

WIEDERHOLUNG

Fragestellungen - VL

- Wie kann man Muster in der Landschaft charakterisieren?
- Wie entstehen Muster in Landschaften?
- Wie entwickeln sich Landschaften?
- Mit welchen Modellen kann man das beschreiben?
- Welche Bedeutung haben Landschaftsheterogenität und Muster?
- Welche Bedeutung hat das alles für Anwendungen der Landschaftsökologie?

BS
UP

interdisziplinär – theoretische Grundlagen & praktische Fähigkeiten

Landschaftsökologie

- Überlagerung und Interaktion abiotischer und biotischer erzeugt & steuert Prozesse auf verschiedenen Skalen
 - Landschaftsdynamik
 - räumliche und zeitliche Muster sowie eine angepasste Organismengemeinschaft
- Ziel der Landschaftsökologie: Beschreibung dieser Muster, Verständnis der sie bedingenden Prozesse & Abhängigkeiten

Was ist „Landschaft“?

Arbeitsdefinition:

Landschaft ist ein Raumausschnitt, der mindestens hinsichtlich eines für die aktuelle Fragestellung relevanten Faktors räumlich heterogen ist.

DEFINITIONEN	<h2>Heterogenität</h2>
	<p>Konzept der Heterogenität vs Homogenität</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Raum & Zeit▪ heterogen – Variation der gemessenen Werte▪ univariat vs multivariat▪ gemessene Heterogenität (Perspektive des Beobachters) vs funktionale Heterogenität (beeinflusst Organismen oder Prozesse)▪ mit zunehmendem Systemverständnis konvergiert gemessene Heterogenität gegen funktionale Heterogenität▪ funktionale Heterogenität: art- & prozessabhängig und deshalb skalenabhängig
BS UP	<small>Legendre & Legendre (1998): Numerical ecology</small>

SCALE	<h2>Skalenkonzept</h2>
	<ul style="list-style-type: none">▪ Raum & Zeit▪ Dimension / Skala / Maßstab▪ Skala & Hierarchie▪ Skalenidentifikation▪ multiple Skalen▪ <i>Upscaling, Downscaling</i>▪ <i>Ecological Scaling</i>
BS UP	

Skalen / *scales*

Viele Bedeutungen – zwei Wurzeln

nordisch: *skal* / (Waag-)Schale : Messung durch paarweisen Vergleich

lateinisch: *scala* / Leiter : Messung durch Unterteilung

Skalenvielfalt

Skalenarten (Stevens 1946)

Nominal-, Ordinal-, Intervall- & Verhältnisskala.

Kartographischer Maßstab, geographische Skala

Distanz auf einer Karte / Distanz auf der Erdoberfläche



Skala / *scale*

räumliche/zeitliche Dimension eines Objektes oder Prozesses charakterisiert durch
Auflösung / *grain*

Ausdehnung / *extent*

Intervall / *spacing*



Hierarchiestufe / *level*

Ebene in einem hierarchisch geordneten System

Skalenproblematik / *problem of scale*

3 Komponenten

- (i) direkte Messungen sind normalerweise beschränkt auf kleine Zeit- & Raumausschnitte,
- (ii) die wichtigsten Probleme sind auf größeren Skalen zu lösen, aber
- (iii) ein direktes *Upscaling* scheitert, wenn Muster und Prozesse auf den kleinen Skalen sich von denen auf den größeren Skalen unterscheiden.

Konzepte, Definitionen

Terminologie: Betrachtungsdimensionen (Leser)

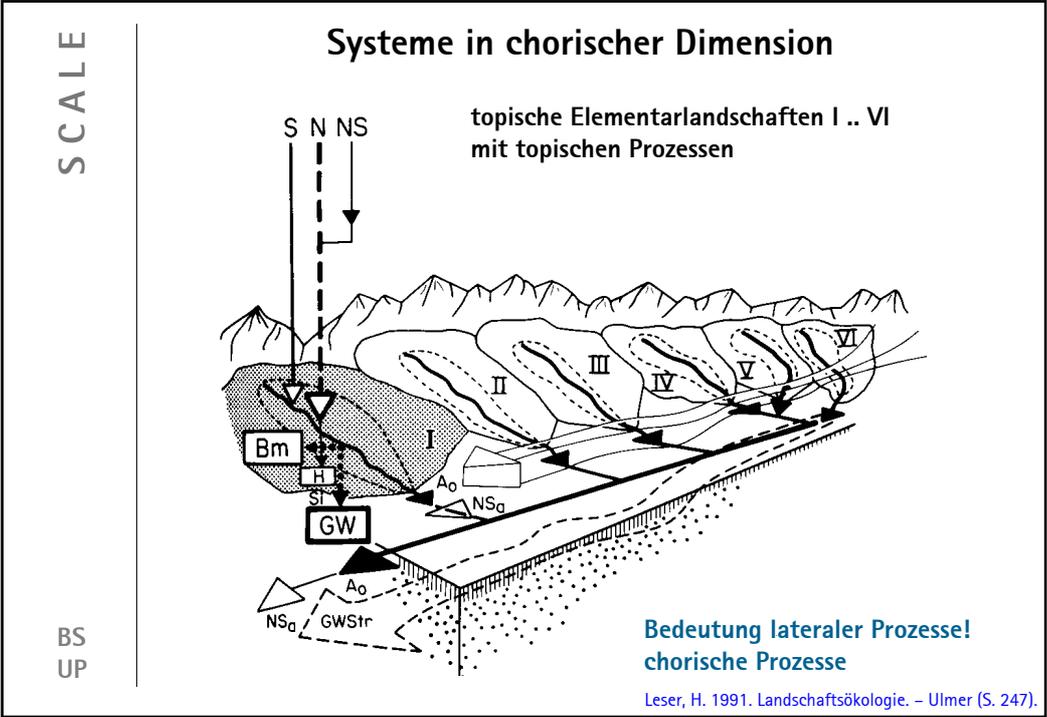
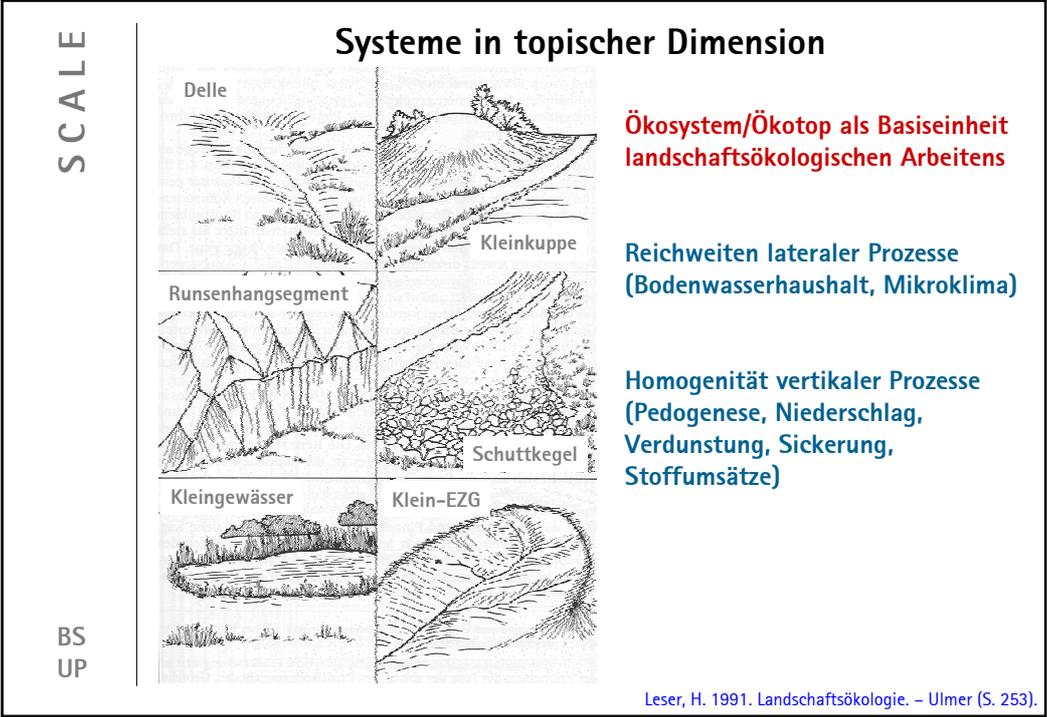
Dimension: Maßstabsbereich, in dem

- gleiche inhaltliche Aussagen möglich sind
 - gleiche methodische Ziele verfolgt werden
- (Neef 1963: Theorie der geografischen Dimensionen)

- **topische Dimension: Ökotox**
Grundeinheit ~ rel. homogener Inhalt & gleiche Prozesse/Mechanismen
- **chorische Dimension: Mikrochore - Mesochore**
Ökotoxgefüge ~ homogen auf höherer Skala (Mesoklima, Gebietswasserhaushalt), heterogen in Topen
- **regionische Dimension: Makrochore**
Großverbände naturräumlicher Einheiten ~ homogen auf höherer Skala (Makrorelief, Vegetationszonen, Klimazonen)
- **geosphärische Dimension: Megachore, Georegion, Geosphäre**
kontinental - gesamtirdisch

Dimensionsstufen

Dimensionsstufe	Beispiel
▪ topische Dimension	Düne
▪ chorische Dimension	pleistozänes Sandergebiet
▪ regionische Dimension	Nördliches Mitteleuropa
▪ geosphärische (planetarische) Dimension	kühlgemäßigte Laubwaldzone



Skalenkonzept

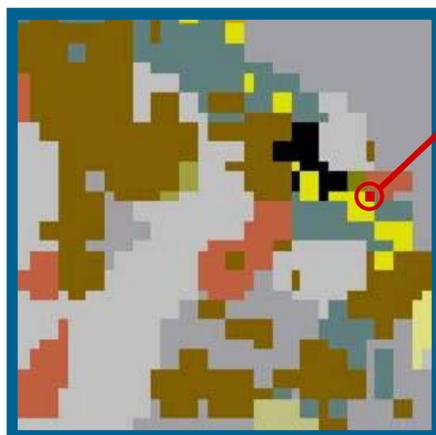


S.A. Levin's *MacArthur Adress* (1992)

- Die Skalenfrage ist das zentrale Problem in der Ökologie.
- Sie verbindet Populationen mit Ökosystemen; angewandte & Grundlagen-Ökologie.
- Um Ökologie zu betreiben, müssen wir Objekte auf verschiedenen Skalen untersuchen.

