definiert als Habitate der kurzflügeligen Schwertschrecke *Conocephalus dorsalis* durch Habitatmodellierung



ohne Barrieren – $d_{krit} = 10\text{ m}$
 180 Habitatpatches ergeben 9 Cluster
 mit Rotationsradien: 35 m bis 567 m
 $C = 482\text{ m}$



mit Barrieren – $d_{krit} = 10\text{ m}$
 180 Habitatpatches ergeben 14 Cluster
 mit Rotationsradien: 31 m bis 470 m
 $C = 362\text{ m}$

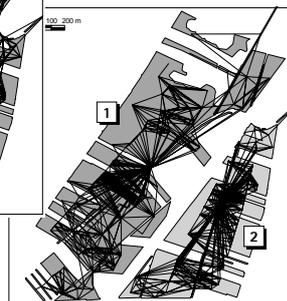
BS
UP

Schröder, B. 2000. Zwischen Naturschutz und Theoretischer Ökologie: Modelle zur Habitateignung und räumlichen Populationsdynamik für Heuschrecken im Niedermoor.

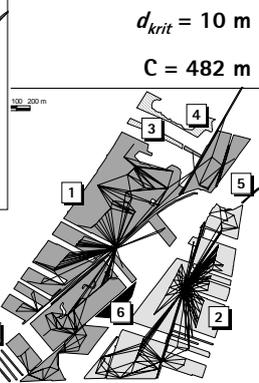
Habitatkonnektivitätsanalyse – kritische Habitatdistanz



$d_{krit} = 100\text{ m}$
 $C = 641\text{ m}$



$d_{krit} = 50\text{ m}$
 $C = 521\text{ m}$



$d_{krit} = 10\text{ m}$
 $C = 482\text{ m}$

BS
UP

Schröder, B. 2000. Zwischen Naturschutz und Theoretischer Ökologie: Modelle zur Habitateignung und räumlichen Populationsdynamik für Heuschrecken im Niedermoor.

Wichtige Landschaftsmaßzahlen für die LS-Planung

Landschaftsmaßzahlen

▪ Komposition

- Anzahl Patchtypen / *patch richness* PR
- Anzahl Patches / *patch number* PN
- Patchdichte / *patch density* PD
- mittl. Patchgröße / *mean patch size* MPS

▪ Konfiguration

- Patchform / *patch shape* SHAPE
- *Total edge contrast index* TECI
- Korrelationslänge / *correlation length* L
- Mittlerer Abstand zum nächsten Nachbarn
mean nearest neighbor distance / MNND
- Mittlere Proximitätsindex /
mean proximity index MPI
- Contagion / CONTAG

Ökologische Prozesse

▪ Landschaftsvereinfachung (Verringerung von Diversität & Heterogenität)

▪ Fragmentierung (erhöhte Isolation, verringerte Konnektivität)

▪ Ausbreitung von Störungen, Krankheiten oder Individuen (Konnektivität, Patchaggregation)

Zusammenfassung & Bewertung

Resumée *Landscape metrics*

Hier – nur eine Auswahl der gängigen Indices; weitere Indices bei:

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. W., Dale, V. H. and Graham, R. L. 1988. Indices of landscape patterns. – *Landscape ecology* 1: 153-162.

Schumaker, N. H. 1996. Using landscape indices to predict habitat connectivity. – *Ecology* 77: 1210-1225.

