

# Einführung in die Biologie I



VO 300001  
**Ökologie**



Konrad Fiedler

*Dept. für Botanik & Biodiversitätsforschung*

konrad.fiedler@univie.ac.at

# Der Vortragende

- Studium & Doktorat – Zoologie, Botanik, Mathematik (Universität Frankfurt a. M.)
- Universitäre Stationen: Würzburg, Bayreuth, Wien
- Forschungsinteressen
  - Evolutionsökologie → Insekten
  - Artengemeinschaften → *Community Ecology*
  - Biodiversität & Makroökologie → gemäßigte Zonen vs. Tropen
  - Naturschutzbiologie
- Lehre
  - Biodiversitätsforschung
  - Tierökologie
  - Allgemeine Ökologie
  - Statistik & Datenanalyse



# Empfehlenswerte Lehrbücher

Smith, T.H., Smith, R.L. (2015) *Elements of Ecology*, 9<sup>th</sup> ed.  
Pearson/Benjamin Cummings. ISBN: 978-0-3219-3418-5  
dt. Fassung (2009) *Ökologie*, 6. Aufl. ISBN: 978-3-8273-7313-7

Nentwig, W., Bacher, S., Brandl, R. (2012) *Ökologie kompakt*.  
3. Aufl. Springer Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2836-3

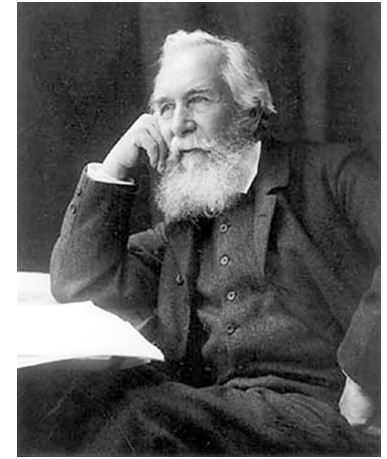
Townsend, C.R., Begon, M., Harper, J.L (2014) *Ökologie*.  
2. Aufl. Springer Spektrum. ISBN: 978-3-662-44077-3

Schaefer, M. (2012) *Wörterbuch der Ökologie*.  
5. Aufl. Springer Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2561-4

# Einleitung

- 1) **Was** ist Ökologie als Wissenschafts-Disziplin in der Biologie?
- 2) **Warum** sollen wir Ökologie betreiben / studieren?
- 3) **Wie** sollen wir in der Ökologie forschen?

# 1) Was ist Ökologie?



- Ökologie: griech. οἶκος = oikos (Haus, Haushalt)  
–logie: Lehre von...

**Definition 1:** *Die Tierökologie ist die Lehre von der Ökonomie, von dem Haushalt der tierischen Organismen. Diese hat die gesamten Beziehungen des Tieres sowohl zu seiner anorganischen als auch zu seiner organischen Umgebung zu untersuchen, vor allem die freundlichen und feindlichen Beziehungen zu denjenigen Tieren und Pflanzen, mit denen es in direkte und indirekte Berührung kommt; oder mit einem Worte alle diejenigen verwickelten Wechselbeziehungen, welche **Darwin** als die Bedingungen des Kampfes ums Dasein bezeichnet.* (Ernst HAECKEL 1866)

# 1) Was ist Ökologie? (cont.)

**Definition 2:** Die Ökologie ist die Teildisziplin der Biologie, die sich mit denjenigen Wechselbeziehungen der Organismen untereinander und mit ihrer unbelebten Umwelt befasst, die die Verbreitung und Häufigkeit der Organismen bestimmen. (Charles KREBS 1985)



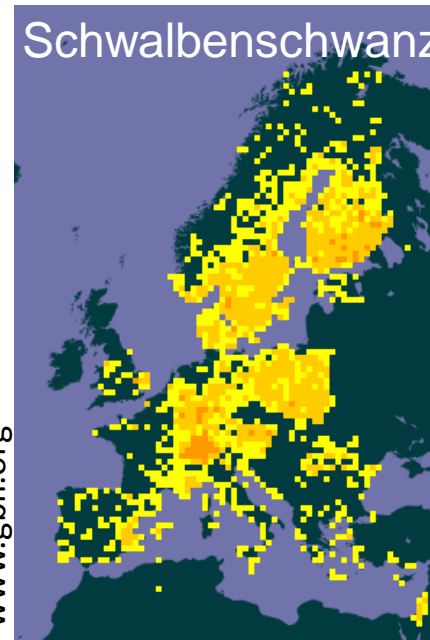
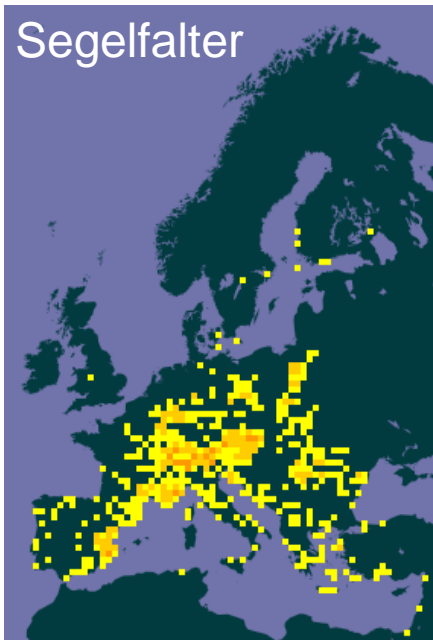
Interaktionen  
biotisch – abiotisch

