

ZIELSETZUNG

## Landschaftsökologie – Gliederung der VL

### Wie entstehen Muster in Landschaften?

- Abiotische Grundlagen (Klima, Topographie, Boden)
- Biotische Prozesse (Etablierung, Wachstum, Ausbreitung, Aussterben)
- Störungsregime (natürlich vs anthropogen)

### Wie kann man Muster in der Landschaft charakterisieren?

- Welches sind die charakteristischen Skalen?
- Was ist ein Patch? Was sind *landscape metrics*?
- Was bedeutet Konnektivität?

### Wie entwickeln sich Landschaften?

- Patchdynamik
- Landnutzungswandel, *global and climate change*

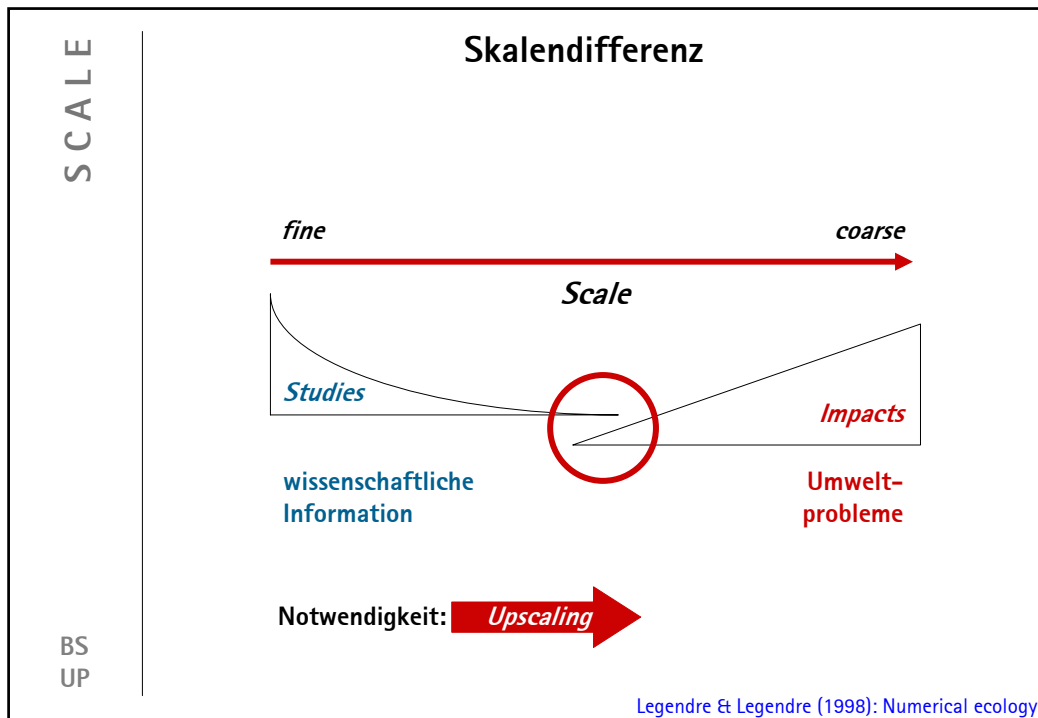
### Welche Bedeutung haben Landschaftsheterogenität und Muster?

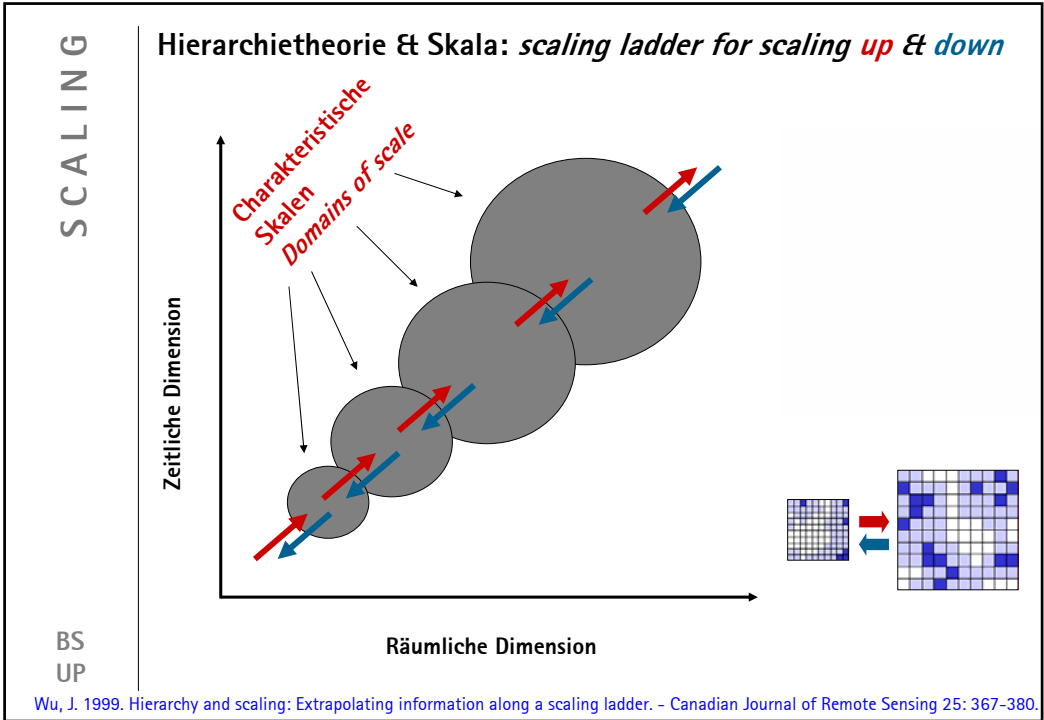
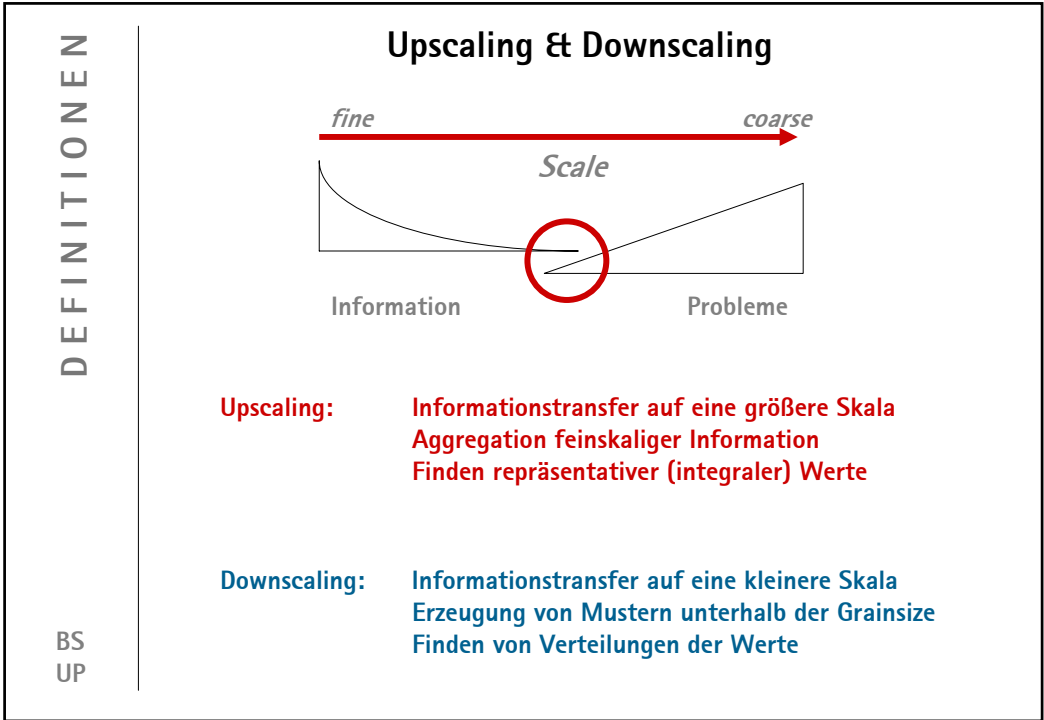
- Populationen, Metapopulationen
- Gemeinschaften / *communities*
- Ökosystemprozesse

BS  
UP

# Upscaling

BS  
UP





**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

BS  
UP

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

**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

BS  
UP

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

**Upscaling** - Beispiel**10.000 ha Wald – Abschätzung der Biomasse**

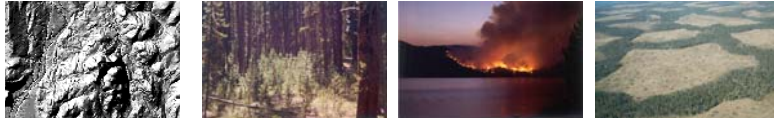
- *Lumping*
- direkte Extrapolation:
  - berücksichtigt räumliche Variabilität: Standorttypen
  - Messungen in jedem Standorttyp
  - Ergebnisse je Standorttyp × Flächenanteil werden aufsummiert
- Extrapolation gemäß des Erwartungswertes:
  - Häufigkeitsverteilung der Variablen, welche die Heterogenität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