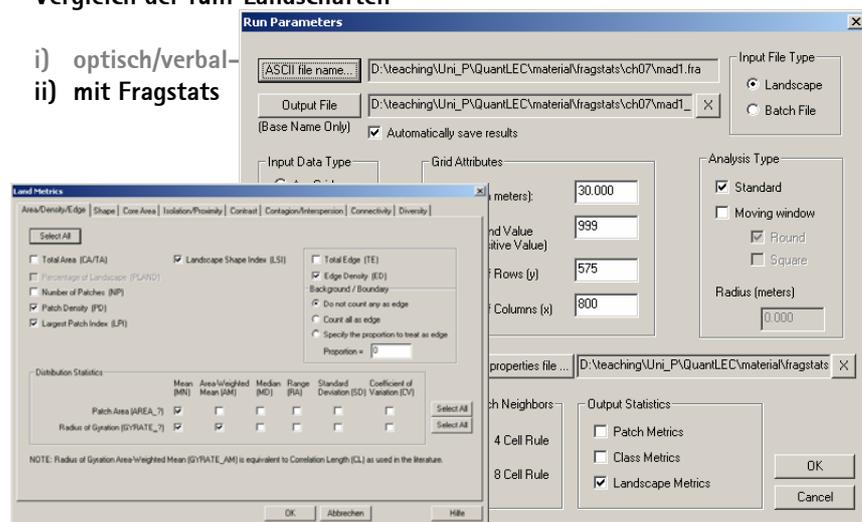
Haines-Young, R. and Chopping, M. 1996. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. – *Progress in Physical Geography* 20: 418-445.

Gustafson, E. J. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? – *Ecosystems* 1: 143-156.

Vergleich von Landschaften

Aufgabe:
Vergleich der fünf Landschaften

- i) optisch/verbal
- ii) mit Fragstats



Zusammenfassung

Ziel der Verwendung von Landschaftsindices:

"... Methods are needed to quantify aspects of spatial pattern that can be correlated with ecological processes." (O'Neill et al. 1988)

Quantifizierung der Muster = Voraussetzung für das Verständnis der Beziehung zwischen Mustern & Prozessen / *pattern & process*

Landschaftsindices ermöglichen:

- Dokumentation der zeitlichen Veränderung von Landschaften
- Vergleich von Landschaften

Wichtig:

- Vorabdefinition der Hypothesen!
- Auswahl geeigneter Indices für die jeweilige Fragestellung!
- Verständnis der Charakteristik (Sensitivität & Grenzen) der Indices
- ausgewählte Sets von Indices sollten möglichst unabhängig voneinander sein
- Unterscheidung: strukturelle vs funktionale Maße

O'Neill, R. V. et al. 1988. Indices of landscape patterns. – Landscape ecology 1: 153-162.

Turner, M. G., Gardner, R. H. and O'Neill, R. V. 2001. Landscape ecology in theory and practice - pattern and process. – Springer.

Notwendigkeit der Auswahl von Landschaftsmaßzahlen

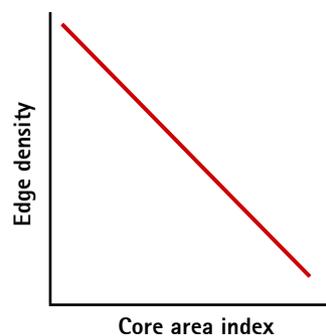
Redundanz und statistische Abhängigkeit von Landschaftsindices

Redundant qua Definition:

$$\text{Mean Patch Size} = \frac{\text{Total area}}{\text{Number of patches}}$$

$$\text{Patch Density} = \frac{\text{Number of patches}}{\text{Total area}}$$

Statistisch redundant:



Auswahl von Landschaftsmaßzahlen

Vergleich von 55 *landscape metrics* über 85 Datensätze (Riitters et al. 1995)

- 1) bivariate Korrelationen : häufig > 0.9 ;
Auswahl ohne redundante Indices: 26 *landscape metrics*
- 2) Faktoranalyse : 5 Faktoren mit Eigenwert > 1 (83% erklärte Varianz)
- 3) Auswahl von 5 mit den Faktoren stark korrelierten,
untereinander aber weitgehend unabhängigen *landscape metrics* :

- Anzahl unterschiedlicher Typen s
- *Contagion*
- fraktale Dimension d
- durchschnittliches Umfang/Fläche-Verhältnis: *mean (P/A)*
- relative Patchfläche
(durchschnittliches Verhältnis der Patchfläche zur Fläche eines Umkreises)

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: 23-39.