Verbreitung  
Abundanz

Wo? – Klima, Boden ...  
Wie viele? – Ressourcen

Ziel- (= response)  
Variablen

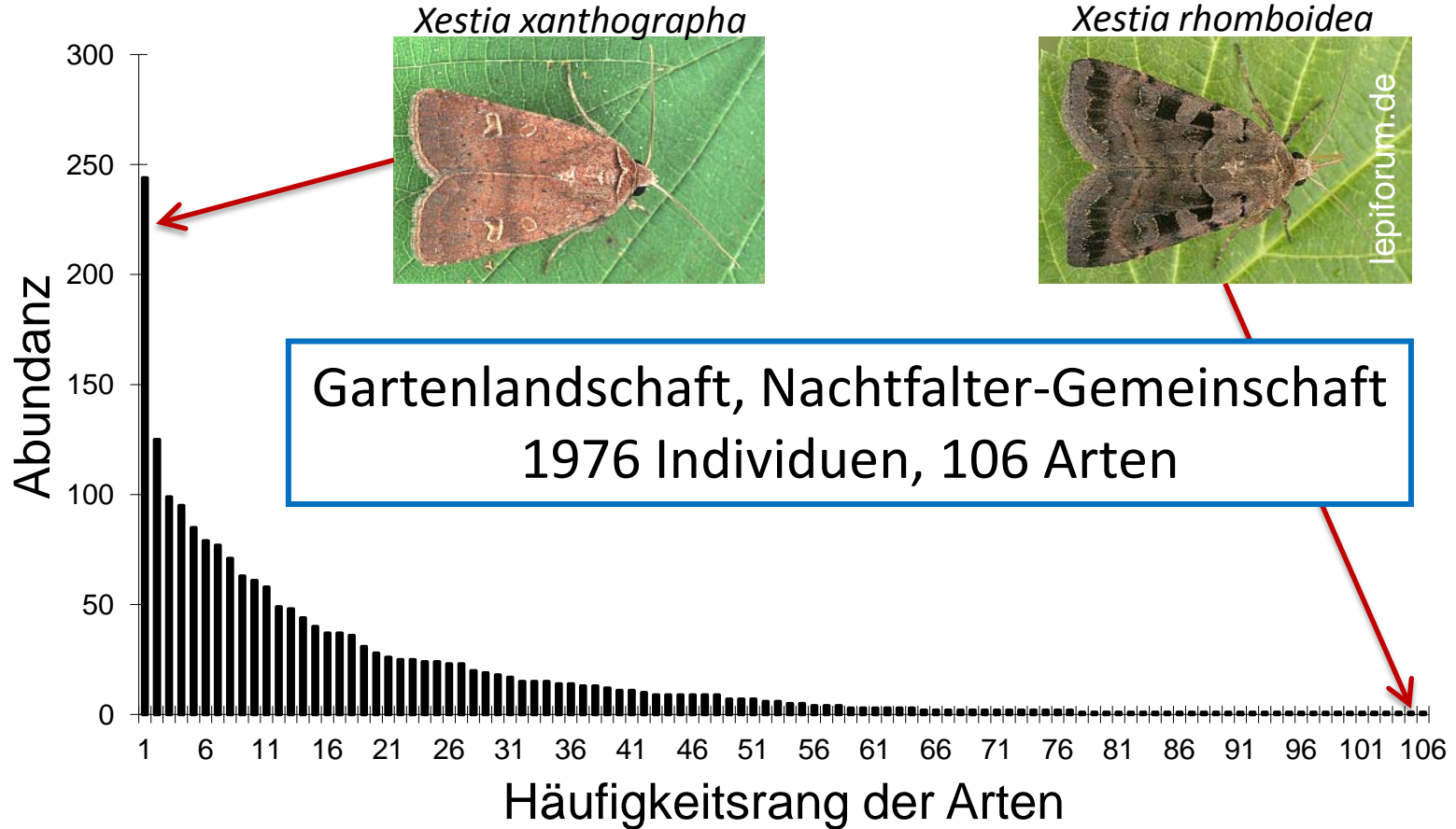
# *Verbreitung* von Organismen – warum nicht „überall“?



## Kausalfaktoren für unterschiedliche Verbreitungen:

- klimatische Zwänge – Abiotik, Ökophysiologie
- Ressourcen (z. B. Fraßpflanzen) – biotische Interaktionen
- Gegenspieler – Fraßfeinde, Parasiten, Pathogene ...
- Geschichte – Biogeographie, Ausbreitungsfähigkeit

# Häufigkeit von Organismen – warum nicht „alle gleich“?



## Kausalfaktoren für unterschiedliche Häufigkeiten:

- lokale Lebensraum-Eigenschaften – Klima, Ressourcen ...
- regionaler Kontext – Ausbreitungsfähigkeit, Artenpool ...



**Definition 3:** Die Ökologie ist die Lehre von den Wechselbeziehungen der Organismen mit ihrer auf sie einwirkenden Umwelt. Zur wirksamen Umwelt gehören alle Faktoren, die irgendeinen Einfluss auf Lebewesen haben, also alle potentiellen Selektionsfaktoren. Darunter sind biotische Faktoren, wie Räuber, Nahrung und Konkurrenten, sowie abiotische Faktoren, wie Klima und anorganische Stoffe.

- Organismische Zugänge zur Ökologie
- **Interaktionen**, Eigenschaften der Organismen
- Evolution: natürliche Selektion, Historie
- Raumbezug – Skala (lokal ↔ regional ↔ kontinental)

**Definition 4:** Ökologie ist die Wissenschaft vom Stoff- und Energiehaushalt der Biosphäre und ihrer Untereinheiten (zum Beispiel Ökosysteme) sowie von den Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Organismen, zwischen Organismen und den auf sie wirkenden Umweltfaktoren sowie zwischen den einzelnen unbelebten Umweltfaktoren.

- Systemische Zugänge zur Ökologie
- Zielvariablen: **Stoffflüsse** zwischen Kompartimenten; Organismen (als Funktionsträger) eher sekundär
- Betonung: Abiotik & Prozesse → ‚Geo-Ökologie‘

# 1) Was ist Ökologie NICHT?

- Umweltwissenschaft: Studium der Auswirkungen des *Menschen* auf Umwelt → *anthropozentrisch*
- Umweltschutzbewegung: Aktivismus mit dem Ziel, die Umwelt zu „verbessern“
- Management von Ressourcen:
  - Fischerei
  - Forstwirtschaft
  - Bodenbewirtschaftung
  - Naturschutz

Anwendungsoptionen  
ökologischer  
Grundlagenforschung

## 2) *Warum* Ökologie?

- Intellektuelle Neugierde: **Vorgänge verstehen**
- Wissen um **ökologische Zusammenhänge** ⇒ wichtige Auswirkungen auf unser tägliches Leben
- Auswirkungen menschlichen Handelns auf globales Ökosystem enorm groß ⇒ **Anthropozän**
- Schlüssel, um unsere **Zukunft vorherzusagen**: *global change* (Klima, Landnutzung, Versauerung der Böden & Meere ...)
- Um **Naturgesetze** zu **verstehen**, welche die **Grenzen der Interaktionen** zwischen Organismen (auch: Mensch!) und der belebten und unbelebten Natur bestimmen