---

keine Berücksichtigung von räumlichen Interaktionen und Rückkopplungen

## Was ist der Grund für Landschaftsheterogenität?

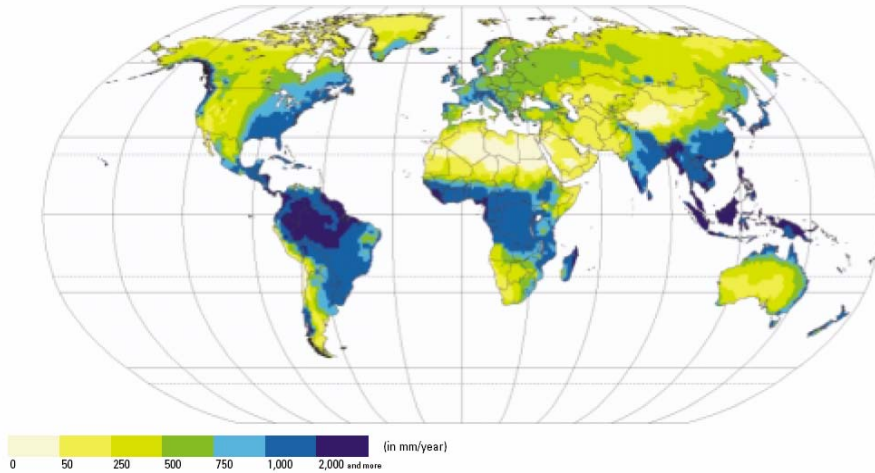
- Abiotische Bedingungen (Klima, Topographie, Boden, ...)
- Biotische Interaktionen (Sukzession, Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen, Parasitismus, Ausbreitung, ...)
- Störungsregime (natürlich vs anthropogen)



## Globale & (a)zonale Aspekte

### Abiotische Bedingungen / *abiotic template*

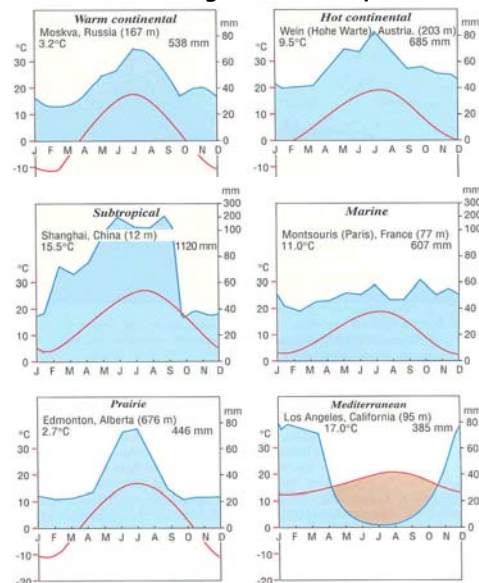
- Geografische Lage  
z.B. weltweite Niederschlagsverteilung



World Water Assessment Programme (WWAP) by the Centre for Environmental Research, University of Kassel

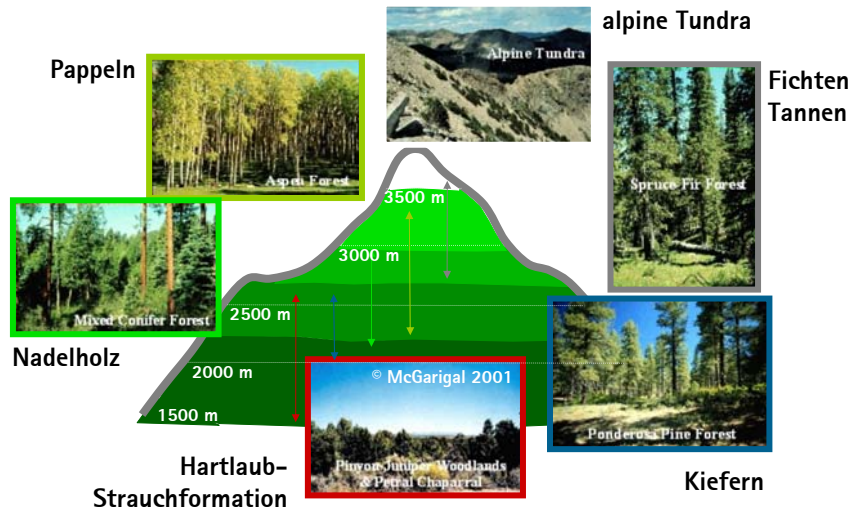
### Abiotische Bedingungen / zonale Effekte

Variabilität von Niederschlag und Lufttemperatur im Jahresverlauf



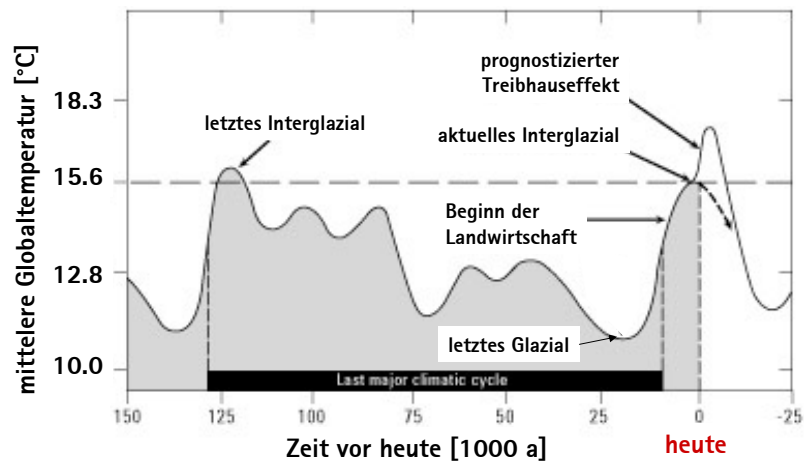
### Abiotische Bedingungen – azonale Effekte

- Geografische Lage  
Geländehöhe, Hangposition: z.B. Zonierung San Juan Montains (Colorado)



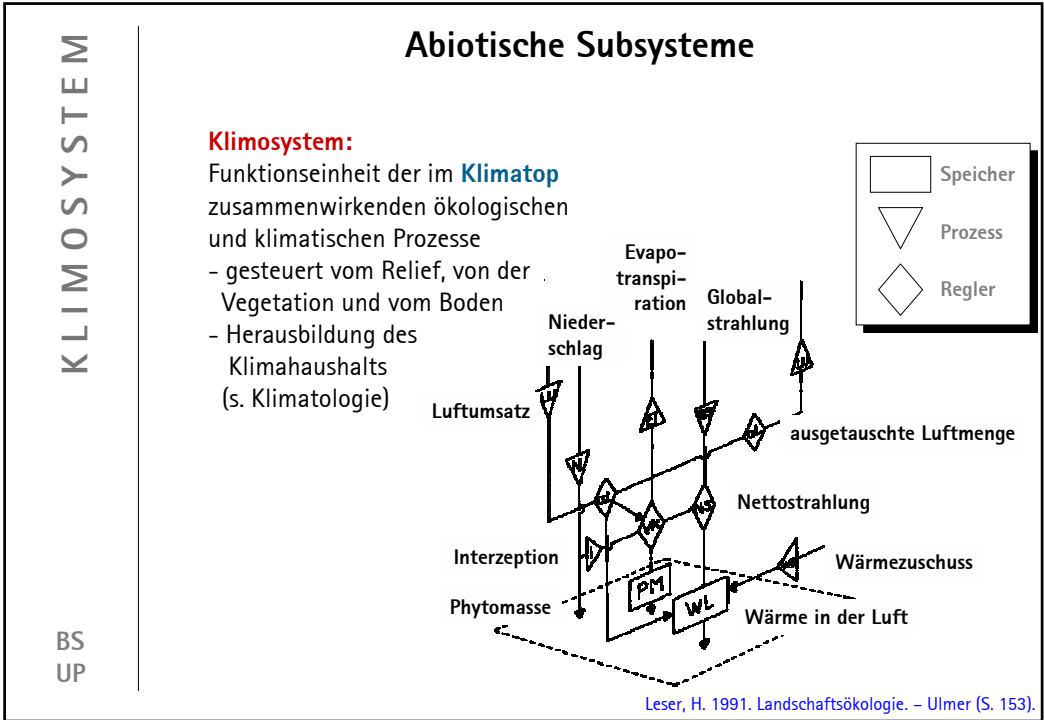
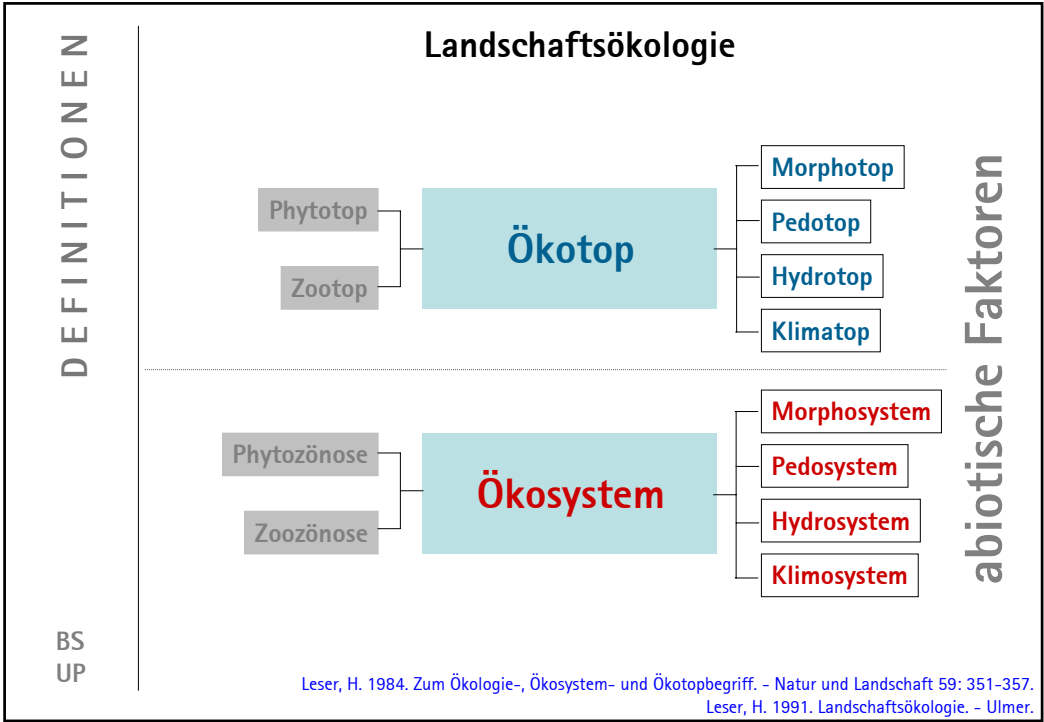
### Abiotische Bedingungen – Dynamik