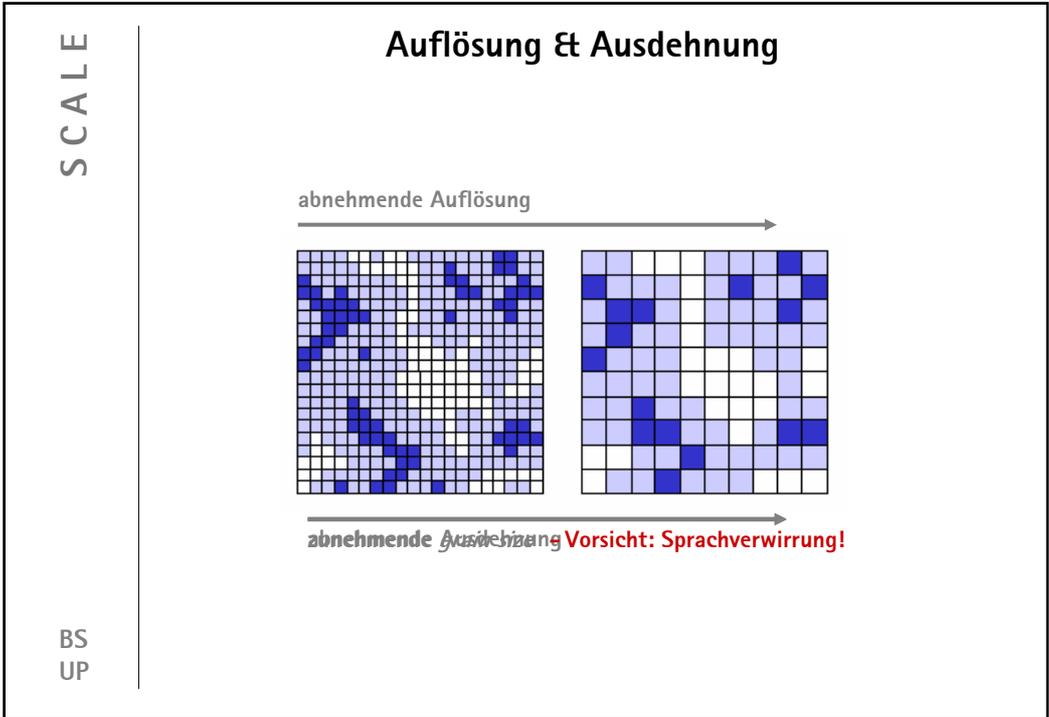
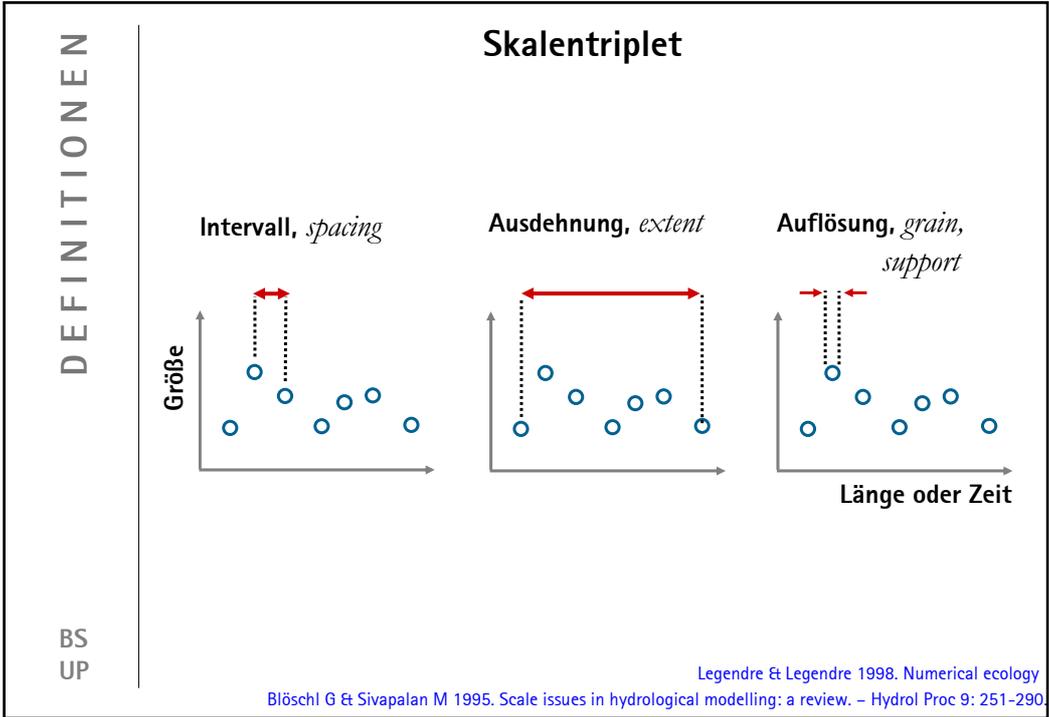
Auflösung & Ausdehnung

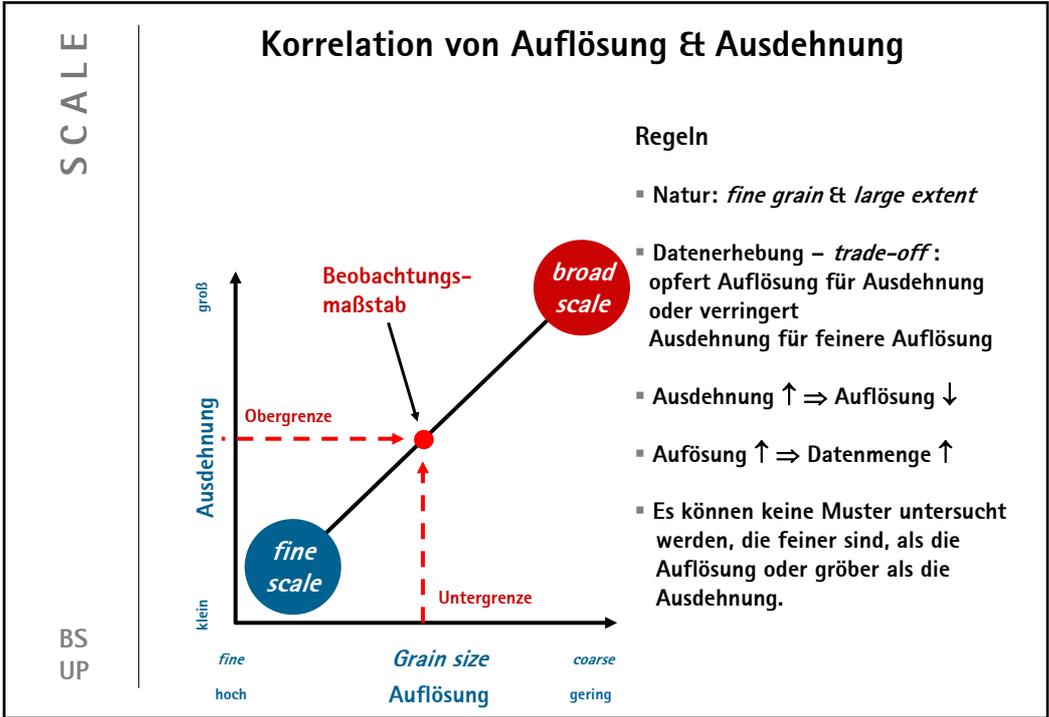
- Skala / *scale*:
räumliche / zeitliche Dimension eines Objektes oder Prozesses
- charakterisiert durch **Auflösung** & **Ausdehnung** / *grain* & *extent*



- **Auflösung / grain**:
Minimalauflösung der Daten, definiert durch die Größe der Rasterzellen (bei Rasterdaten) bzw. der minimalen Polygongröße (bei Vektordaten) bzw. der Pixelgröße (bei digitalen Bildern).

- **Ausdehnung / extent**:
Räumlicher Ausschnitt, definiert durch die Fläche des zu untersuchenden Landschaftsausschnitts.





Ökologische Skala vs Kartenmaßstab

"Ecological scale" and "map scale" are exact opposites; in cartography, "scale" is a ratio of map to real distance, so a large-scale map is fine-grained and of small extent.

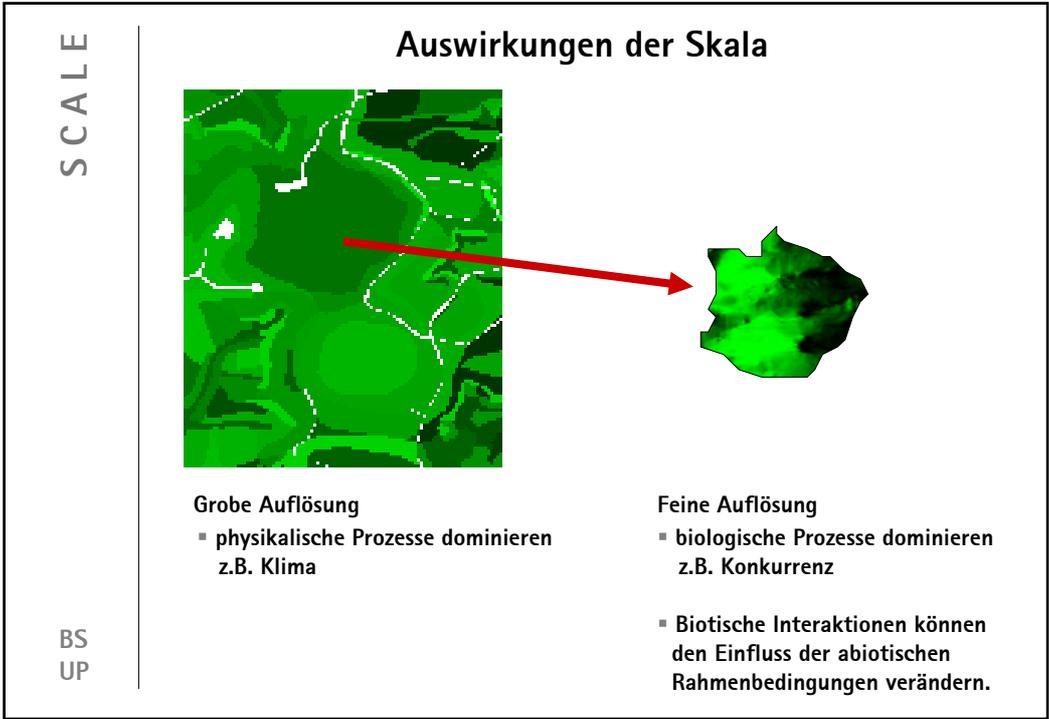
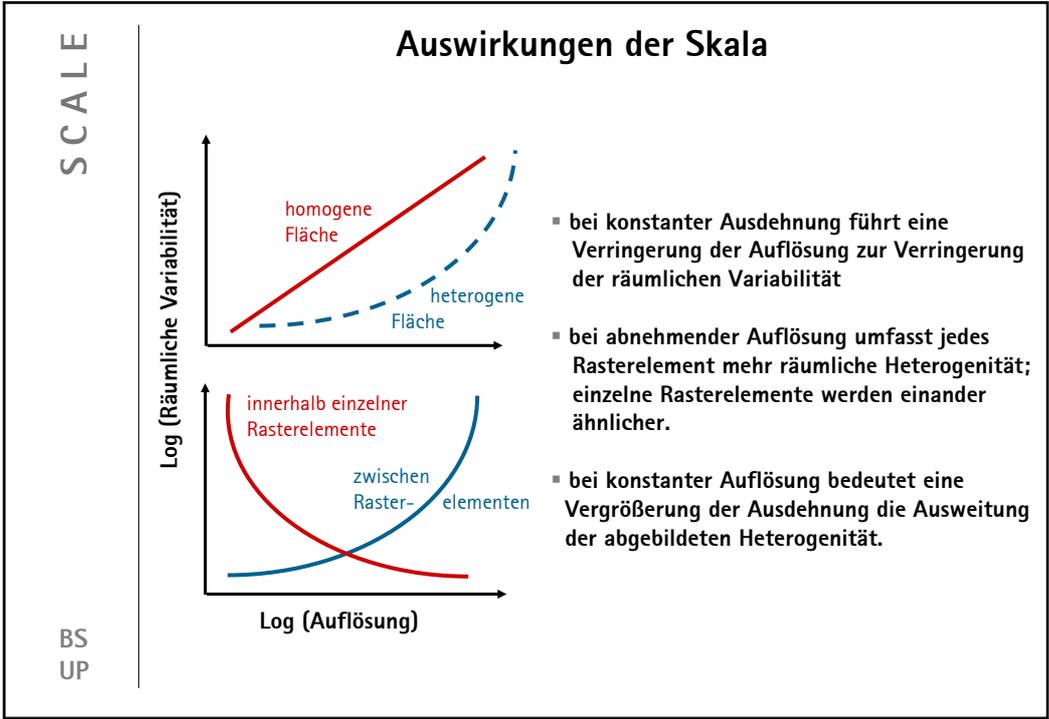
M 1:5.000