Statistische Tools in der Landschaftsökologie

In den letzten 30 Jahren gab es mehrere Methoden-"Moden":

- **Multivariate Statistik und Ordinationsverfahren**
zur Analyse von Lebensgemeinschaften
- **Informationstheorie**
zur Ableitung von Diversitätsindices
- **Räumliche Statistik & Geostatistik**
zur Analyse räumlicher Strukturen
- **Landschaftsindices**
zur Quantifizierung räumlicher Heterogenität im Landschaftsmaßstab

Jeder „Methodenschub“ verlief/verläuft nach demselben Muster:

- 1) Wenige – wichtige – Arbeiten führen die Verfahren in der Ökologie ein.
- 2) Anwendung der Verfahren in einer Vielzahl von Arbeiten.
- 3) **Kritische Reviews zeigen potentiellen Missbrauch oder Pitfalls auf.**
- 4) Nur die effizientesten Methoden „überleben“ und sind wirklich nützlich.

Fortin, M.-J. 2003. On the role of spatial stochastic models in understanding landscape indices in ecology. - *Oikos* 102: 203-213.

Bewertung - Zukunft der Landschaftsindices?

Schnelle Entwicklung und geringe Fokussierung auf konzeptuelle & statistische Begründungen führten zu einer

Verschiebung der Interessen und wissenschaftlichen Aktivitäten ...

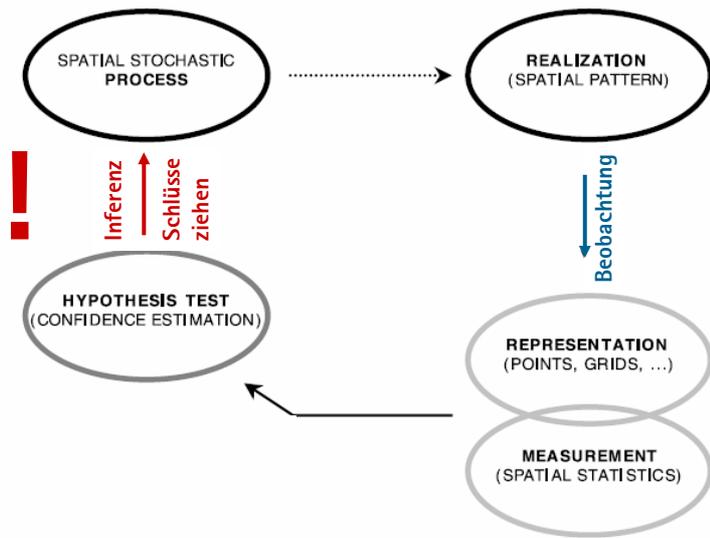
... from ecological inference, which requires conceptual linkages between our observations and their dependence on the processes controlling them, to 'number crunching' characterization of the observations themselves.

Notwendigkeit, Landschaftsindices zurück in das Paradigma von „*pattern and process*“ (Watt 1947) zu stellen.

Aktuelles Missverständnis:

The misinterpretation is rooted in the tendency that it is the data one needs to understand and not the process.

Bewertung - Zukunft der Landschaftsindices?



Bewertung – Zukunft der Landschaftsindices?

Mögliche Lösung – Stochastische Modelle:

- Verwendung von Neutralen Modellen, die bestimmte musterbildende Prozesse abbilden
- Vergleich bestimmter Landschaftsindices für beobachtete Landschaften mit denen, die mittels Neutraler Modelle generiert werden
- Bestimmung der Plausibilität der beobachteten Muster und Test der (Null-)Hypothese, dass es keine Abweichung vom Nullmodell gibt.

Gesicherte Aussagen über die Verbindung von *Pattern & Process*.

Fortin, M.-J. 2003. On the role of spatial stochastic models in understanding landscape indices in ecology. - Oikos 102: 203-213.