- Geografische Lage
- Klima(-wandel)



Turner, Gardner, O'Neill 2001

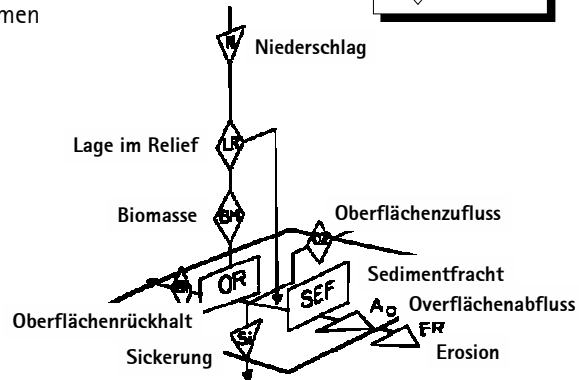
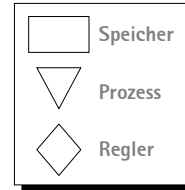




### Abiotische Subsysteme

**Morphosystem:**

Funktionseinheit der im **Morphotop** zusammenwirkenden ökologischen und geomorphogenetischen Prozesse  
 - gesteuert vom Relief  
 - Herausbildung der Formen (s. Geomorphologie)

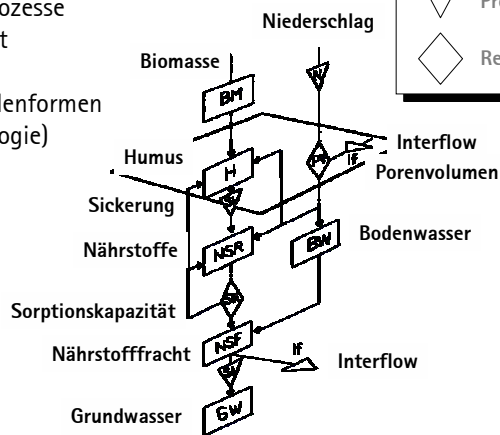
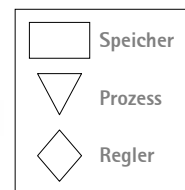


Leser, H. 1991. Landschaftsökologie. - Ulmer (S. 153).

### Abiotische Subsysteme

**Pedosystem:**

Funktionseinheit der im **Pedotop** zusammenwirkenden ökologischen und pedogenetischen Prozesse  
 - gesteuert vom Substrat und vom Relief  
 - Herausbildung der Bodenformen (s. Bodenkunde / Pedologie)

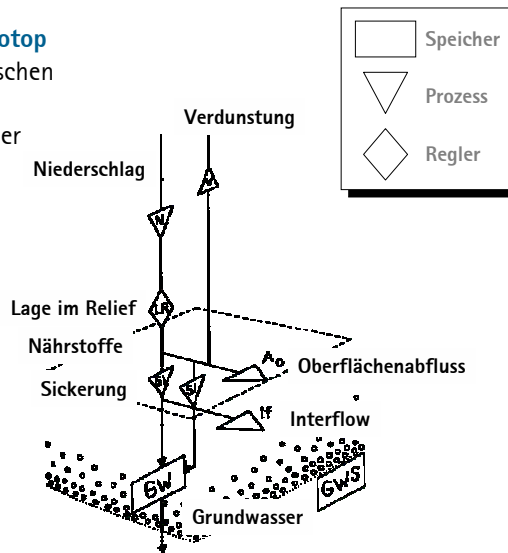


Leser, H. 1991. Landschaftsökologie. - Ulmer (S. 153).

## Abiotische Subsysteme

### Hydrosystem:

Funktionseinheit der im **Hydrotop** zusammenwirkenden ökologischen und hydrologischen Prozesse  
 - gesteuert vom Boden, von der Vegetation und vom Relief  
 - Herausbildung des Wasserhaushalts (s. Hydrologie)



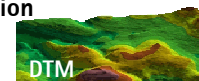
Leser, H. 1991. Landschaftsökologie. - Ulmer (S. 153).

## Abiotische Bedingungen / *abiotic template*

Klima, d.h langjährige mittlere bzw. vorherrschende Wetterverhältnisse bestimmt die Verteilung von Energie & Wasser in einer Region

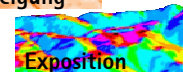
### Temperatur

- variiert mit geografischen Breite und Geländehöhe
- adiabatische Abnahme: 5 ... 9.8°/km (gesättigt ... trocken)
- reagiert auf Einstrahlung (Hangneigung & Exposition)



### Einstrahlung / solar radiation

- variiert mit geogr. Breite, Jahres- & Tageszeit (Bonan 1989)
- abhängig von Hangneigung & Exposition (Nikolov & Zeller 1992)



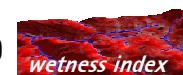
### Niederschlag / precipitation

- Windrichtung, orographische & luv/lee-Effekte (Daly et al. 1994)



### Wasserversorgung ~ Terrainposition, Topographie

- Wetnessindex / topographischer Konvergenzindex (Moore et al. 1991)
- Feuchteindices <- Topographie und Boden (Iverson et al. 1997)

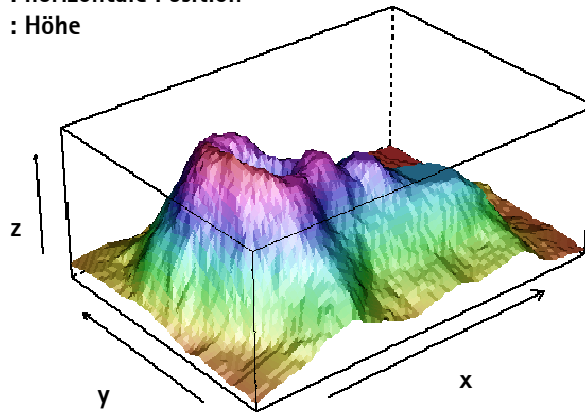


Daly, C. et al. 1994. A statistical-topographic model ... J. Appl. Meteorol. 33: 140-158  
 Bonan, G. B. 1989. A computer model of the solar radiation, ... - Ecol. Model. 45: 275-306  
 Nikolov, N. T. & Zeller, K. F. 1992. A solar radiation algorithm for ecosystem dynamic models. - Ecol. Model. 61: 149-168  
 Iverson, L. R. et al. 1997. A GIS-derived integrated moisture index. - Landscape Ecol. 12: 331-348  
 Moore, I. D. et al. 1991. Digital terrain modelling. - Hydrol. Proc. 5: 3-30

## Topographie – Digitales Geländemodell: Def. I

Repräsentation einer Geländeoberfläche  
durch digital gespeicherte  
dreidimensionale Koordinaten (x, y, z):

x, y : horizontale Position  
z : Höhe



## Digitale Geländemodelle – Def. II

---

DGM : digitales Geländemodell  
synonym verwendet mit:

DHM : digitales Höhenmodell  
DEM : *digital elevation model*

DTM : *digital terrain model*  
= DEM & ableitbare Geländeinformationen  
= Abbildung & Interpretation

---

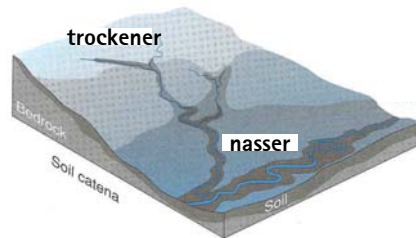
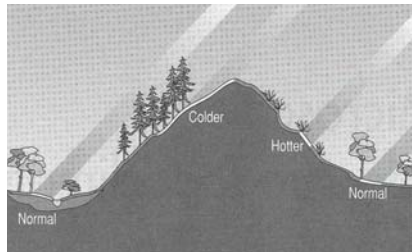
## Digitale Geländemodelle - Wofür?