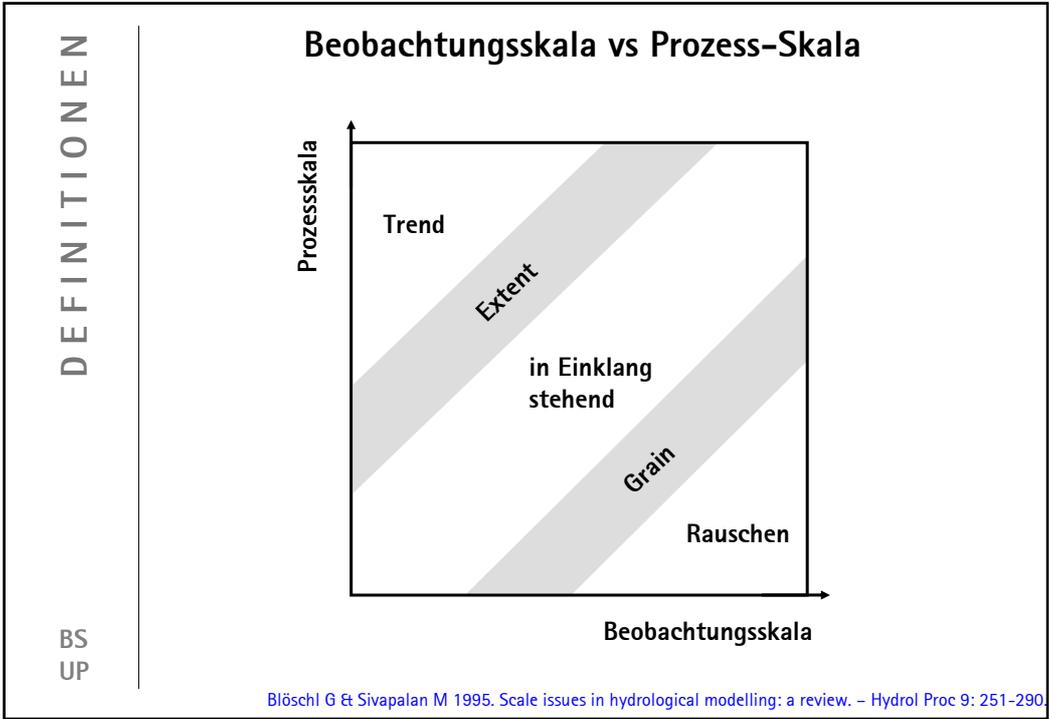
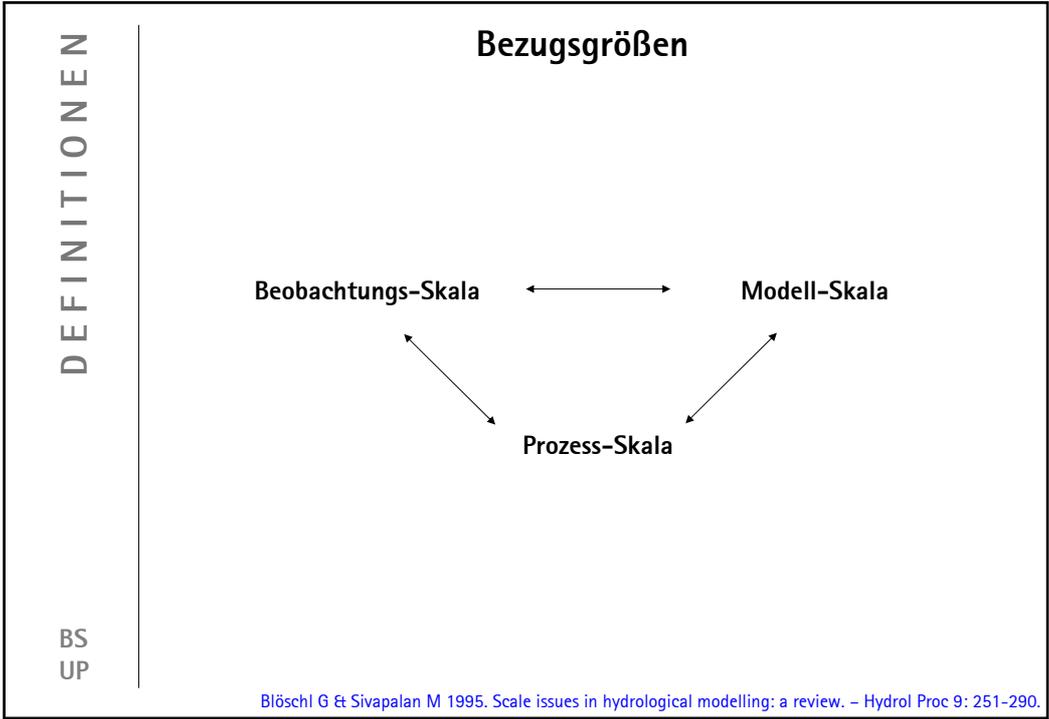
M 1: 1.000.000

SCALE

BS
UP

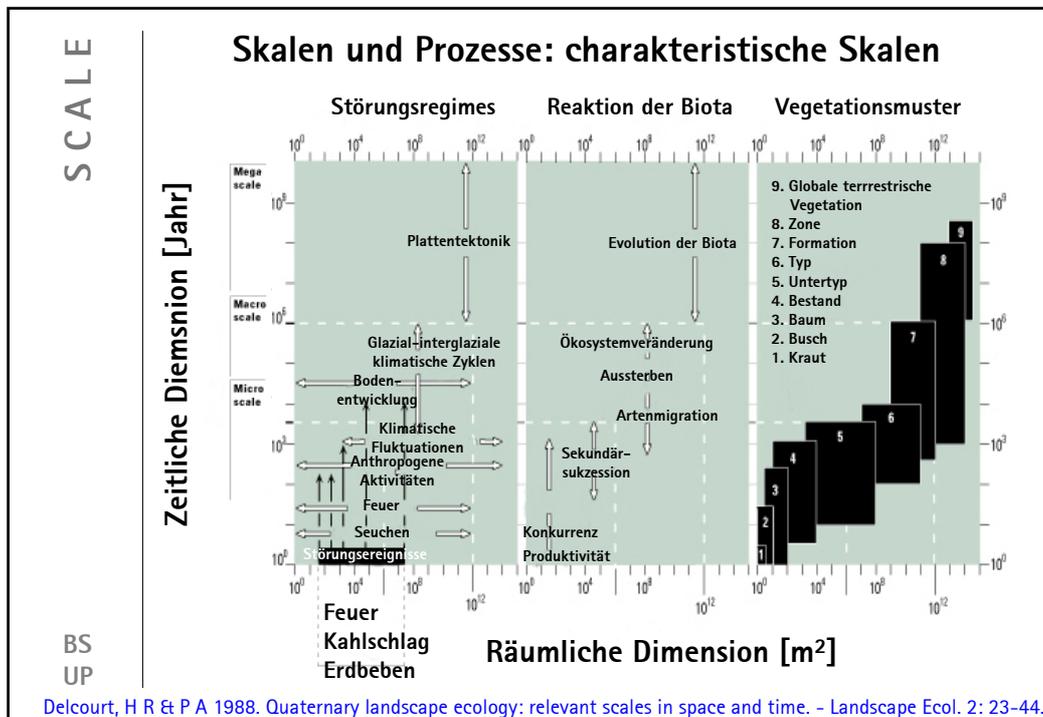
Dean Urban

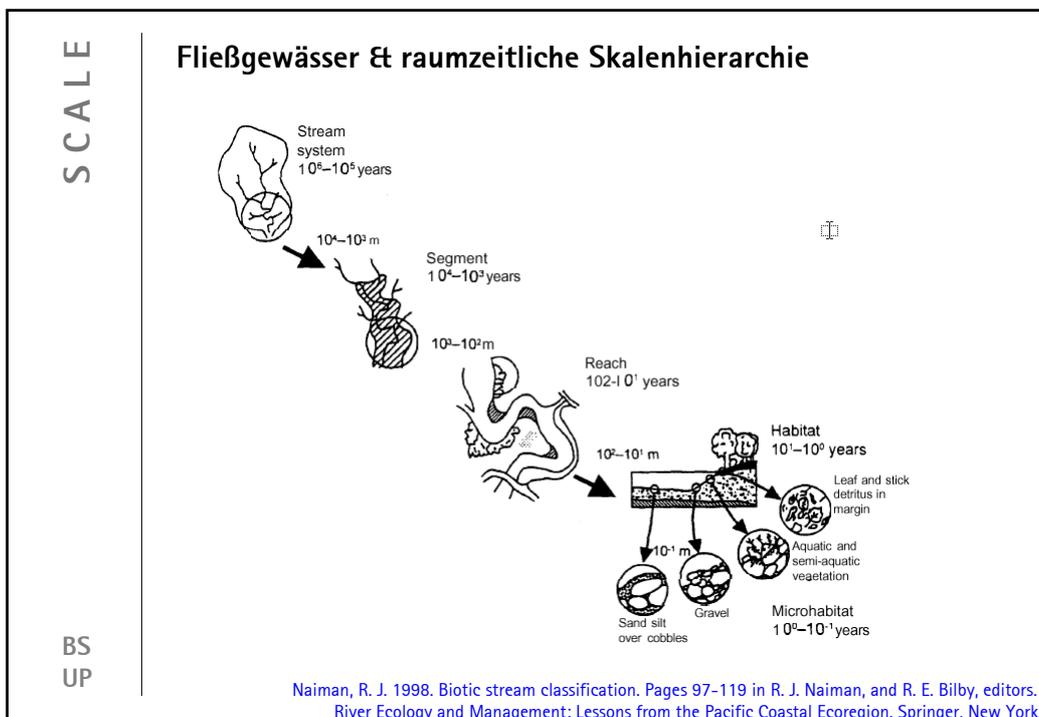
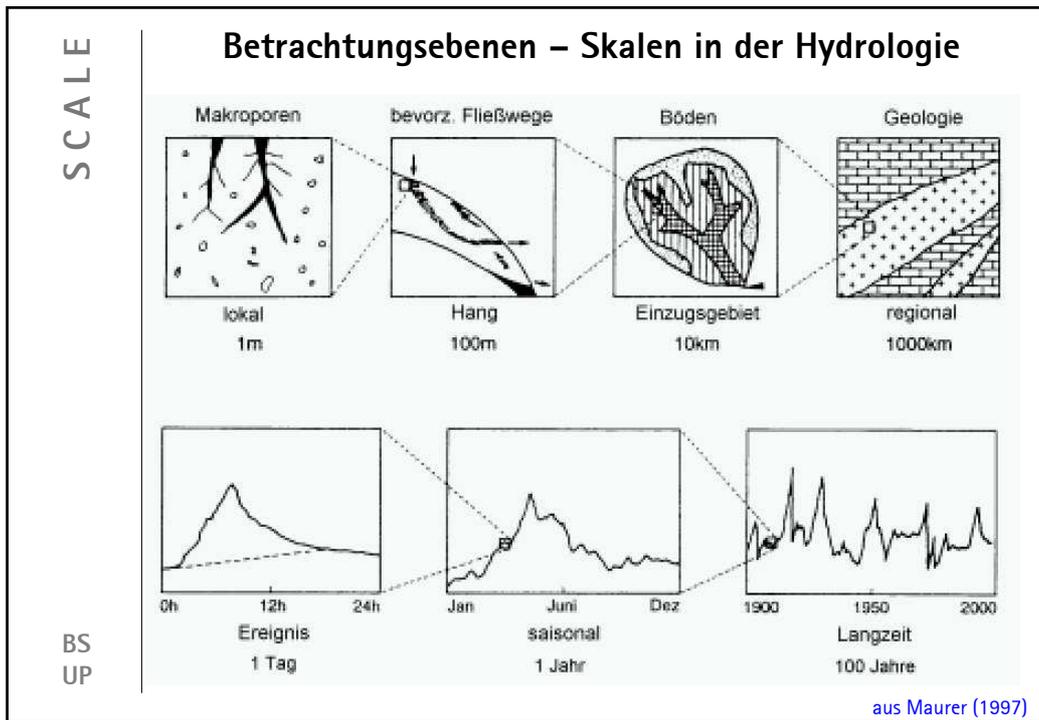




charakteristische Skalen

BS
UP





Hierarchie

BS
UP

SKALA & HIERARCHIE
BS
UP

Warum Beschäftigung mit Skalen & Hierarchien?