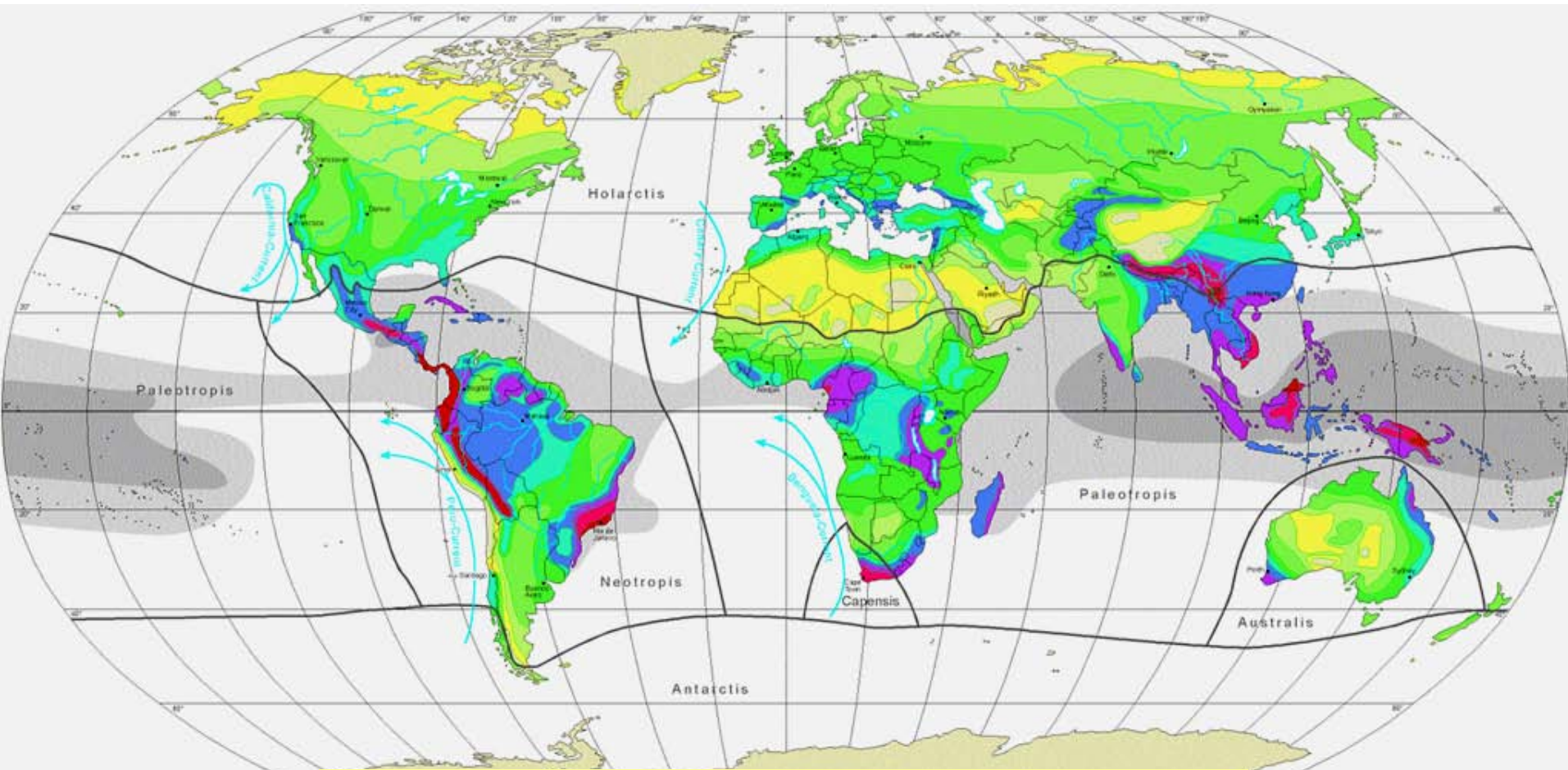
# Aufgaben der Ökologie

- Verteilung und Häufigkeit der Organismen – Erklärung, Voraussage und Kontrolle
- Ökosystem-Prozesse – Flüsse zwischen Organismen, Kompartimenten und Systemen
- 3 Arten von Fragestellungen:
  - Wie ist etwas? Beschreibung des Zustandes, Inventur  
⇒ **Muster**
  - Wie funktioniert etwas? Der mechanistisch-funktionelle Ansatz ⇒ **Prozesse**
  - Wie ist es dazu gekommen, dass es so ist?  
Der evolutionäre Ansatz ⇒ **Historie**

# Einige Kernfragen der Ökologie

- Warum gibt es so viele verschiedene Arten?
- Wie sind diese Organismen in Raum und Zeit verteilt?  
Warum gibt es „Lebensgemeinschaften“?
- Sind Ökosysteme stabil, wie belastbar sind sie?
- Welche Rückkopplungen und Interaktionen steuern Ökosysteme?
- Welche Wirkungen üben die Menschen auf ihre belebte Umwelt aus?

# Globale Verteilung der Artenzahlen – Gefäßpflanzen



W Barthlott et al. (2005) *Nova Acta Leopoldina* **92**: 61-83.

Robinson Projection  
Standard Parallels 38° N und 38° S  
Scale 1: 130000000

**Diversity Zones (DZ): Number of species per 10.000km<sup>2</sup>**



sea surface temperature



W Barthlott, N. Bedinger, G. Braun  
F. Feig, G. Kier, W. Lauer & J. Mutke 1997  
modified after  
W. Barthlott, W. Lauer & A. Pläcke 1996  
Department of Botany and Geography  
University of Bonn  
German Aerospace Research Establishment, Cologne  
Cartography: M. Gref  
Department of Geography  
University of Bonn

# Einige wichtige Forschungsfragen dazu ...

- Welche **Klimafaktoren** steuern Artenvielfalt der Pflanzen
- Warum gibt es **Unterschiede** zwischen Kontinenten
- Warum gibt es kleinräumige **Hotspots** der Vielfalt
- Gibt es Übereinstimmungen mit **anderen Organismengruppen**
- Wie verschiebt der **Klimawandel** die Artenverteilung
- Wo ist der Impact des Menschen durch **Landnutzungswandel** am stärksten
- Wie könnten **biologische Invasionen** („Neophyten“) die Artenverteilung ändern
- Wie verhält sich Artenvielfalt zu anderen Dimensionen der ‚**Biodiversität**‘ (z. B. **Funktionelle Diversität**)
- ...