Reliefcharakterisierung liefert Informationen zum ....

Energiehaushalt:  
Einstrahlung / Insolation

Wasserhaushalt:  
Evaporation, Bodenfeuchte, Einzugsgebiet

Stoffhaushalt:  
Erosionspotential

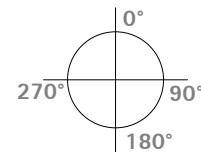


## Reliefparameter

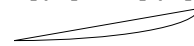
Hangneigung : Winkel zwischen GOF und horizontaler Bezugsebene  
*slope* [ $\beta = 0^\circ \dots 90^\circ$  oder dimensionslos:  $\tan \beta$ ]



Exposition : Richtung der Hangneigung  
*aspect* [ $\varphi =$  Abweichung von N:  $0^\circ \dots 360^\circ$  oder  $0 \dots 2\pi$  (im Bogenmaß)]



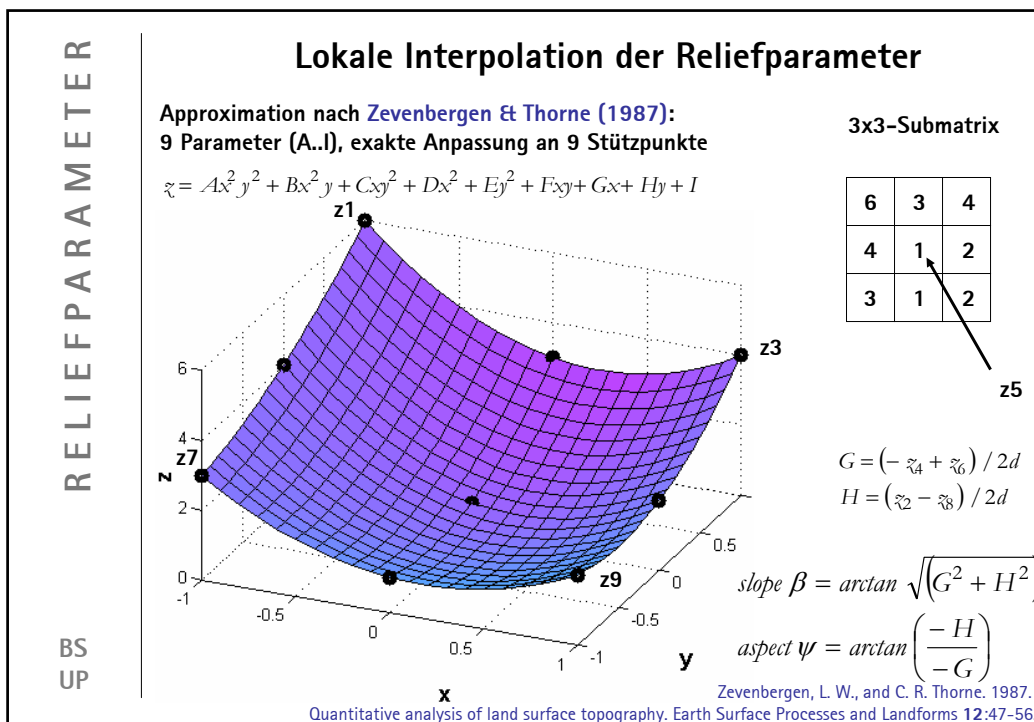
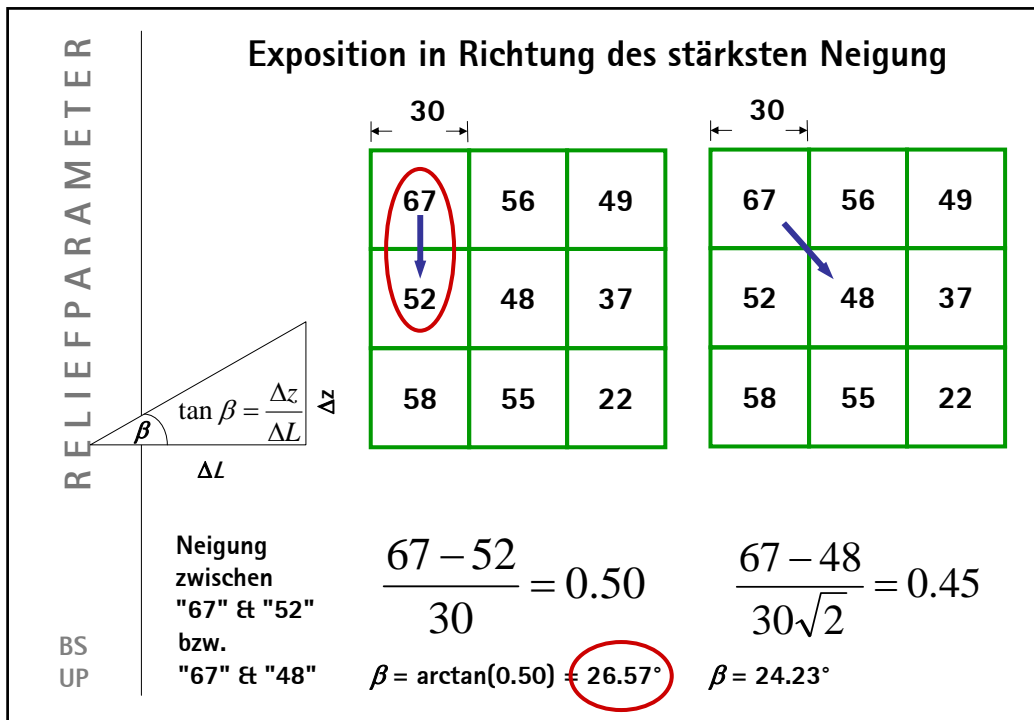
Vertikalwölbung : Oberflächenwölbung in Richtung der Hangneigung  
*profile curvature* : Änderung der Hangneigung je Längeneinheit  $\upsilon$ : [ $^\circ/m$ ] oder [ $1/m$ ]

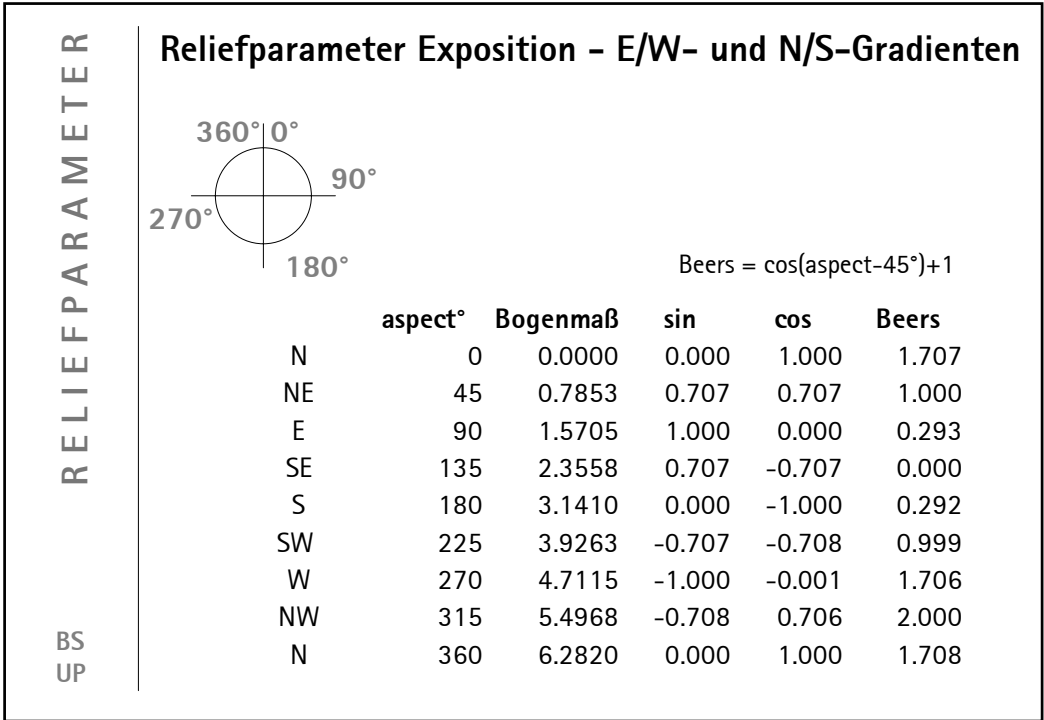
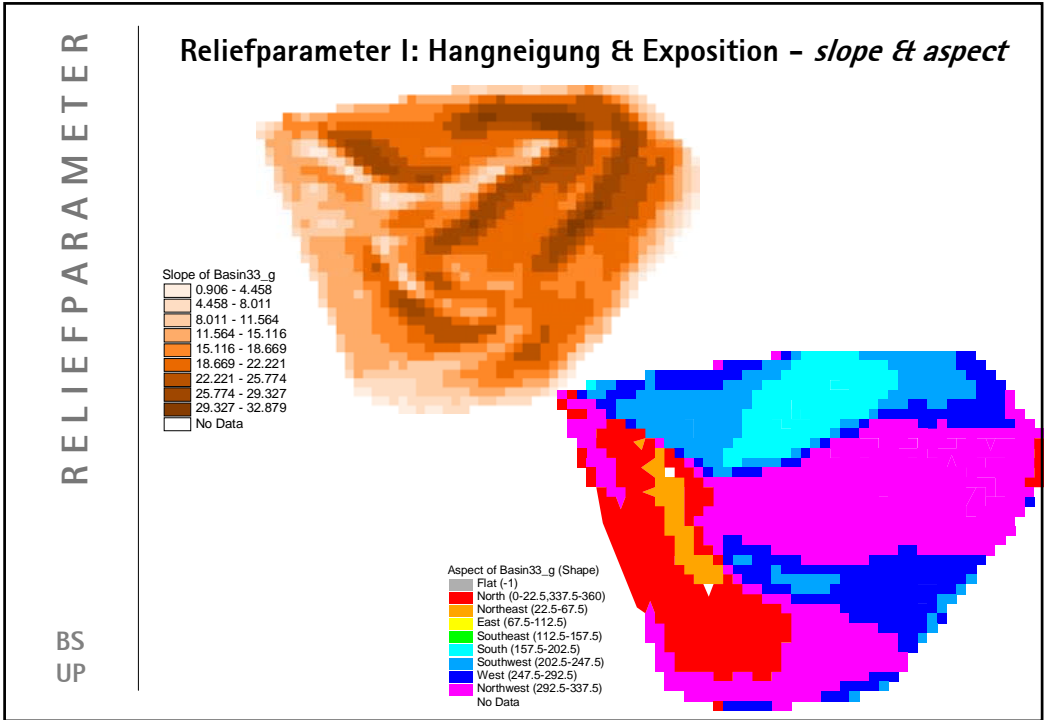