Komplexität ökologischer Systeme / Landschaften

- große Anzahl Komponenten
- nicht-lineare Dynamik & Interaktionen (Instabilität, Unvorhersagbarkeit)
- Rückkopplungen und verzögerte Reaktionen
- räumliche Heterogenität:
 - Landschaften als hierarchisches Patch-Mosaik
 - auf jeder Ebene interagieren die Patches unterschiedlich und produzieren unterschiedliche Muster
 - gleichzeitiges Auftreten von Patchiness und Gradienten



Verständnis

- Vorschlag der Hierarchietheorie:
Dekomposition ökologischer Systeme,
da diese in Struktur & Funktion vertikal & horizontal gekoppelt sind.
- Prinzip der Zeit-Raum-Dekomposition

Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

Hierarchietheorie

Arten von Komplexität – Systemeigenschaften

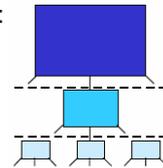
- **organisierte Einfachheit**
 - geringe Anzahl bedeutender Komponenten
 - deterministische Interaktionen
 - Methoden der analytischen Mathematik
- **organisierte Komplexität**
 - überschaubare Anzahl bedeutender Komponenten
 - zuviele für analytische Lösungen, zu wenige für statistisches Herangehen
 - entweder: Herunterbrechen auf einfache Systeme (Reduktionismus)
 - oder: Entwicklung neuer Methoden (System- & Hierarchietheorie)
- **nicht-organisierte Komplexität**
 - große Anzahl bedeutender Komponenten
 - hochgradig zufälliges Systemverhalten
 - Methoden der Statistik

Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

Hierarchietheorie

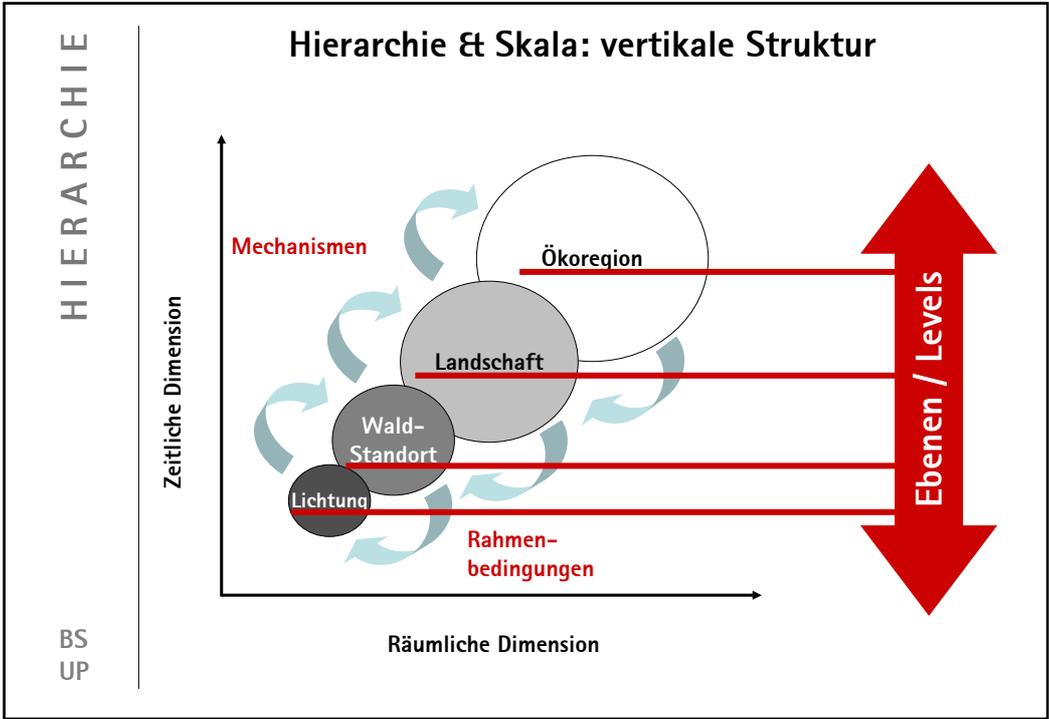
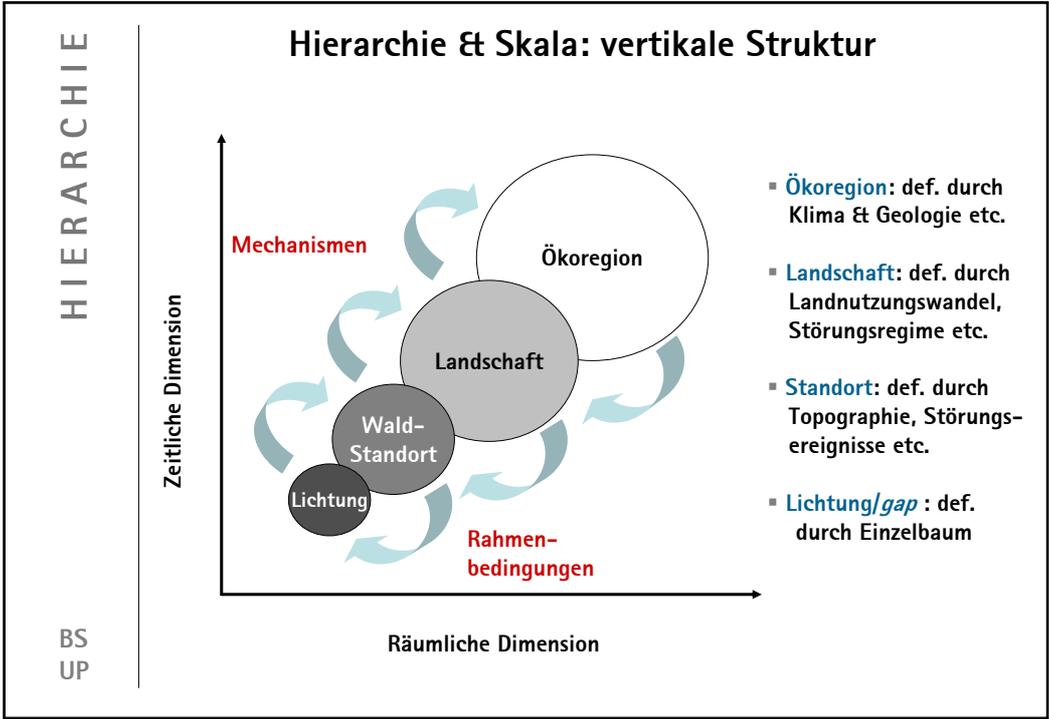
Hierarchie

- **partielle Ordnung von Entitäten (Einheiten)** (Simon 1973)
- **Hierarchische Systeme: untereinander verbundene Subsysteme**
- **Subsysteme = Holons** (abhängig von Betrachtungsrichtung):
holos (das Ganze) und *-on* (Teil von etwas)
- **vertikale Struktur: Ebenen / levels**
- **horizontale Struktur: Holons**
- **Grenzen zwischen Levels & Holons: Oberflächen / surfaces**



Simon, H. A. 1973. The organisation of complex systems. - In: Pattee, H. H. (ed.) Hierarchy theory. G. Braziller, pp. 1-27.

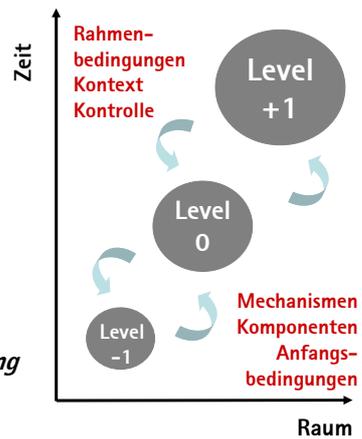
Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.



Hierarchietheorie

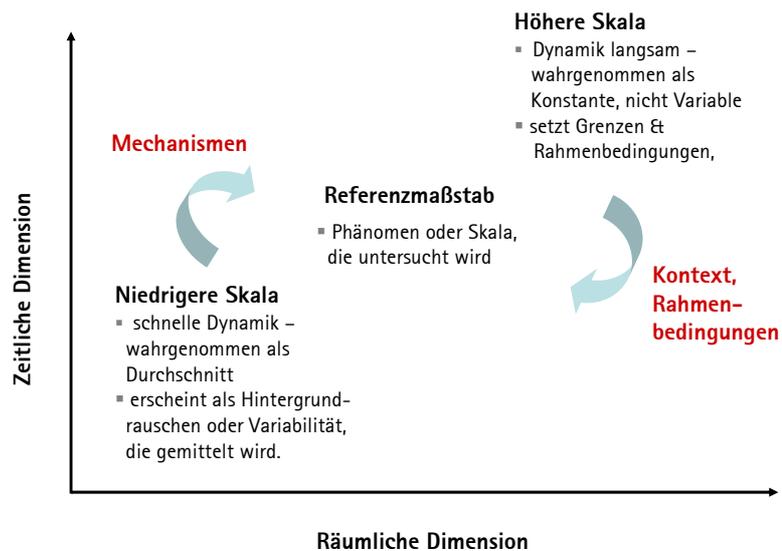
Vertikale Struktur: Ebenen / Levels

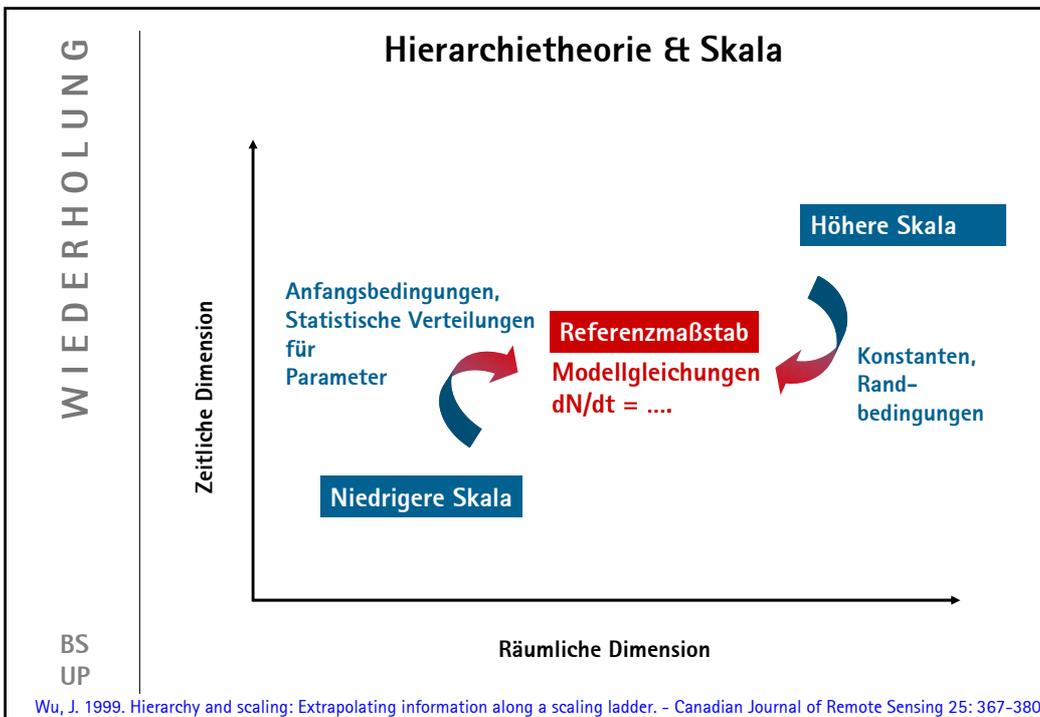
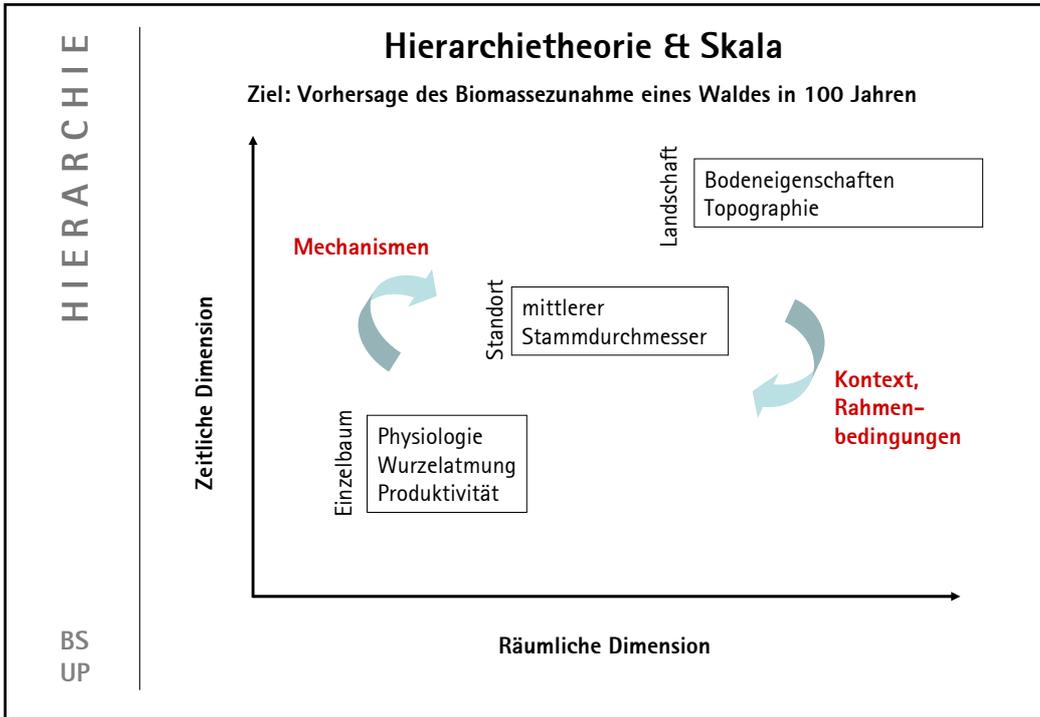
- **asymmetrische Beziehungen zwischen den Levels:**
 - höherer Level setzt Rahmenbedingungen
 - unterer Level gibt Mechanismen vor
- **höhere Level:**
 - langsamere und größere Einheiten
 - seltenere Ereignisse
- **niedrigere Level:**
 - schnellere und kleinere Einheiten
 - häufigere Ereignisse
- **vertikale Kopplung / loose vertical coupling**