### 3) *Wie* forschen wir in der Ökologie?

- Ökologie bedient sich **wissenschaftlicher Methode**
- System **formalisierter** Beobachtungen;  
so angelegt, dass man sie unter gleichen Bedingungen **wiederholen** kann
- Korrelative Erhebungen vs. manipulative Experimente
- ***Reproduzierbarkeit*** ↔ ***wesentliches Element der naturwissenschaftlichen Forschung***

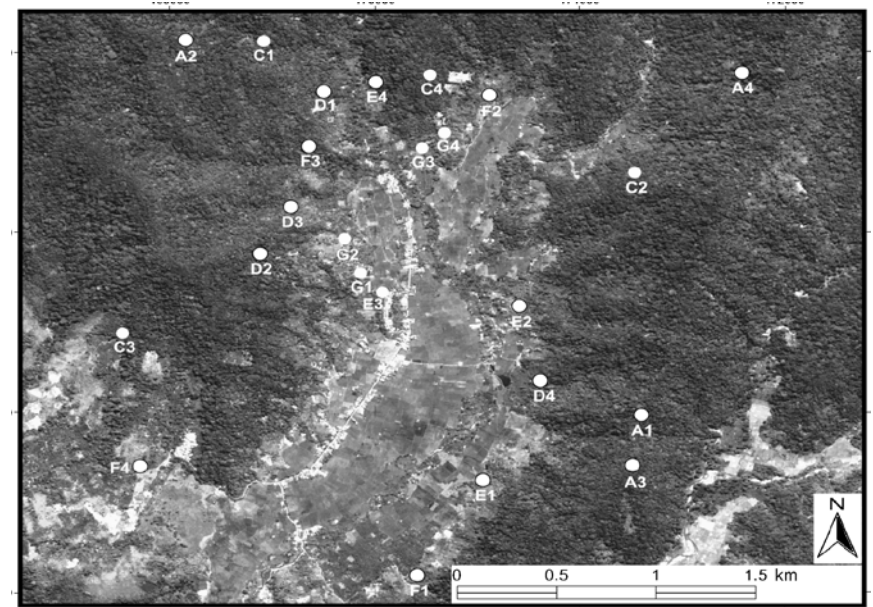
# Experiment vs. Erhebung



Jena-Experiment (D)

## Feldexperiment

- Parzellen *kontrolliert* angesät
- Artenreichtum (Pflanzen) gezielt vorgegeben – *Manipulation*
- Messung: verschiedene Prozesse & Eigenschaften

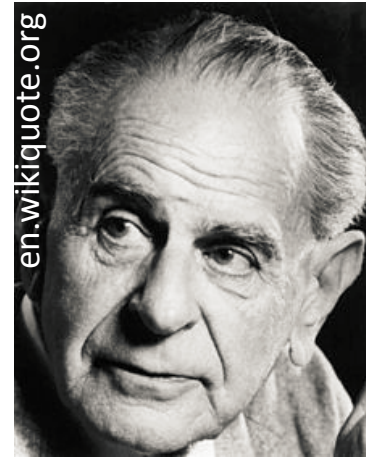


STORMA-Projekt (INDONESIEN)

## Felderhebung

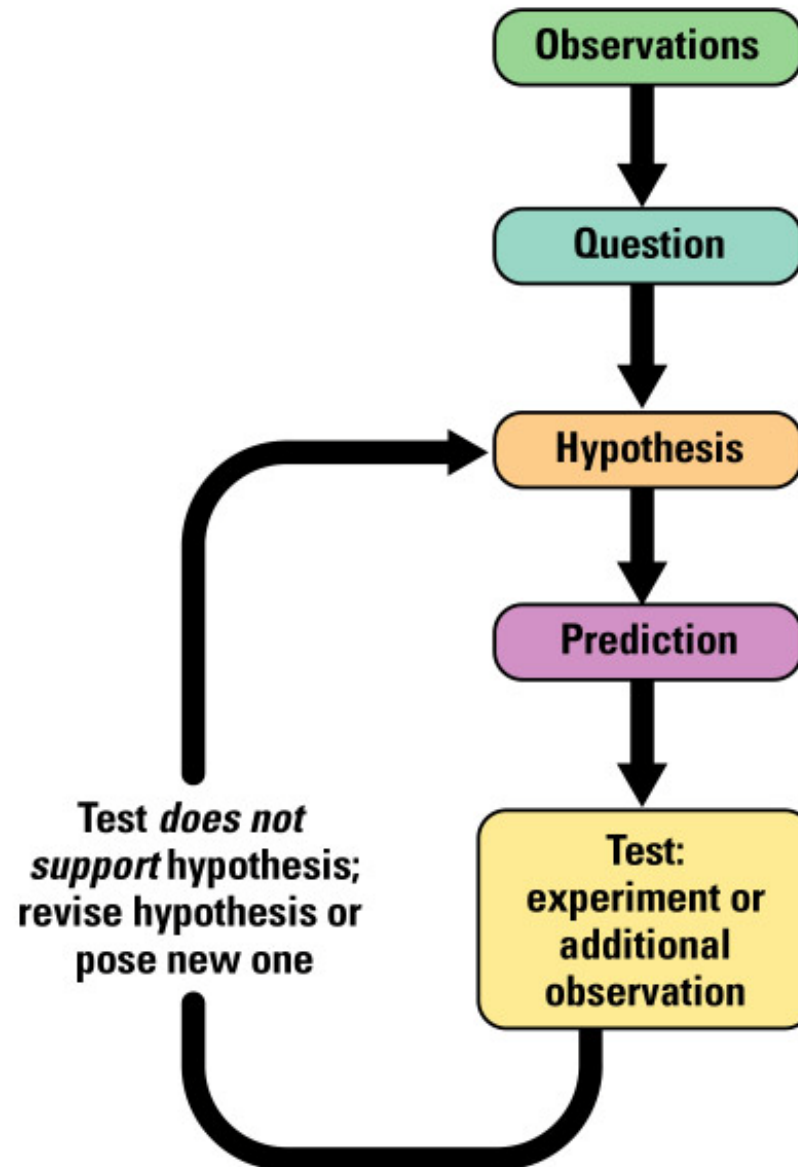
- Standorte *repräsentativ* gewählt
- Messung: verschiedene Prozesse & Eigenschaften
- Trennung: Zielvariablen – Hintergrundvariablen