Horizontalwölbung : isohypsenparalleler Anteil der Oberflächenwölbung  
*plan curvature* : Änderung der Exposition je Längeneinheit  $\omega$ : [ $^\circ/m$ ] oder [ $1/m$ ]



negative Wölbungswerte : konkave Oberflächen  
positive Wölbungswerte : konvexe Oberflächen



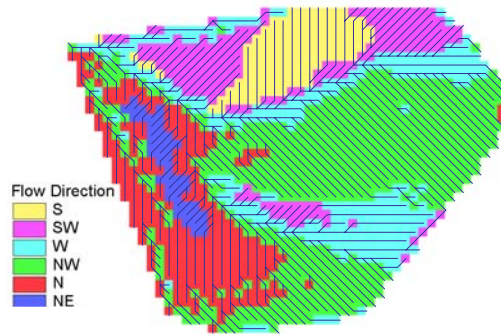


## Oberflächentopologie & Drainagenetzwerk

*deterministic-8 / D8-Modell:*

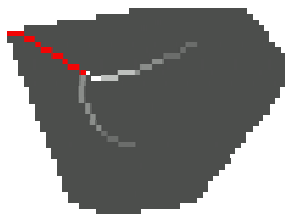
Abfluss aus einer Rasterzelle wird in die Nachbarzelle weitergeleitet, zu der das stärkste Gefälle besteht: Flussrichtung / *flow direction*

- + enorm einfach, weit verbreitet
- + automatische Ermittlung von Tiefenlinien und Einzugsgebietsgrenzen
- Abflusskonzentration in die 8 Hauptrichtungen, keine Abflussdivergenz



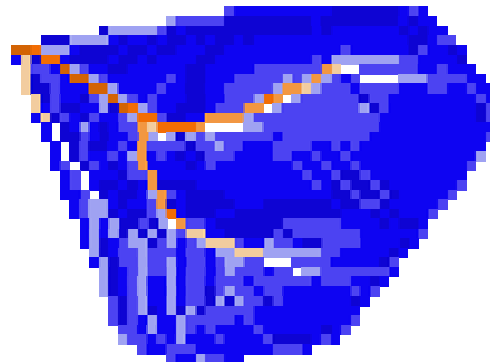
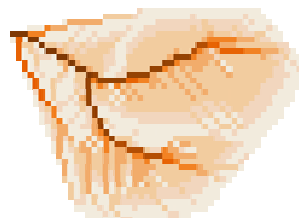
## Drainagenetzwerk - abgeleitete Parameter

*flow accumulation*



*wetness index*

$$\ln[(\text{flow accumulation} + 1) \cdot \text{Zellbreite} / \tan b \text{ (Bogenmaß)}]$$



*ln (flow accumulation)*

Beven, K. J., and M. J. Kirkby. 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Bulletin* 24:43-69.



### Modellierung der Einstrahlung auf einen Hang

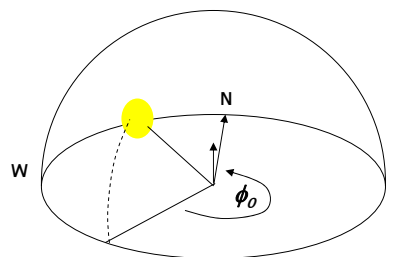
$$I = \cos i \cdot S_0 \cdot e^{(-T_0 / \cos \theta_0)}$$

$$= [\cos \theta_0 \cdot \cos \beta + \sin \theta_0 \cdot \sin \beta \cdot \cos(\phi_0 - A)] \cdot S_0 \cdot e^{(-T_0 / \cos \theta_0)}$$

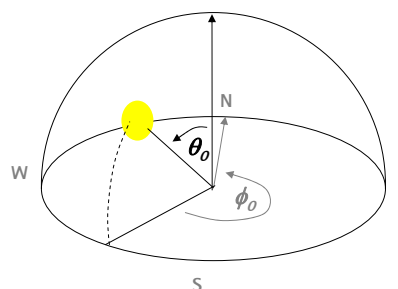
mit

- $I$  : direkte Einstrahlung auf den Hang
- $\cos i$  : Cosinus des solaren Einstrahlungswinkels
- $S_0$  : Einstrahlung außerhalb der Atmosphäre
- $\theta_0$  : Zenith der Sonne zeitabhängig (Tag & Jahr)
- $\phi_0$  : Azimuth der Sonne geländeabhängig (DTM)
- $A$  : Azimuth des Hanges
- $\beta$  : Hangneigung wetterabhängig
- $T_0$  : Durchlässigkeitsgrad der Atmosphäre

### "Sonnen-"winkel - jahres- & tageszeitabhängig

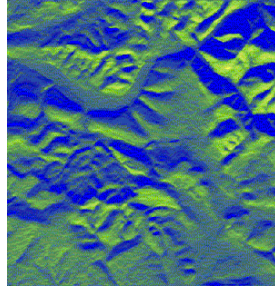


$\phi_0$  : Azimuth der Sonne

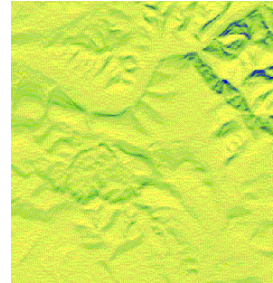


$\theta_0$  : Zenith der Sonne

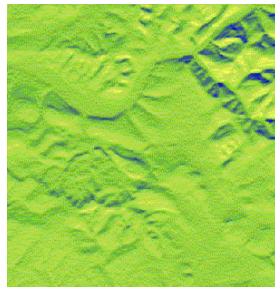
### Reliefparameter III: pot. solare Einstrahlung



22.12.



22.07.



22.03.