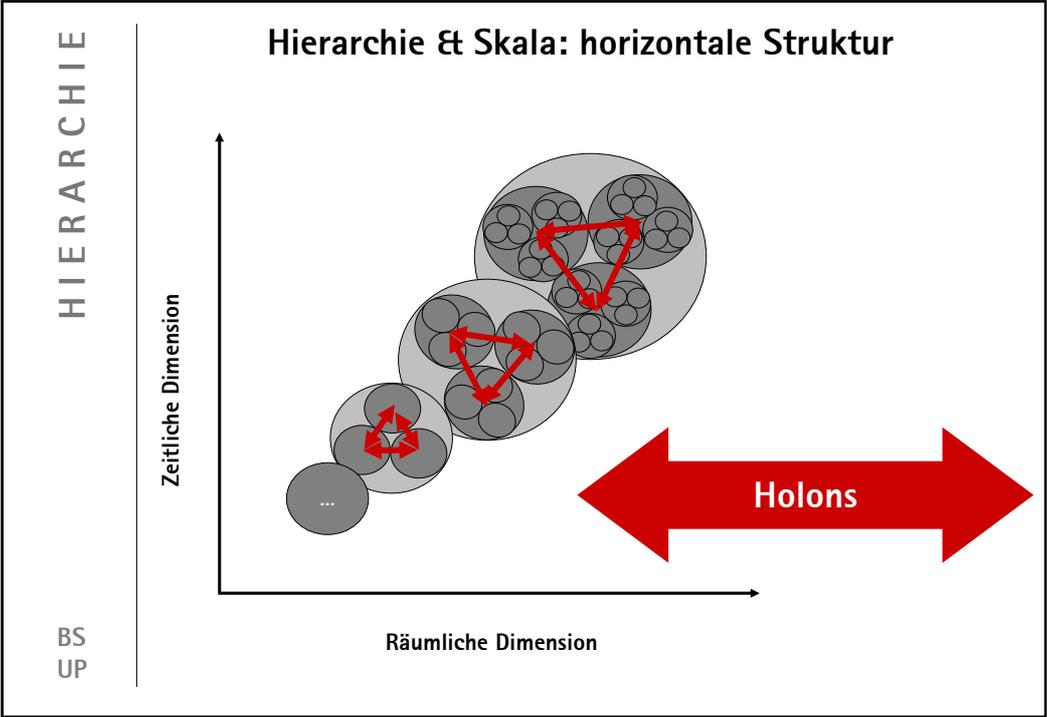
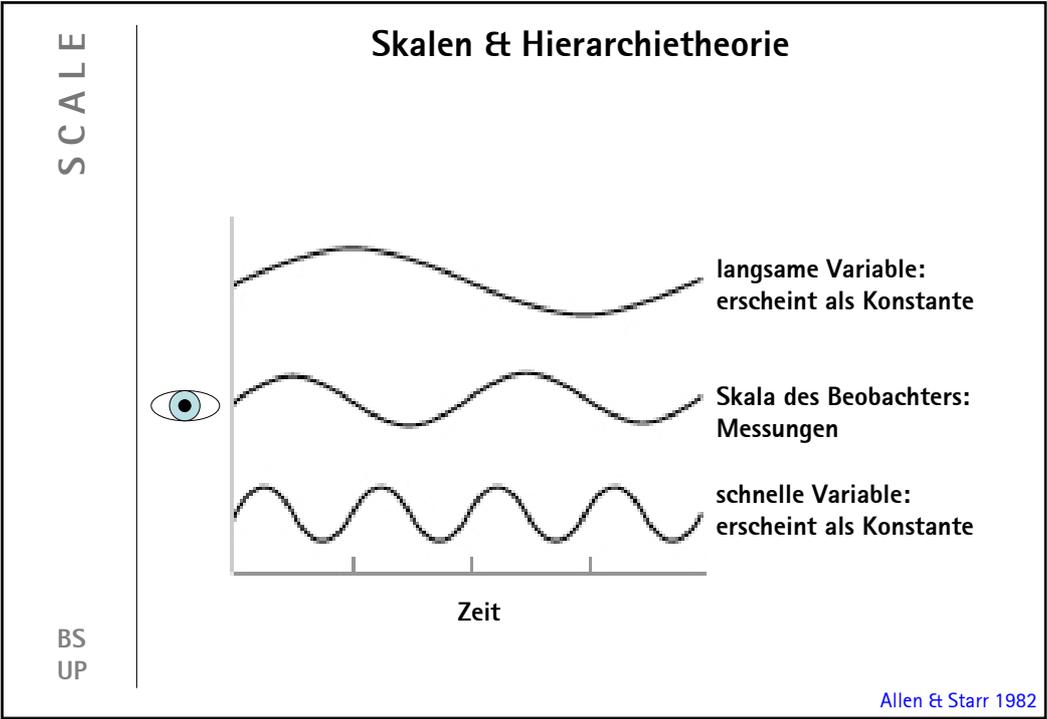
Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

Hierarchietheorie & Skala





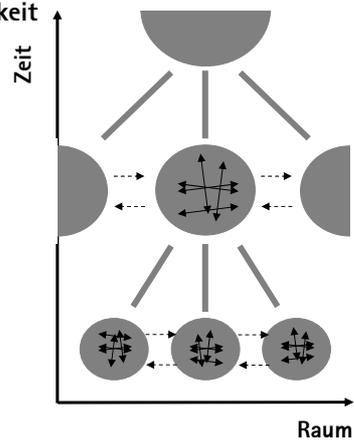
Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.



Hierarchietheorie

Horizontale Struktur: Holons

- **symmetrische Beziehungen zwischen den Holons:**
 - charakterisiert durch Stärke und Häufigkeit der Interaktionen
- **innerhalb eines Holons:**
 - stärkere & häufigere Interaktionen
- **zwischen den Holons:**
 - schwächere & seltene Interaktionen
- **horizontale Kopplung /**
loose horizontal coupling



Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

Hierarchietheorie

Gliederungskriterien - Hierarchietypen

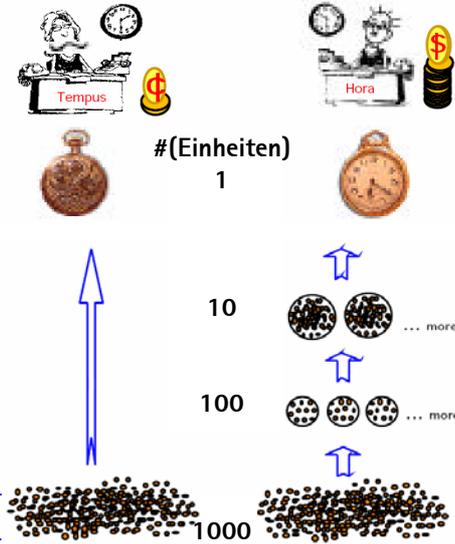
- **geschachtelt vs ungeschachtelt / nested vs non-nested**
- **geschachtelte Hierarchien:**
 - z.B. Landnutzungsclassifikation
 - Holons eines Levels beinhalten die Holons des darunterliegenden Levels
 - verschiedene Kriterien (Maßeinheiten) auf verschiedenen Levels
 - Verständnis von Teilen reicht aus für Verständnis des gesamten Levels
- **ungeschachtelte Hierarchien:**
 - z.B. trophische Systeme (Räuber-Beute-Systeme, Nahrungsnetze)
 - gleiche Kriterien (Maßeinheiten) auf verschiedenen Levels
 - Verständnis von Teilen reicht nicht aus für Verständnis des gesamten Levels

Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

Hierarchietheorie

Warum sind ökologische Systeme hierarchisch?

- Uhrmacherparabel (Simon 1962, 1973)
 - schnellere Evolution
 - höhere Stabilität
 - gefördert durch Selektion
 - Modularität = erfolgreich



Simon, H. A. 1962. The architecture of complexity. – Proc. American Philosophical Society 106: 467–482.
 Simon, H. A. 1973. The organisation of complex systems. – In: Pattee, H. H. (ed.) Hierarchy theory. G. Braziller, pp. 1–27.

Bedeutung für die Landschaftsökologie

Hierarchietheorie

... Everything is connected to everything else. ...

*Some things are more ~~connected~~ than others,
and most things are even negligibly interrelated with each other.
(Simon 1973)*

Simon, H. A. 1973. The organisation of complex systems. - In: Pattee, H. H. (ed.) Hierarchy theory. G. Braziller, pp. 1-27.
Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

Hierarchietheorie

Dekomposition – Zerlegbarkeit / *nearly-decomposability*

- vertikale & horizontale Kopplung = Grundlage der „Beinahe-“Zerlegbarkeit
- Dekomposition in Levels und Holons ohne besonderen Informationsverlust
- Kurzzeitdynamik der Subsysteme kann isoliert untersucht werden
 - Interaktionen zwischen den Subsystemen können vernachlässigt werden
 - diese operieren auf längeren Zeitskalen

Verringerung der Komplexität macht komplexe Systeme analysierbar!

Aber:

- langsame Prozesse bestimmen Langzeitdynamik des Gesamtsystems

Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

SCALE

Skalen & Hierarchietheorie

Lehren aus der Hierarchietheorie:

- Wechsel der Skalen bedeutet oft Wechsel der relevanten Prozesse oder der Richtung von Beziehungen sowie Wechsel der Vorhersagen

Sollins et al. 1983

There is no single correct scale or level at which to describe a system that not mean that all scales serve equally well or that there are not scaling laws.

S.A. Levins 1992

- Fragestellung bestimmt die Skala der Untersuchung!
- erklärende Variablen sind skalenabhängig!
- Frage: Identifikation der geeigneten Untersuchungsskalen?

**BS
UP**

SKALA & HIERARCHIE

Konzept der Hierarchischen Patchdynamik

Identifikation der Patchhierarchien

Top-down

- Sukzessives Aufteilen
- Partitionierung / *partitioning*

Bottom-up

- Sukzessives Zusammenfassen
- Aggregation / *aggregation*

Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. - Canadian Journal of Remote Sensing 25: 367-380.