# Wissenschaftliche Methode



- 1) **Beobachtungen** – **nie** „frei von Theorie“
- 2) **Fragestellung** entwickeln – Vorstellung: Prozess & Kausalität
- 3) **Hypothese** (= mögliche Antwort) → Entwickeln einer prüfbaren Vorhersage  
Beispiel: Pflanzen benötigen Nährstoffe zum Wachsen; daher wachsen Pflanzen rascher, wenn mehr Nährstoffe verfügbar sind
- 4) **Experiment** (oder **Erhebung**), um Hypothese (Vorhersage) zu testen → Planung, Durchführung, Replikation, Auswertung
- 5) **Hypothese** annehmen oder verwerfen (falsifizieren); aber nicht „verifizieren“ (→ Karl POPPER)
- 6) Basierend auf Erkenntnis → weiterführende Hypothese(n) generieren (& prüfen)

# Wissenschaftliche Methode (*cont.*)



# Beispiel

Nährstoffgehalt steuert Produktivität im Grasland

Beobachtung → Hypothese → Daten sammeln

Nährstoffarmer Halbtrockenrasen



Intensiv-Grünland



# Ökologische Experimente



**Experimente haben gemeinsam:**

**Behandelte Gruppe(n):** künstlich veränderte Bedingungen (Stickstoff-Zugabe, Zahl der Arten, etc.)

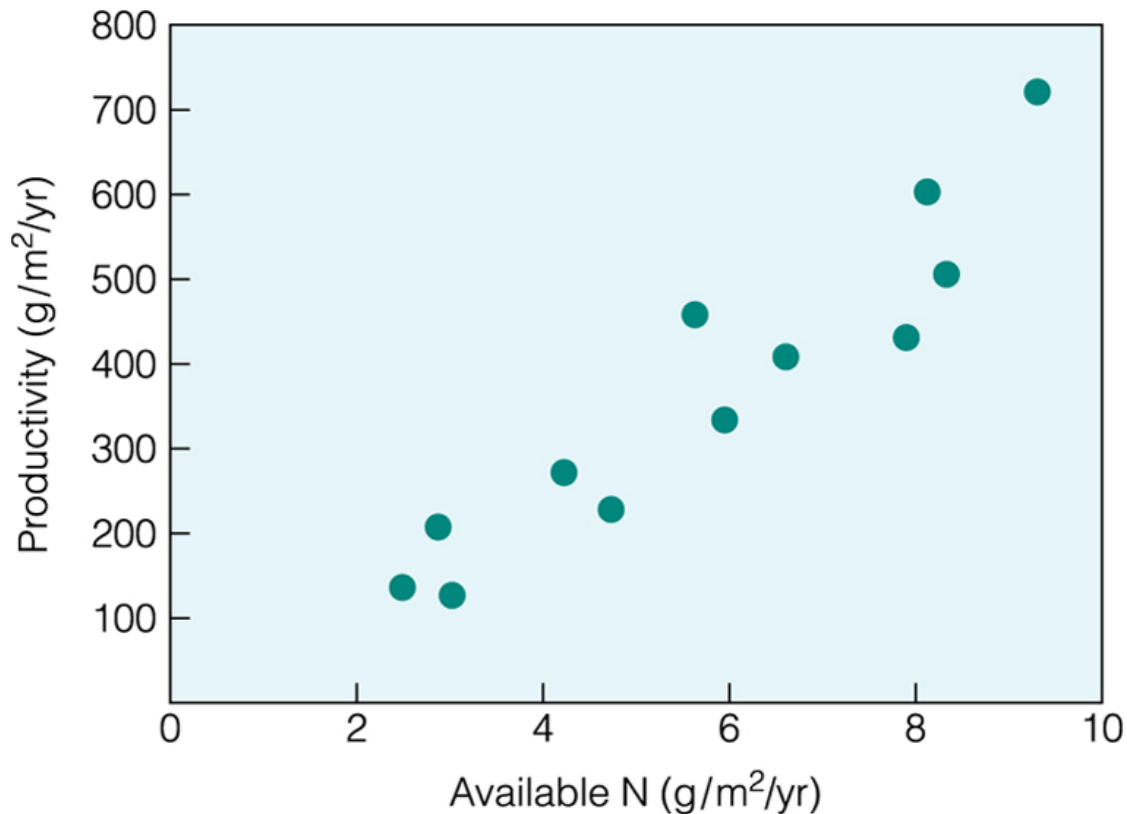
**Kontroll-Gruppe:** unveränderte Bedingungen

**Randomisierung:** zufällige Zuteilung Behandlung(en) ↔ Kontrolle

**Wiederholung:** mehrere Objekte mit identer Behandlung → **Varianz**

# Ergebnis (im Beispiel)

- Datenpaare: N-Düngung ↔ oberirdische Pflanzen-Biomasse
- Jeder Punkt – eine Messeinheit (= Replikat)
- Andere Faktoren: ausgeschaltet bzw. durch Messung kontrolliert

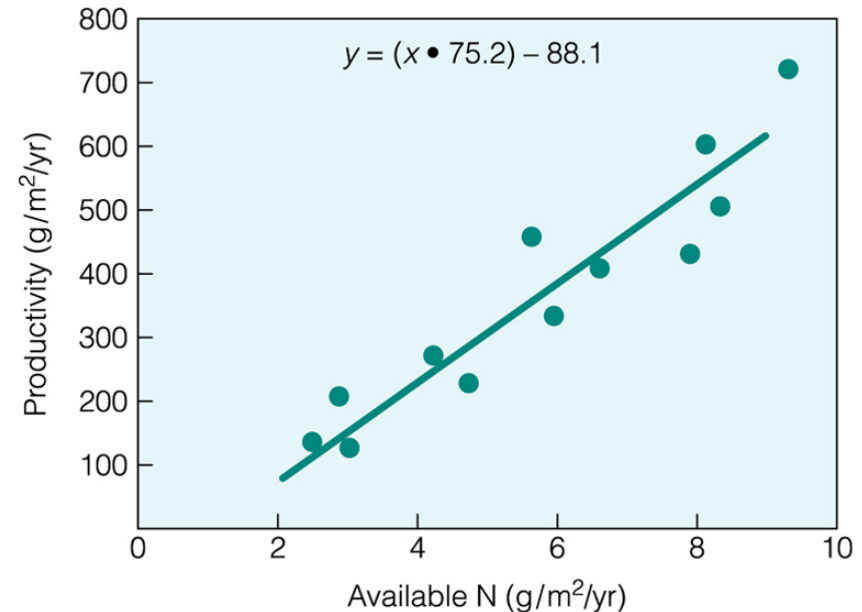


# Abschätzung und Vorhersage

## Modelle

- abstrakte, vereinfachte Darstellung wirklicher Systeme
- Konzeptionelle vs. mathematische Modelle
- Konzeptionelle Modelle: keine Quantifizierung
- Mathematische Modelle: Abschätzungen und Vorhersagen (*Prognosen*)  $\Rightarrow$  Statistik