### Abiotische Bedingungen

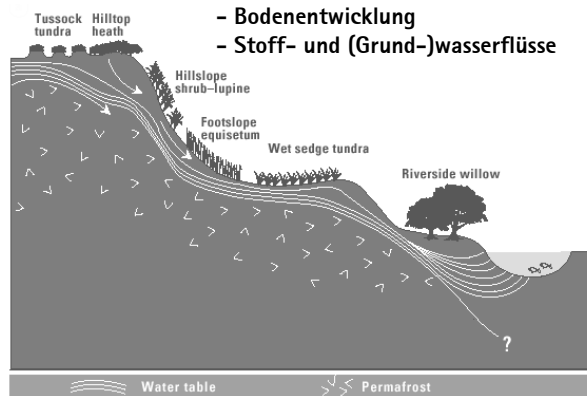
- Geografische Lage
- Klima(-wandel)
- Topographie
- Wasser
- Boden



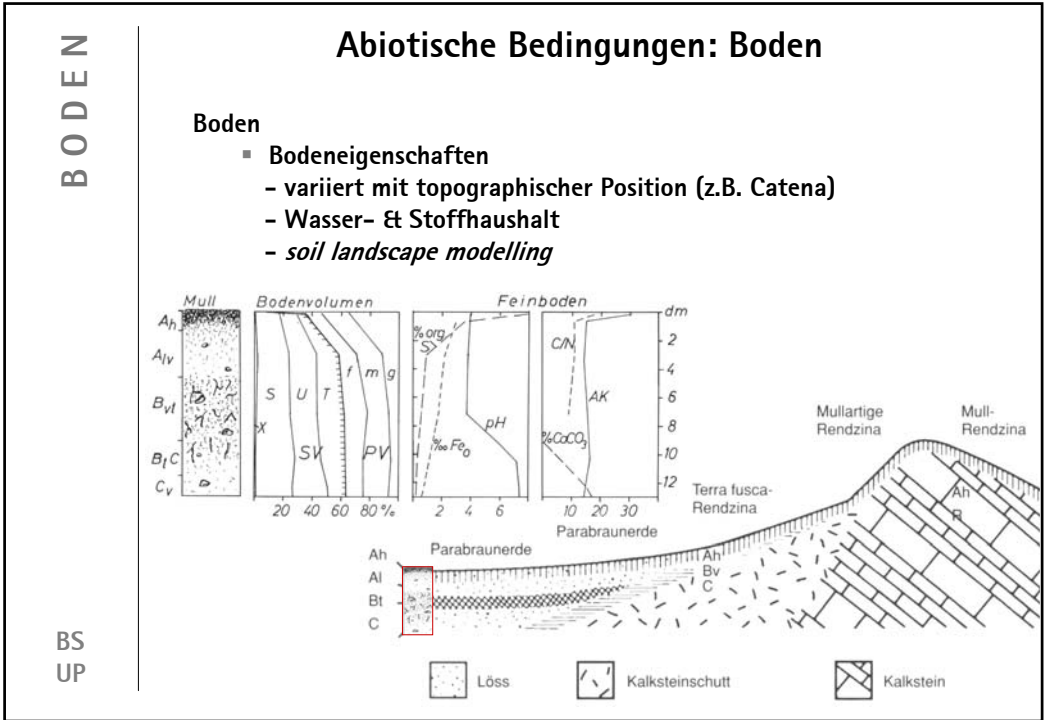
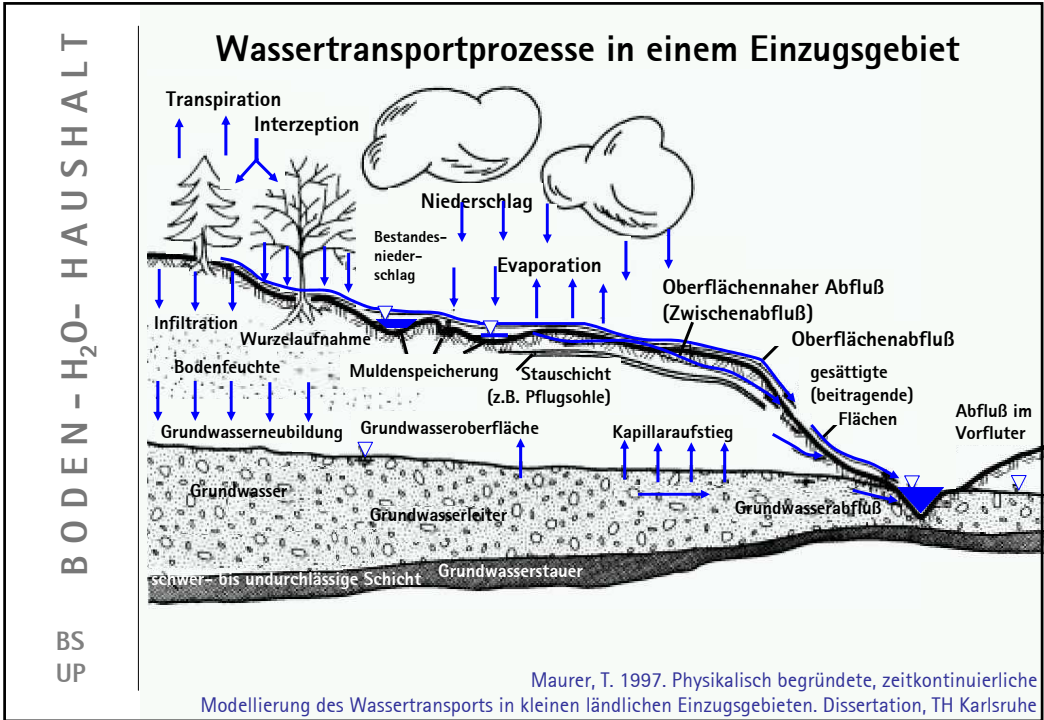
Topographie und geologisches Ausgangsmaterial:  
geomorphologische Eigenschaften bestimmen

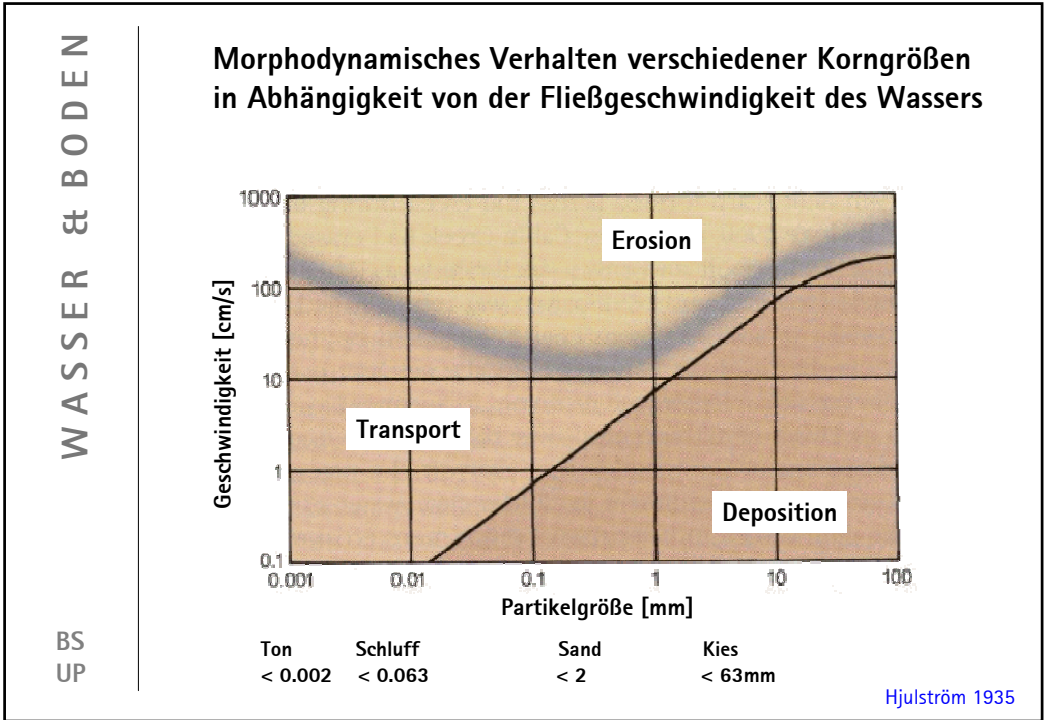
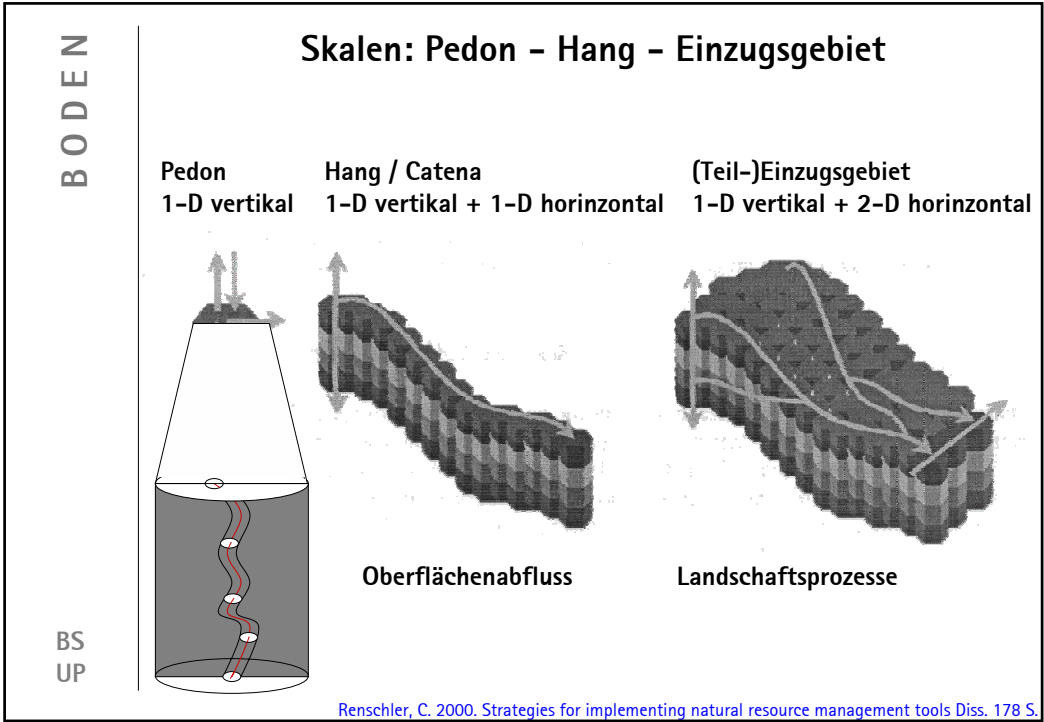
- Relief
- Bodenentwicklung
- Stoff- und (Grund-)wasserflüsse