**BS
UP**

Skalen- identifikation

BS
UP

Finden der adäquaten Skala

- Räumliche Statistik: Autokorrelation?
- Geostatistik
- multiple Skalen

SCALE

BS
UP

Finden der adäquaten Skala – multiple Skalen



Beispiel: *Multiscale analysis*
Habitatwahl des
Paleheaded Brushfinch



Atlapetes pallidiceps

Landschaftsmaßstab
Reviere
(Areal)

- bevorzugt Halboffenland mit mittleren Gebüschhöhen
- meidet Wälder und Offenland

Mikrohabitatmaßstab
Neststandorte

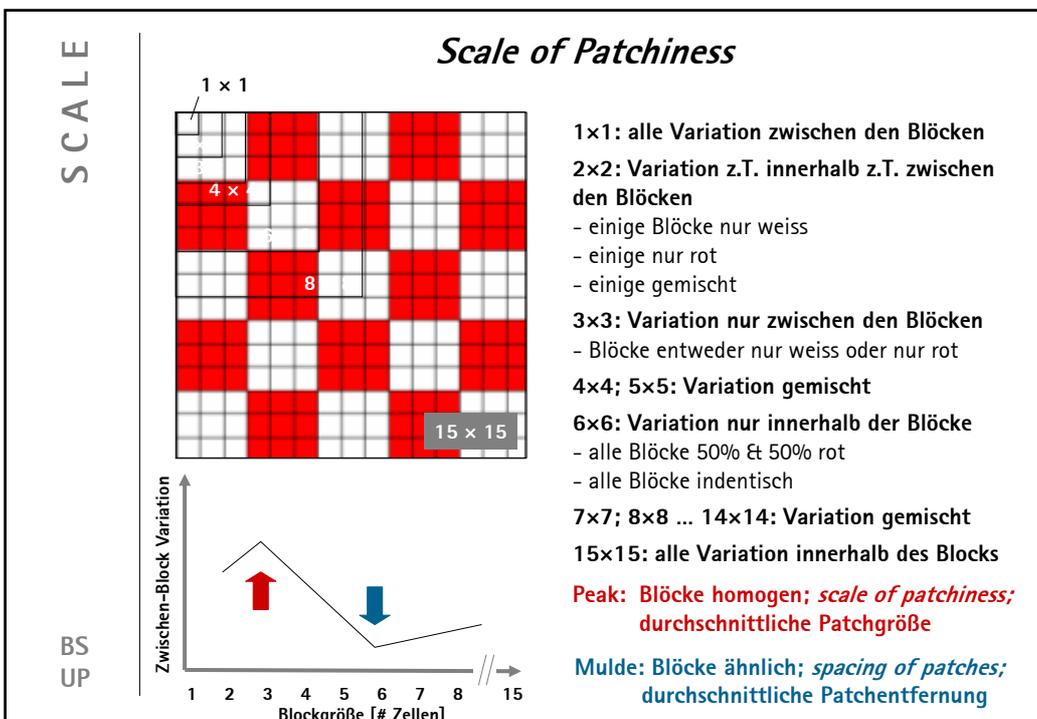
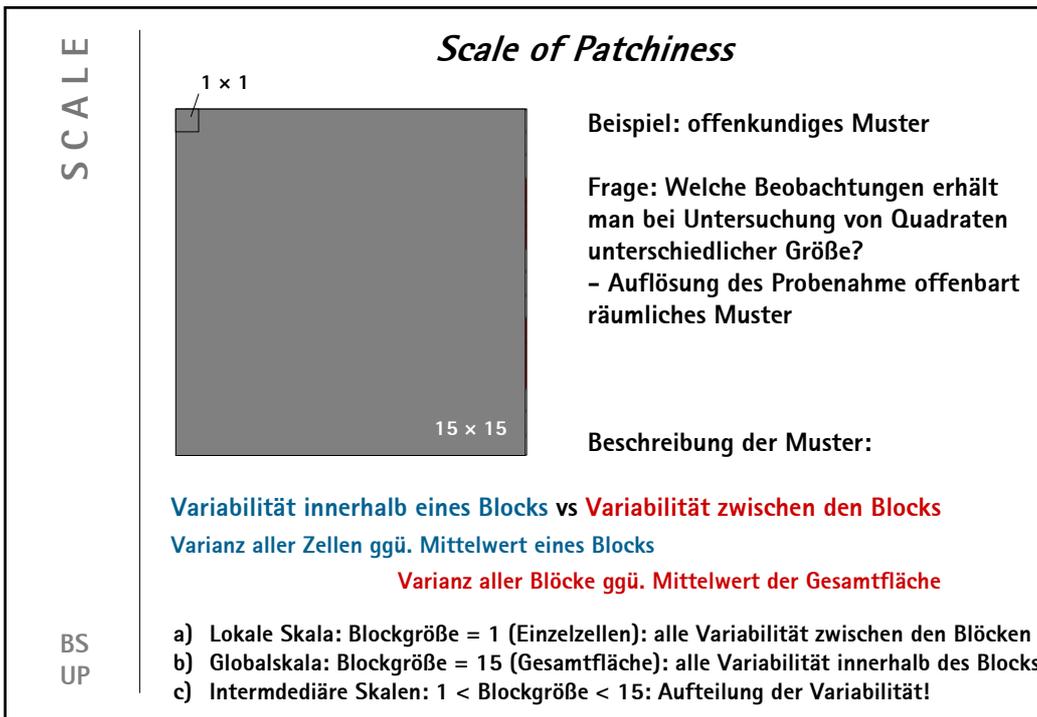
- Rankenpflanzen und/oder Bambus wichtig
- kein Konkurrenzausschluß durch sympatrische Art
- Brutparasitismus größte Gefährdung → Maßnahmen!

Oppel, Schaefer, Schmidt & Schröder 2004 *Biological Conservation*

Räumliche Statistik & Geostatistik

Warum?

- 1) Identifikation der räumlichen Skalen, auf denen Änderungen der Muster und Prozesse stattfinden;
Finden der adäquaten Skalen einer Untersuchung
 - positive räumliche Autokorrelation = Problem klassischer Analysen, da Unabhängigkeit der Stichproben angenommen wird
- 2) Interpolation und Extrapolation von Punktdaten;
Räumliche Struktur von Variablen?
 - Quantifizierung der räumlichen Variabilität
 - Beziehung zwischen räumlichen Mustern und Prozessen?

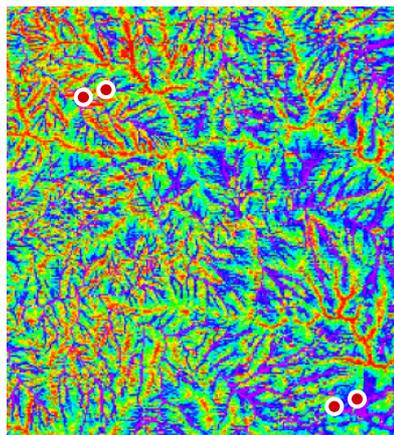


Finden der adäquaten Skala

Grundkonzept: Korrelation räumlich verteilter Variablen
Suche nach räumlicher Abhängigkeit

- Räumliche Statistik / Korrelogramme
- Geostatistik / Theorie der regionalisierten Variablen / Variogramme
- *Lacunarity analysis*
- Spektralanalyse / *Wavelets*

Beispiel



Suche nach der Skalierung des
Wetness Indexes:

Analyse von Punktepaaren
mit unterschiedlichen Abständen

- nahe beieinander liegende Punkte:
eher ähnliche Werte

- weiter entfernte Punkte:
eher unähnliche Werte

Frage:

**Für welche Distanzen ist die
Ähnlichkeit besonders hoch?**

Räumliche Statistik vs Geostatistik

Grundkonzept: Korrelation räumlich verteilter Variablen

Parallele Entwicklung zweier Methoden

- **Humangeographie – Räumliche Statistik (Cliff & Ord 1981)**
Ziel: Testen der Signifikanz räumlicher Muster
- **Bergbauingenieurwesen – Geostatistik (Matheron 1970, Krige 1993)**
Ziel: Modellierung räumlicher Muster

Gleiche Annahmen – unterschiedliche Terminologie

Cliff, A. D. and Ord, J. K. 1981. Spatial processes: models and applications. – Pion.
Matheron, G. 1970. La théorie des variables régionalisées, et ses applications. – Les Cahiers du Centre de Morphologie.
Krige, D. G. 1993. Modelling of the underground patterns of gold concentrations – GIS 2: 12-17.

Räumliche Statistik & Landschaftsökologie

Autokorrelation

*„... everything is related to everything else –
but near things are more related than distant things.“ (Tobler 1970)*

... ermöglicht die Vorhersage von Werten einer Variable von bekannten Werten an anderen Orten

*„... diagnostic tool for spatial model misspecification“
„... a surrogate for unobserved geographical variables“
„... a nuisance applying conventional statistical methodology to spatial data“
„... an indicator of appropriateness of spatial unit demarcation“
(Griffith 1992)*

- beschrieben durch Strukturfunktionen,
d.h. Korrelogramme & Semivariogramme

Tobler, W. R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. – Economic Geography 46: 234-240.
Griffith, D. A. 1992. What is spatial autocorrelation? Reflection of the past 25 years of spatial statistics. – L'Espace géographique 3: 293-316.

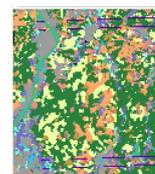
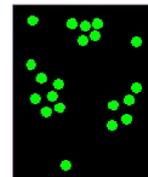
Finden der adäquaten Skala

Strukturfunktionen / *structure functions*

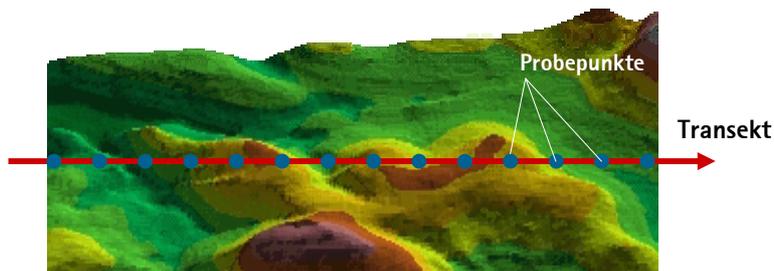
- Korrelogramm: Auftragung von Autokorrelationswerten vs Distanzklassen
 - univariat : *Moran's I*
 - multivariat : *Mantel*
- (Semi-)Variogramm: Auftragung von Semivarianzen vs Distanzklassen
 - Anpassung statistischer Modelle
 - Ziele : Interpretation räumlicher Struktur durch *kriging*
 - : Bestimmung räumlicher Struktur und generierender Prozessen

Räumliche Daten

- Räumliche Punktmuster:
 - Liste von Orten $[x,y]$ von Objekten
 - Ziel der Analyse: Finden der räumlichen Skala, auf der sie weniger oder stärker geklumpt / *clustered* sind als aufgrund des Zufalls zu erwarten.
- Geostatistische Daten:
 - Messwerte an bestimmten Orten
 - Ziel der Analyse: Identifikation der Distanz(en) über welche die Werte sich ähneln; geringe Entfernung → ähnliche Werte?
- *lattice data*:
 - repräsentieren Regionen (z.B. Rasterdaten aus der Fernerkundung, Vektordaten und Graphen)
 - Ziel der Analyse: Auf welcher Skala haben benachbarte Regionen ähnliche Werte?