## Im Beispiel

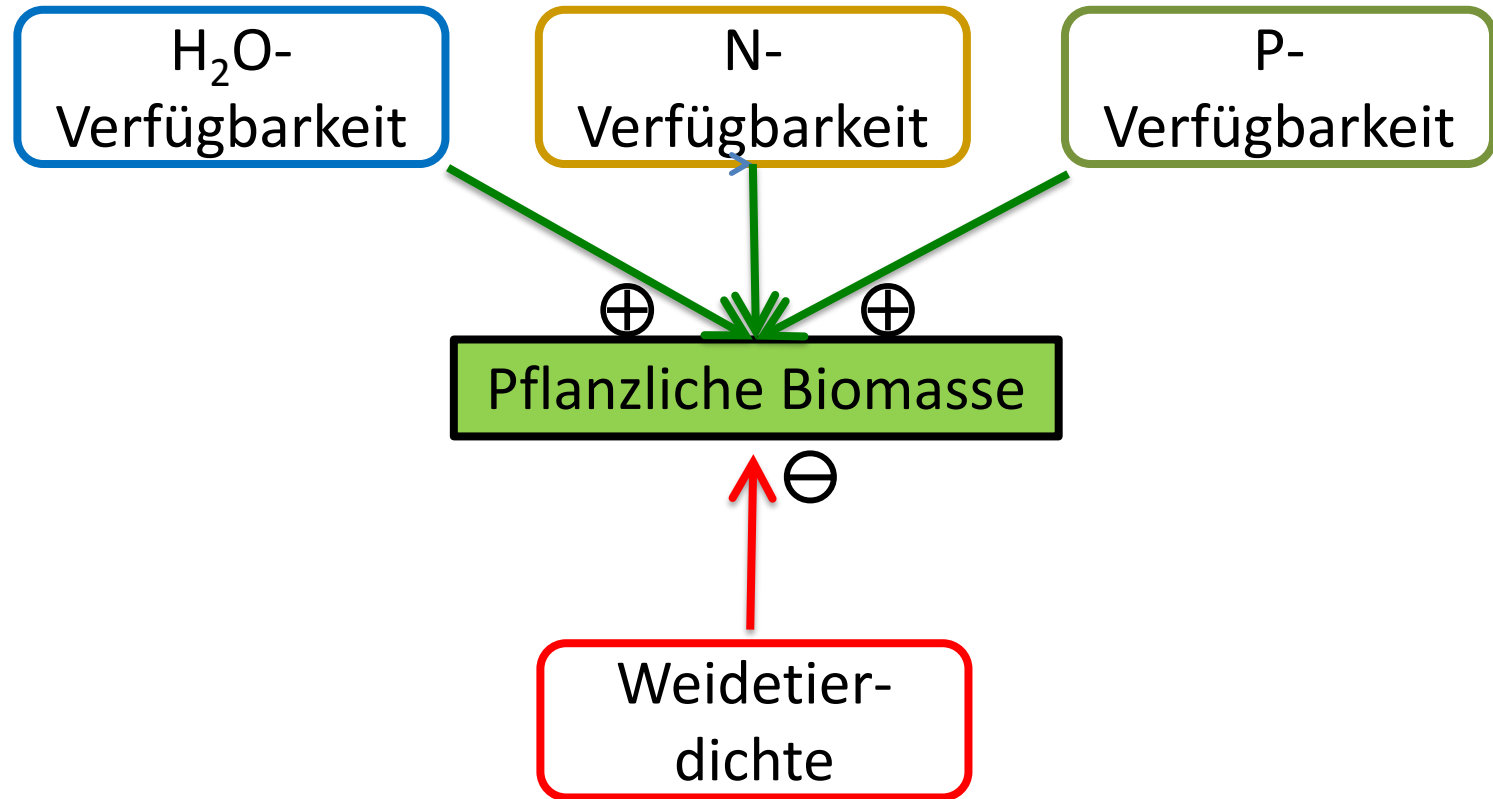


Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

- Annahme: *linearer* Zusammenhang
- Anpassung: Regressionsgerade
- Interpolation; *Extrapolation* ??