**Jeder Faktor variiert auf seiner charakteristischen Skala!**



nach Shaver et al. (1991)  
aus Turner et al. (2001)





H<sub>2</sub>O- & STOFFHAUSHALT

BS  
UP

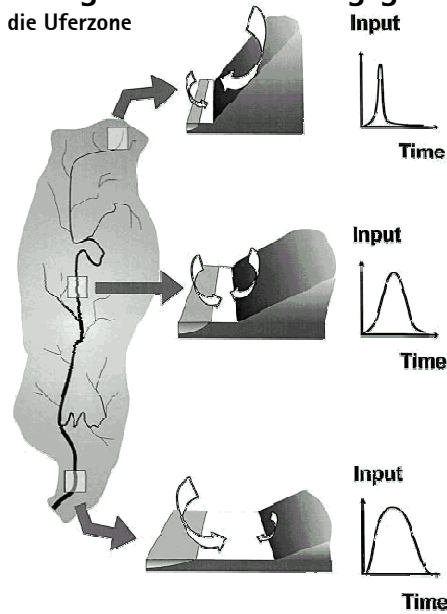
Konnektivität zwischen Fließgewässer & Einzugsgebiet

Inputs (Stoff, Energie, Individuen) in die Uferzone

Erosionszone  
*erosional zone*

Übergangszzone  
*transitional zone*

Depositionszzone  
*depositional zone*

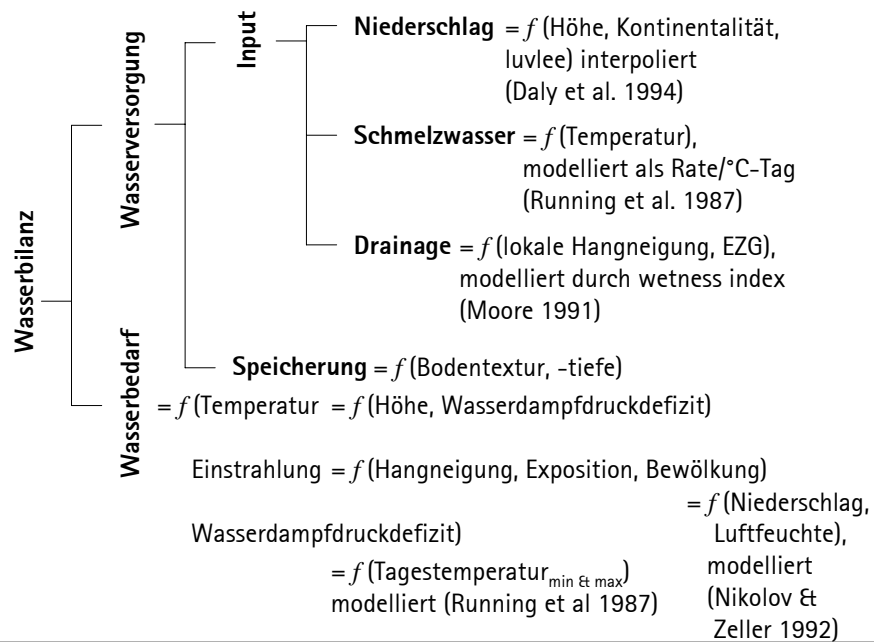


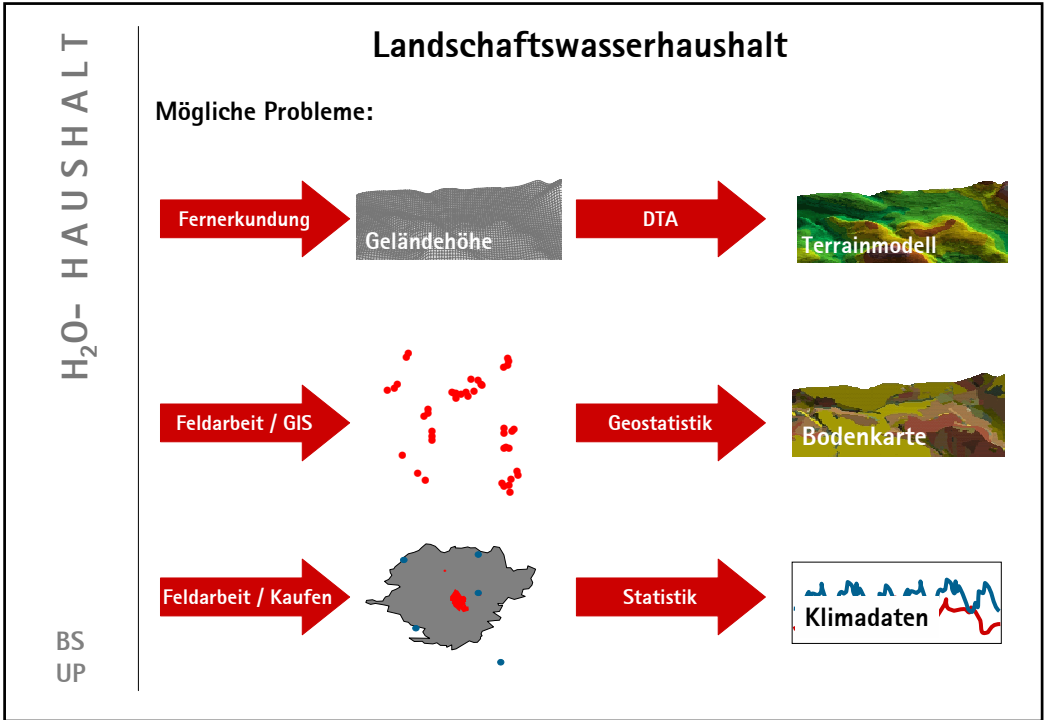
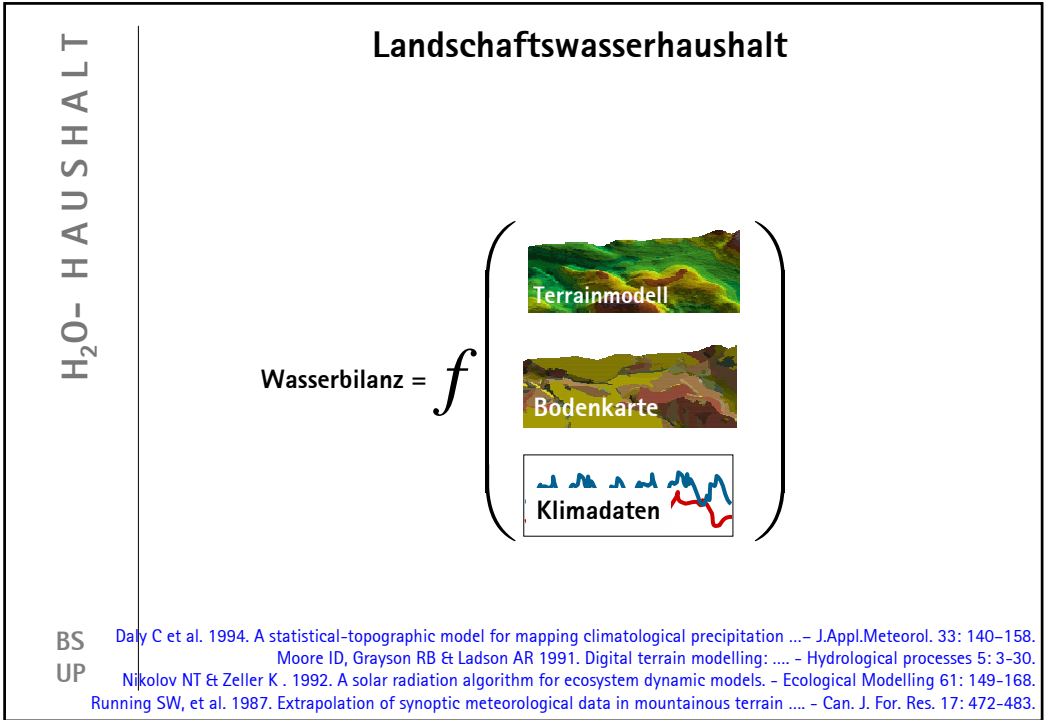
Tabacchi, E., D. L. Correll, R. Hauer, G. Pinay, A.-M. Planty-Tabacchi, and R. C. Wissmar. 1998. Development, maintenance and role of riparian vegetation in the river landscape. *Freshwater Biology* 40:497-516.