Geostatistische Daten



Räumliche Statistik & Landschaftsökologie

Autokorrelation = Korrelation einer Variable mit sich selbst

Moran's I

- Ausmaß des **Zusammenhangs** zwischen Werten einer Variable als Funktion des (Mess-)Ortes
- misst Abweichung einer Variable gegenüber den Gesamtmittelwert

$$I(d) = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{W \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

- Wertebereich: -1 .. 1 (negativ .. positiv)
- ohne Autokorrelation: Erwartungswert = $1/(-(n-1)) \cong 0$

Geary's c

- Ausmaß des **Unterschieds** zwischen Werten einer Variable als Funktion des (Mess-)Ortes

$$c(d) = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y_j)^2}{2W \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

- Wertebereich: 0 .. ~2 (positiv .. negativ)
- ohne Autokorrelation: Erwartungswert = 1

In: Klopatek, J. M. and Gardner, R. H. (eds.), Landscape ecological analysis: issues and applications. Springer, pp. 253-279. Fortin, M.-J. 1999. Spatial statistics in landscape ecology. -

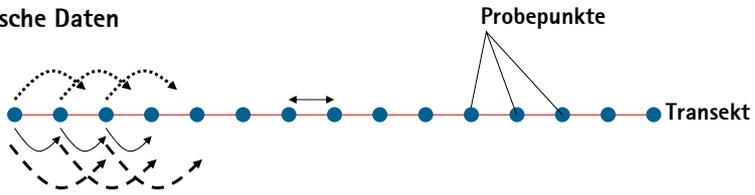
Räumliche Statistik & Landschaftsökologie

Geostatistische Daten

Distanz = 2

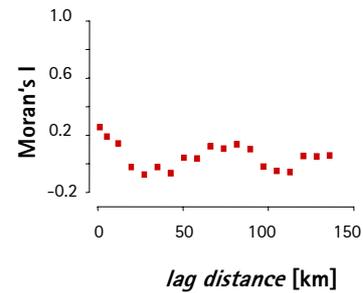
Distanz = 1

Distanz = 3



Auftragung von Moran's I
gegen Distanz:
Korrelogramm

Korrelogramm



$I(d) = 1.0$, perfekte Autokorrelation
 $I(d) \sim 0.0$, zufällig, keine Autokorrelation

BS
UP

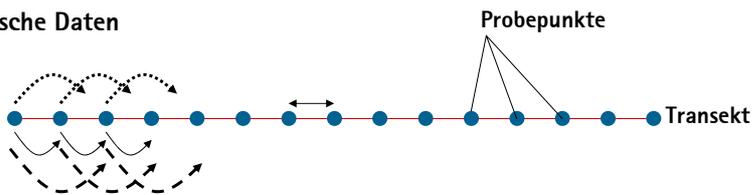
Räumliche Statistik & Landschaftsökologie

Geostatistische Daten

Distanz = 2

Distanz = 1

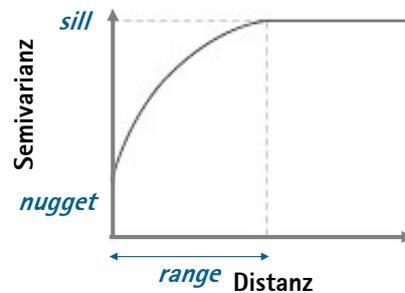
Distanz = 3



Semivarianz

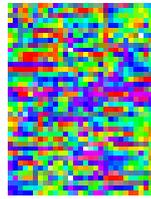
$$\gamma(d) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y_j)^2}{2n_d}, \text{ für } i \neq j$$

Semivariogramm



BS
UP

Skalierungs-Techniken - Beispiel

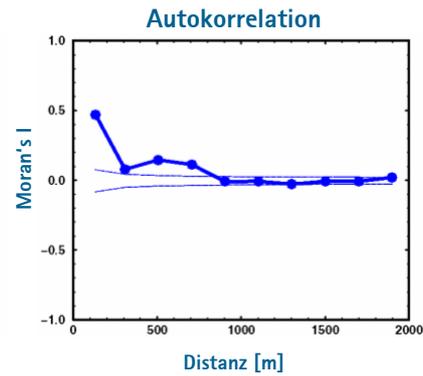
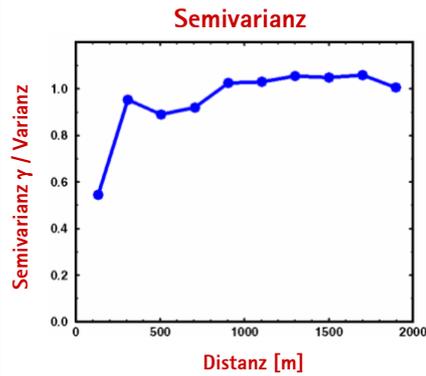


400 Probepunkte; 30x30 m, Wetness Index
Autokorrelation zu erwarten auf der Skala von Hangfacetten

Semivariogramm: *range* : charakteristische Skala = ~ 250 m
nugget : räumliche Struktur < Auflösung

Korrelogramm: Distanz mit starker Autokorrelation: ~ 250 m

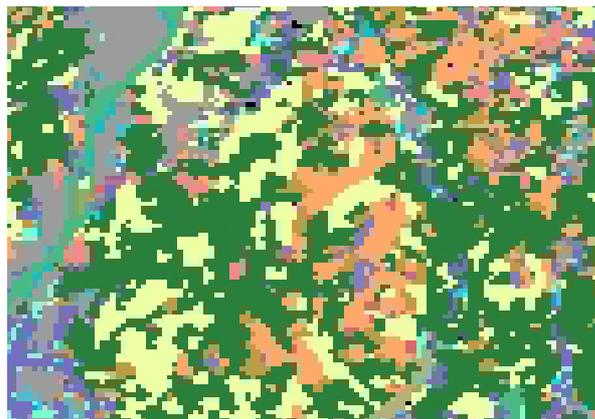
BS
UP



Urban, D. L. 2000. Using model analysis to design monitoring programs for landscape management ... Ecol. Appl. 10: 1820-1832

RÄUMLICHE STATISTIK

Lattice Data

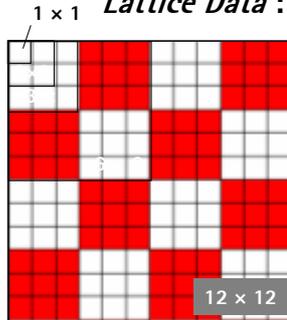


Übersetzung des Gitters in Mittelpunkte von Regionen ermöglicht Anwendung der geostatistischen Verfahren

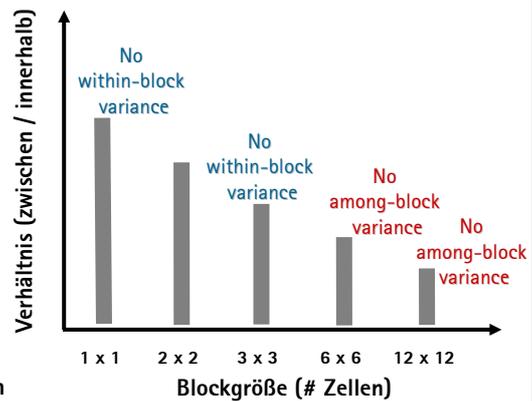
BS
UP

Räumliche Statistik & Landschaftsökologie

Lattice Data : block-size ANOVA



Gesamtvarianz =
(zwischen den Blöcken) + (innerhalb der Blöcke)



ANOVA: *Analysis of Variance*

Varianzanalyse: Varianzaufteilung in
Zwischen den Gruppen = Effekt (hier: scale)

& innerhalb der Gruppen = Variabilität der Wiederholung

Greig-Smith, P. 1952.

The use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. - *Annals of Botany* 16: 293-316.

Lacunarity Analysis

Aktuelle Erweiterung – lacunarity analysis

- Fenster in allen möglichen Blockgrößen
- *Moving window* wird über das gesamte Raster bewegt
- ermöglicht die Detektion multipler Skalen von Mustern

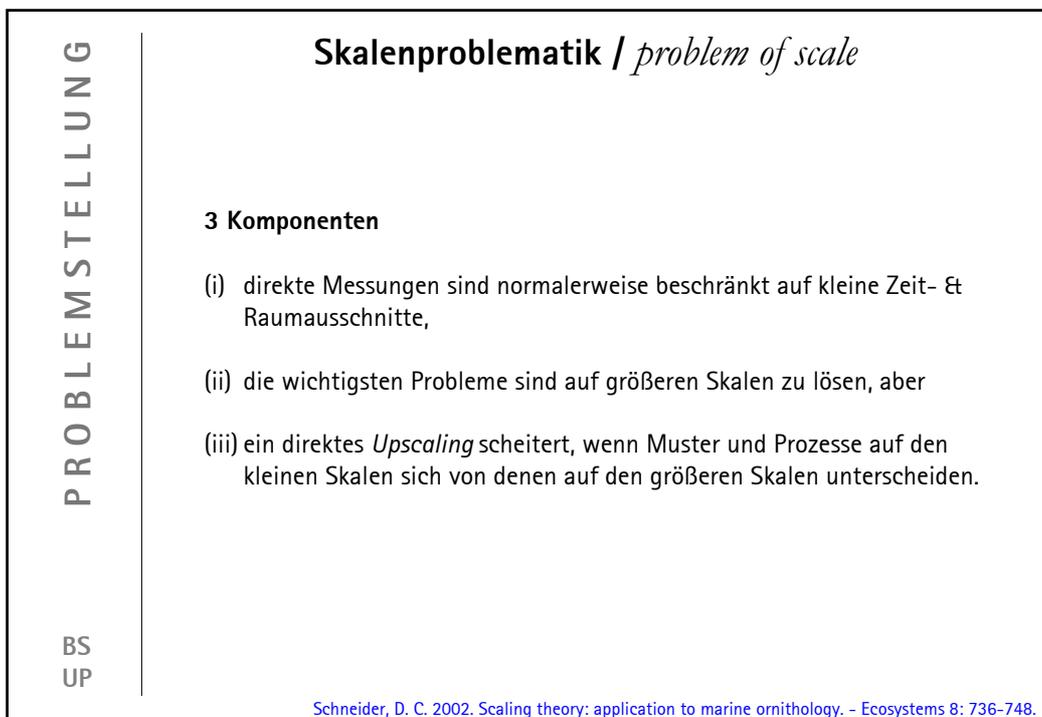
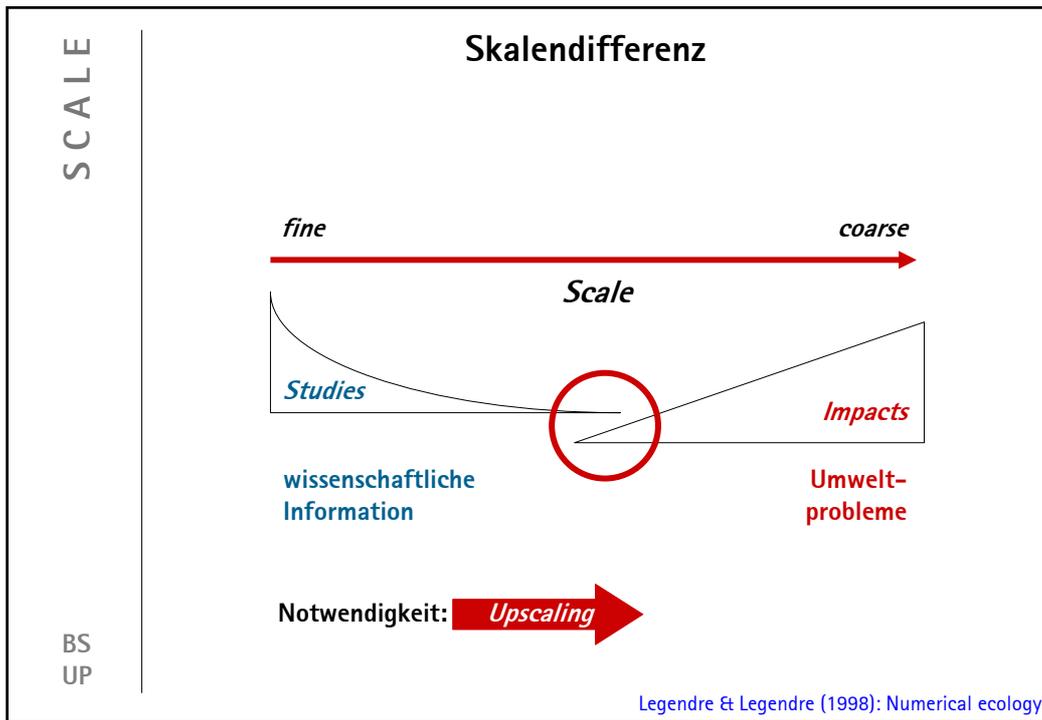
Plotnick, R. E., Gardner, R. H. & O'Neill, R. V. 1993. Lacunarity indexes as measures of landscape texture. - *Landscape Ecology* 8: 201-211.