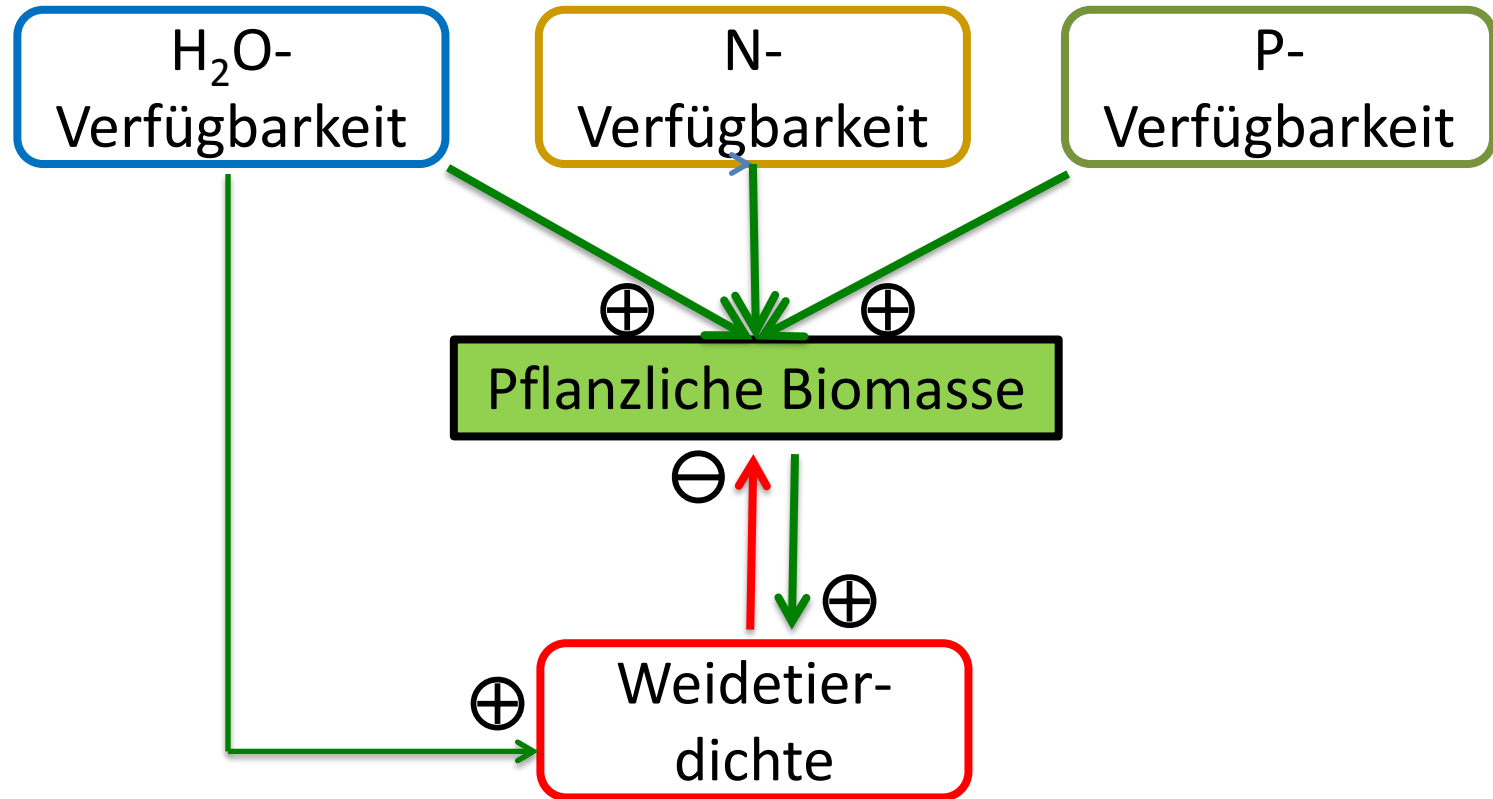


# Alternative: konzeptionelles Modell



- Mehrere Einflussgrößen – **multifaktoriell**
- **Richtung** (nicht unbedingt: Form) des Zusammenhangs
- z. B. nicht notwendig linear

# komplexeres konzeptionelles Modell



- Direkte und indirekte Pfade
- **Wechselwirkungen** zwischen Einflussgrößen

# Grenzen der Wissenschaft

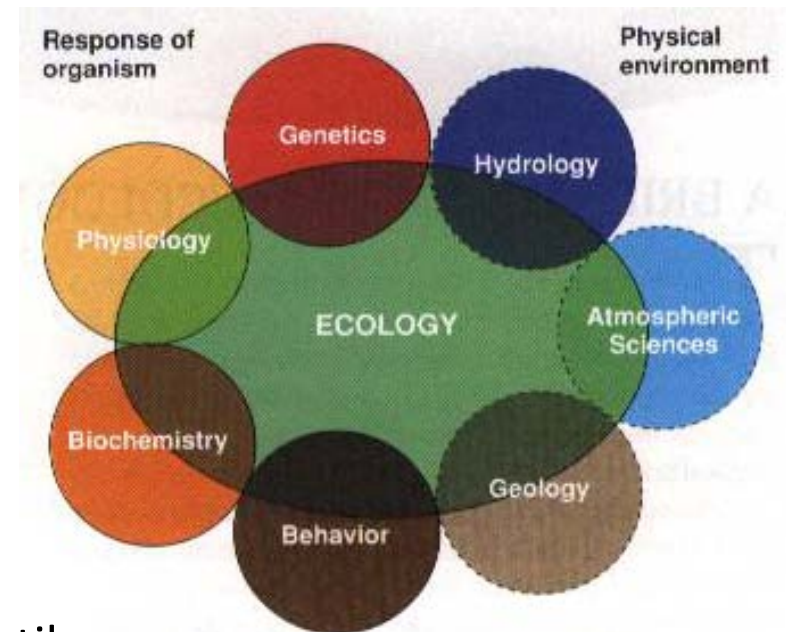
- Wissenschaft korrigiert sich selbst  $\leftrightarrow$  Widerlegung (***Falsifikation***) durch neue Erkenntnisse
- ***Nicht prüfbare*** Hypothesen – unwissenschaftlich
- Wissenschaft ist durch Fähigkeit der Wissenschaftler begrenzt, Daten zu sammeln und zu interpretieren  
→ **Durchbrüche**: neue ***Methoden***, neue ***Theorien***
- Unsicherheit ist **bleibende** Eigenschaft der Wissenschaft – ***Hypothesen***-Charakter der Erkenntnis

# Teilgebiete der Ökologie

- Ökologie ist *hierarchisch strukturiert* in Subdisziplinen
- Ökologie ist ausgeprägt *interdisziplinär*

## Beziehungen zu anderen Naturwissenschaften

- Chemie  
biogeochemische Zyklen, N-Fixierung, chemische Verteidigung...
- Physik  
Wärme, Licht, Biomechanik...
- Geowissenschaften  
Klima, Boden, Atmosphäre...
- Mathematik  
Populationsdynamik, Modellierung, Statistik...



# Ökologie: *Hierarchie* der Teil-Disziplinen

- **Individuen:** grundsätzliche Einheiten von Populationen und Gemeinschaften; z.B. Temperatur als Selektionsfaktor  
⇒ **Autökologie** (*ecophysiology*)
- **Populationen:** Gruppe von Individuen einer Art; z.B. Dichte begrenzende Faktoren (Konkurrenz; Räuber-Beute-Systeme)  
⇒ **Populationsökologie** (*population ecology*)
- **Gemeinschaften:** Summe der Populationen, die in Raum und Zeit gemeinsam vorkommen  
⇒ **Gemeinschaftsökologie** (*community ecology*)
- **Ökosysteme:** Summe der *biotischen* und *abiotischen* Komponenten, die eine funktionelle Einheit bilden  
⇒ **Synökologie** (*ecosystem ecology, system ecology*)

# Hierarchische Organisation und abgeleitete Eigenschaften

- Abgeleitete Eigenschaften:
  - Eigenschaften, die nur erklärt werden können durch Betrachtung auf einem speziellen hierarchischen Niveau
    - Beispiel: Wachstum eines Individuums ↔ Wachstum vieler Individuen (in einer Population)?
- Skalenabhängigkeit in der Ökologie  
räumliche Skala ↔ Integrationsebene