H<sub>2</sub>O- HAUSHALT

BS  
UP

Landschaftswasserhaushalt





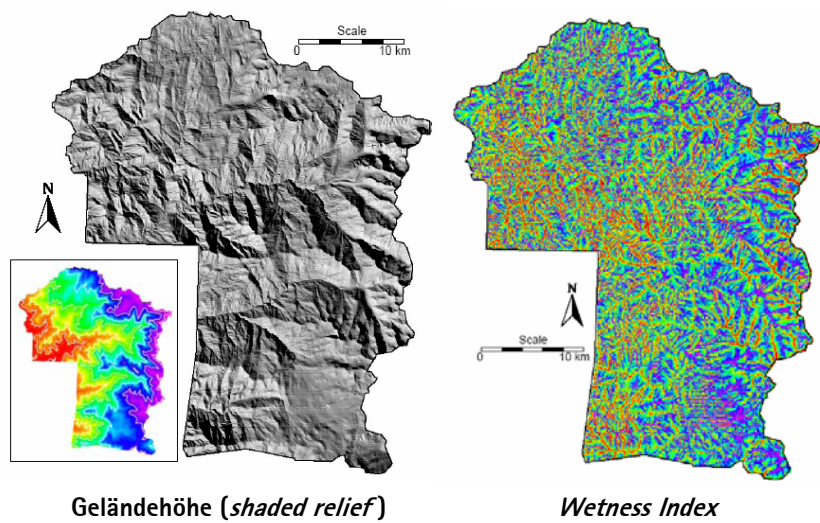
# Skalenabhängigkeit

BS  
UP

TREIBERVARIABLEN

## Abiotische Bedingungen - Beispiel

Achtung: Skalenabhängigkeit!

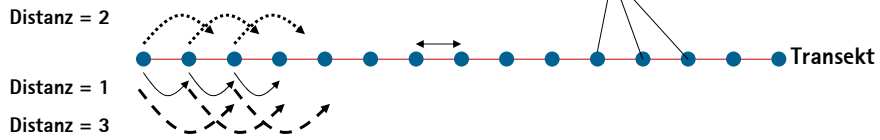


BS  
UP

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

## Räumliche Statistik & Landschaftsökologie

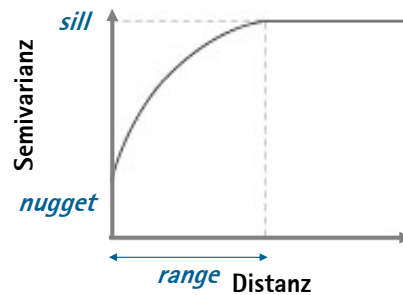
### Geostatistische Daten



### Semivarianz

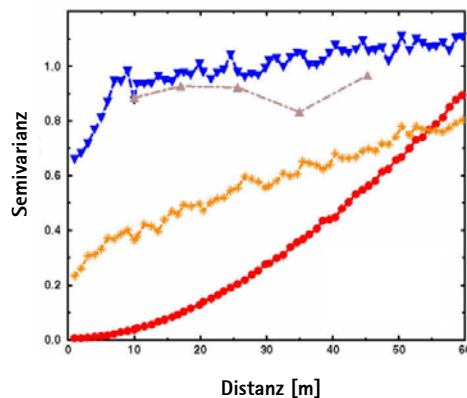
$$\gamma(d) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y_j)^2}{2n_d}, \text{ für } i \neq j$$

### Semivariogramm



## Abiotische Bedingungen - Beispiel

Achtung: Skalenabhängigkeit



- ▼— *Wetness index*  
(~ Abfluss)
- ▲— *Bodentiefe*  
(~ nFK)
- ★— *Exposition (NE-SW)*  
(~ Einstrahlung)
- *Geländehöhe*  
(~ Temperatur & Niederschlag)

Höhe = Gradient

Alle anderen:  
Hoher *Nugget*,  
d.h. Variabilität auf feinerer  
Skala als gemessen

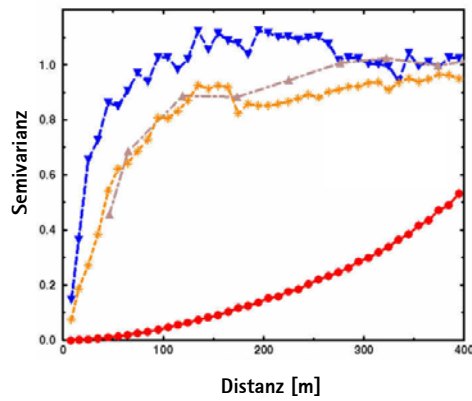
Koniferenstandort (2.5 ha, 0.5 m Auflösung)

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



### Abiotische Bedingungen - Beispiel

Achtung: Skalenabhängigkeit



- ▼- *Wetness index*
- ▲- Bodentiefe
- ★- Exposition (NE-SW)
- Geländehöhe

Höhe = Gradient

Alle anderen:  
Nugget stark verringert  
Range ~100 m

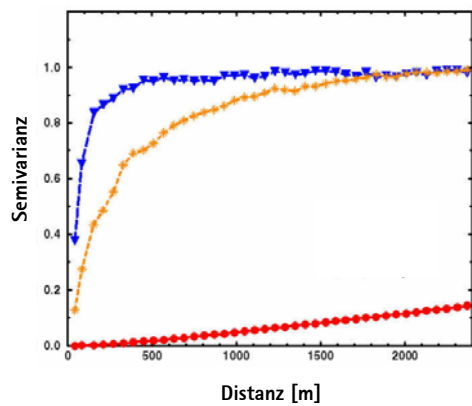
BS  
UP

- (a) Koniferenstandort (2.5 ha, 0.5 m Auflösung)
- (b) Log Creek Kleineinzugsgebiet (50 ha, 5 m Auflösung)

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

### Abiotische Bedingungen - Beispiel

Achtung: Skalenabhängigkeit



- ▼- *Wetness index*
- ★- Exposition (NE-SW)
- Geländehöhe

Höhe = Gradient, keine  
charakteristische Körnung

*Wetness Index: Range ~200 m*  
*Exposition: Range ~ 500 m*

BS  
UP

- (a) Koniferenstandort (2.5 ha, 0.5 m Auflösung)
- (b) Log Creek Kleineinzugsgebiet (50 ha, 5 m Auflösung)
- (c) Kaweah Basin Einzugsgebiet (~50,000 ha, 30 m Auflösung).

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

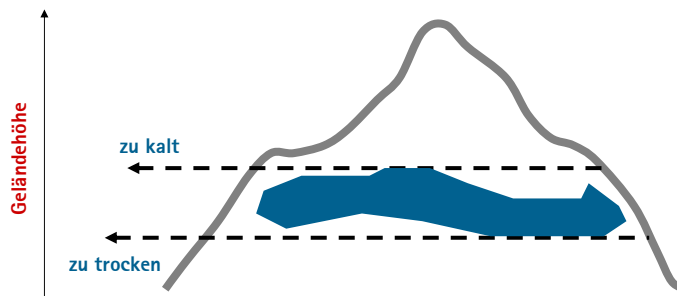
## Abiotische Bedingungen - Beispiel 2

Verwendung dieser Variablen zur Erklärung und Vorhersage von Vegetationsmustern (Verbreitung von Vegetationstypen):

Erklärende Variablen sind skalenabhängig.

Beispiel:

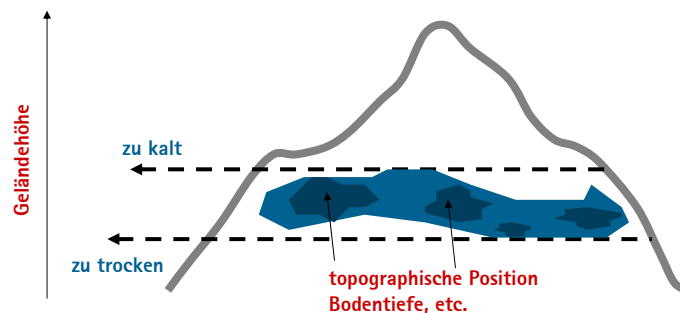
Höhengradienten in Temperatur & Niederschlag ermöglichen die Prognose einzelner Vegetationstypen (zwischen "zu trocken" und "zu kalt")



## Abiotische Bedingungen - Beispiel 2

Beispiel fortgeführt: Vorkommen einzelner Arten des Vegetationstyps?

- Innerhalb jeder Zone sind weder Temperatur noch Niederschlag sinnvolle Prädiktoren der räumlichen Verteilung einzelner Arten; denn: alle Flächen weisen ähnliche Temperatur & Niederschlagsverhältnisse auf.
- Erklärende Variablen hier: z.B. topographische Position oder Bodentiefe.



- Vorhersagemodelle sind skalenabhängig!
- lokale und regionale Modelle unterscheiden sich.
- Modelle für einzelne Standorte müssen nicht zwangsläufig auch für andere Standorte gültig sein.

## Abiotische Bedingungen & Biotische Interaktionen

### Gradientenanalyse in der Vegetationsökologie

- **Klima, Topographie und Boden**
  - variieren alle auf ihrer charakteristischen Skala
  - sind untereinander verwoben
- **Vegetation spiegelt abiotische Gradienten wider**