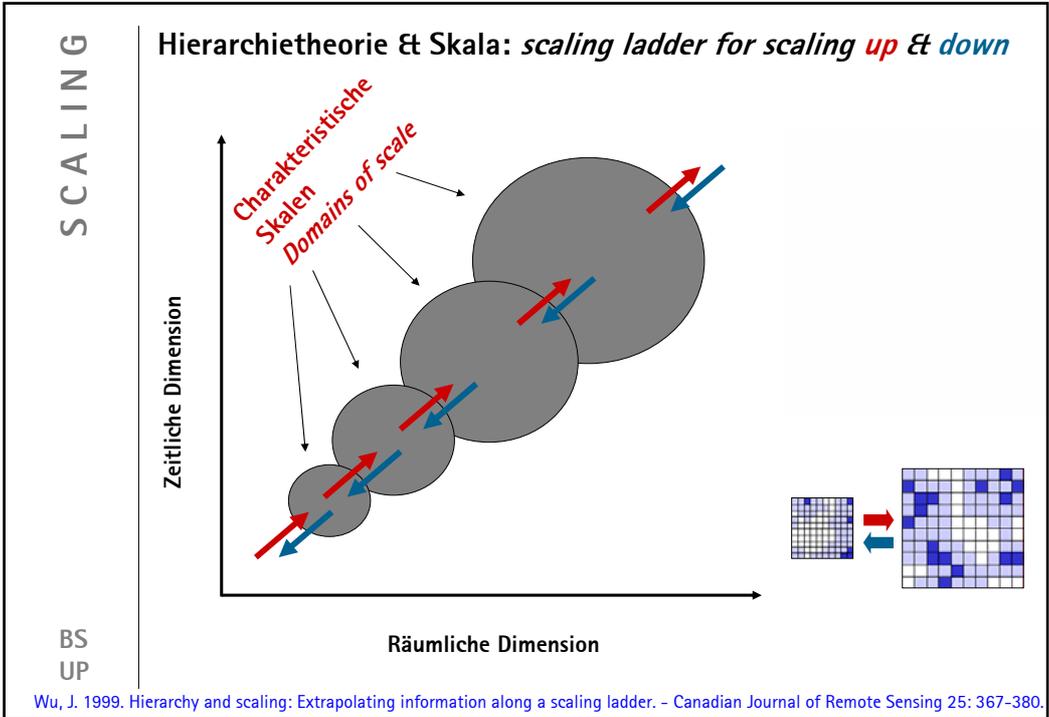
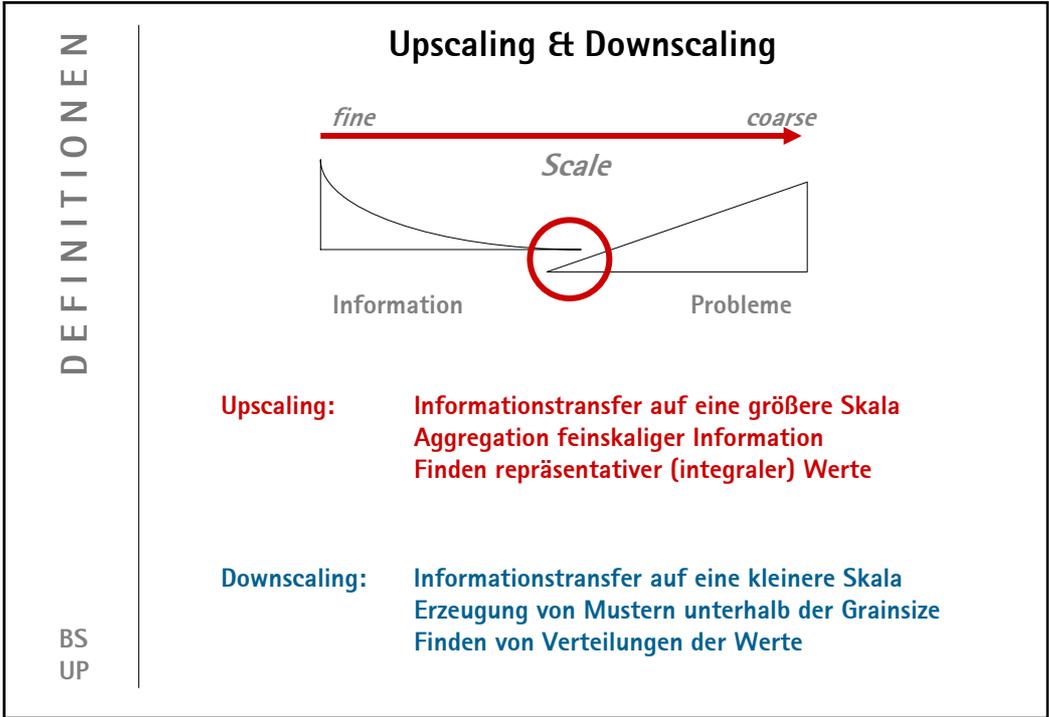
Zusammenfassung

Viele unterschiedliche Verfahren der Skalierung, aber einige generelle Gemeinsamkeiten:

- am besten bei regulären Mustern (sich wiederholend, periodisch)
- Ausreichende Ausdehnung und Auflösung notwendig
 - Faustregel**
 - Auflösung** : mindestens $\frac{1}{2}$ des feinsten Musters
 - Ausdehnung** : mindestens 3-5 Wiederholungen des Musters
- d.h.: große Datenmengen: GIS und Fernerkundung
- sich ergänzend;
 - am besten mehrere verwenden und nur konsistente Muster interpretieren!**

Upscaling





Upscaling & Downscaling

SCALE

- **Upscaling** = Finden repräsentativer Werte
Problem: Messungen – lokal ➡ Vorhersagen – regional (Extrapolation)
- Herausforderungen:
 - 1) Korrekte Definition der feinskaligen raumzeitlichen Heterogenität
 - 2) Korrekte Integration oder Aggregation dieser Heterogenität
- Ansätze
 - i) *Lumping* (Annahme: lineares System), multiplikativ
 - ii) Direkte Extrapolation, additiv
 - iii) Extrapolation gemäß des Erwartungswertes (benötigt Häufigkeitsverteilung der Variable, welche die Heterogenität beschreibt)
- **Downscaling** = Finden der Verteilung der Werte
 z.B. Disaggregation von Niederschlägen

Turner, M. G., Gardner, R. H. and O'Neill, R. V. 2001. Landscape ecology in theory and practice - pattern and process. - Springer
 King AW 1991. Translating models across scales. In: Turner, MG & Gardner RH (eds.), Quantitative methods in Landscape Ecology pp. 479-518

**BS
UP**

Upscaling – Beispiel

SCALING

10.000 ha Wald – Abschätzung der Biomasse

- *Lumping*
 - Messung auf 1 ha
 - Ergebnis für 1 ha × 10000
 - keine Berücksichtigung räumlicher/zeitlicher Variabilität
 - ignoriert nicht-lineares Verhalten bei Skalenwechsel

Turner, M. G., Gardner, R. H. and O'Neill, R. V. 2001. Landscape ecology in theory and practice - pattern and process. - Springer
 King AW 1991. Translating models across scales. In: Turner, MG & Gardner RH (eds.), Quantitative methods in Landscape Ecology pp. 479-518

**BS
UP**

Upscaling - Beispiel

10.000 ha Wald – Abschätzung der Biomasse

- *Lumping*
- direkte Extrapolation:
 - berücksichtigt räumliche Variabilität: Standorttypen
 - Messungen in jedem Standorttyp
 - Ergebnisse je Standorttyp × Flächenanteil werden aufsummiert
- Extrapolation gemäß des Erwartungswertes:
 - Häufigkeitsverteilung der Variablen, welche die Heterogenität beschreiben
 - Modellierung der Erwartungswerte (Mittelwerte) des Systemverhaltens in Abhängigkeit von diesen Variablen

keine Berücksichtigung von räumlichen Interaktionen und Rückkopplungen

Ecological scaling

Ökologische Skalierung

Potenzgesetze – empirische Verallgemeinerungen

scope =
range / resolution
extent / grain

Beziehung zwischen *scope* einer Variable
zum *scope* einer Maßeinheit (Länge, Fläche, Volumen, Zeit)
oder anderen Variable

$$\frac{Rate_{\max}}{Rate_{\min}} = \left(\frac{Länge_{\max}}{Länge_{\min}} \right)^{\beta}$$

$\beta \neq 1$: allometrisch

β : euklidisch oder fraktal

Rate auf der räumlichen Skala L_0 wird skaliert zu Rate auf Skala L durch

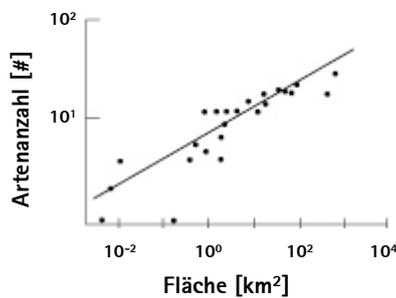
$$Rate(L) = Rate(L_0) \left(\frac{L}{L_0} \right)^{\beta} = kL^{\beta}$$

$L < L_{\max}, L_0 > L_{\min}$

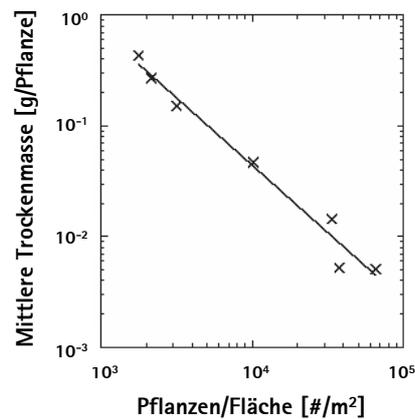
$k = Rate(L_0) \cdot L_0^{-\beta}$

Schneider DC, Walters R, Thrush S & Dayton P 1997. Scale-up of ecological experiments: Density variation in the mobile bivalve *Macomona liliana*. – J Exp Marine Biol Ecol 216: 129-152.

Arten-Areal-Kurven & Selbstausdünnung



$$S = cA^z$$



$$M = k(n/A)^{\alpha}$$

Scheiner SM 2003. Six types of species-area curves. – Global Ecol Biogeo 12: 441-448.
Roderick ML & Barnes B 2004. Self-thinning of plant populations from a dynamic viewpoint. – Funct Ecol 18: 197-203.

Ökologische Skalierung – klassische Beispiele

Allometrische Skalierung / *Allometric scaling laws* $M = aB^b$
zwischen Respirationsrate R [kcal/d] & Körpermasse [kg]

$$\frac{\dot{R}_{Elefant}}{\dot{R}_{Maus}} = \left(\frac{M_{Elefant}}{M_{Maus}} \right)^{0.723}$$

Verdopplung der Körpermasse
→ Anstieg des O₂-Verbrauchs um $2^{0.723} \approx 1.65$

Arten-Areal-Kurven / *Species-area curves* $S = cA^z$
Beziehung zwischen Artenzahl und Flächengröße

Selbstaussdünnung / *Self-thinning laws* $M = k(n/A)^\alpha$
Beziehung zwischen z.B. Gesamtbioasse eines Waldes zur mittl. Baumgröße

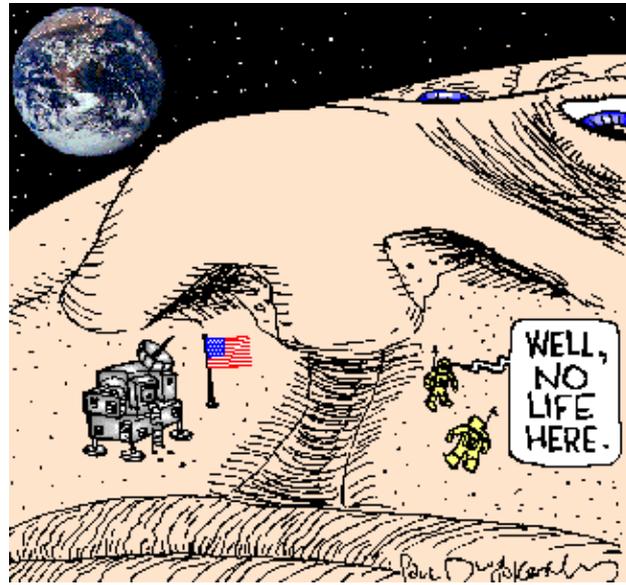
Calder WA 1983. Ecological scaling: mammals and birds. – Ann Rev Ecol & Syst 14: 213–230.
Arrhenius O 1921. Species and area. – J Ecol 9: 95–99.
Yoda K, Shinozaki K, Ogawa H, Hozumi K & Kira T 1965.
Estimation of the total amount of respiration in woody organs of trees and forest communities. J Biol Osaka City Univ 16:15–26.

Fazit – aus landschaftsökologischer Sicht

Although the concept that “scale matters” is a central concern of landscape ecology, we have only fragments of a theory of scaling (Wiens 1999, p. 373).

Wiens, J. A. 1999. The science and practice of landscape ecology. – In: Klopatek, J. M. and Gardner, R. H. (eds.), Landscape ecological analysis: issues and applications. Springer, pp. 371–383.

EINBLICK



BS
UP

Lands
EGOL