**“Die Gesamtheit ist ungleich der Summe der Einzelheiten”**

# Beispiel: Tiefland-Tropenwald in SW Costa Rica



- Pflanzen ***konkurrieren*** – Licht, Nährstoffe
- intra- vs. interspezifisch
- Interaktionen: Herbivorie, Pollination, Streuabbau
- Forschungsfragen – auf allen Systemebenen



# Ökologie der *Individuen*

- **Individuen** = Organismen: basale Einheiten in Ökologie  
Individuen antworten auf Umwelt(änderungen)  
entscheidend: Reproduktionserfolg ↔ ***Fitness***
- **Autökologie** (physiologische Ö.): wie wirken abiotische Faktoren (Temp., Feuchtigkeit, Licht etc.) auf Überleben und Fortpflanzung der Individuen
- **Verhaltensökologie**: wie beeinflusst Verhalten der Individuen Überleben und Fortpflanzung ↔ ***Fitness***
- **Evolutionäre Ökologie**: anhaltende Umgebungseinflüsse → natürliche Selektion → Evolution (= Verschiebung der Genotypenfrequenzen in ***Populationen***)



# Organismische Ökologie

- Untersucht, wie Struktur, Physiologie und Verhalten (bei Tieren) eines Organismus den Anforderungen der Umwelt entsprechen → ***Fitness***, „Anpassung“ ↔ **Evolutionbiologie**

Wie wählen Buckelwale ihre  
Geburtsplätze?



Was entscheidet über Hornausprägung  
bei Dungkäfern?



# Ökologie der *Gruppen* von Individuen

- **Populationsökologie:** *Dynamik* von Gruppen von Individuen derselben Art (Wachstum der Population in Abhängigkeit von Nahrungsverfügbarkeit, Konkurrenz, Beweidung bzw. Prädation)
- **Ökologie von Gemeinschaften:** *Wechselwirkungen* von Populationen verschiedener Arten (Struktur u. Dynamik von Gemeinschaften)
- Anwendungen z. B.: **Naturschutzökologie** (*conservation ecology*), Restaurierungsökologie (*restoration ecology*)

# Populationsökologie

- Welche Faktoren bestimmen die Überlebens- und Reproduktionsrate einer Art in einem Gebiet  
→ **Dichte-Regulation**

Wurfgröße bei Mäusen?



Dichte der Kastanienmotte?



# Ökologie von Gemeinschaften

- Welche biotischen Interaktionen und abiotischen Faktoren steuern die Arten-Zusammensetzung → **Biodiversität**

Artengarnitur eines Tropenwaldes?



Artengarnitur eines Trockenrasens?



# Ökologie der Ökosysteme

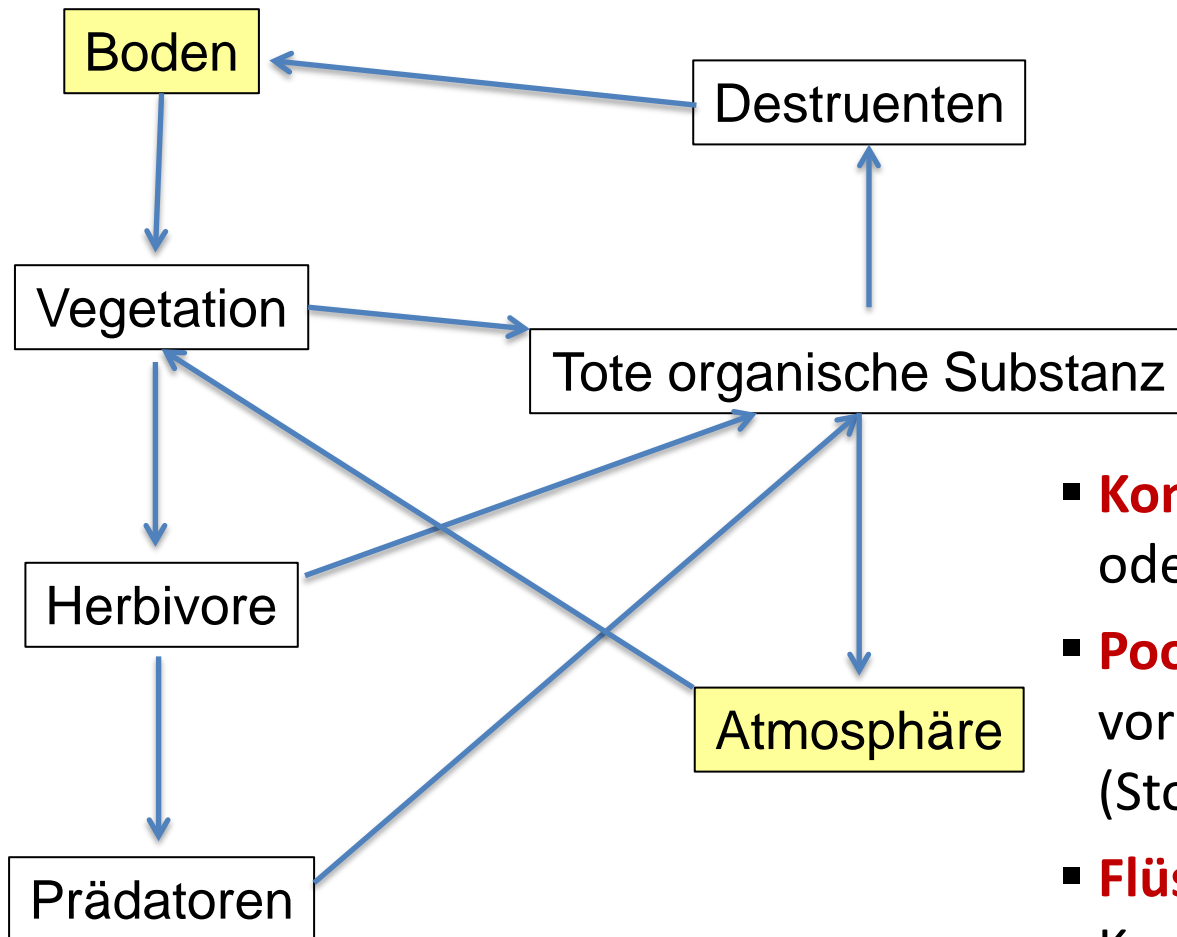
- Bestehen aus zwei interagierenden Komponenten:
  - Lebende (*biotische*) Komponenten
  - Physikalische und chemische (*abiotische*) Komponenten

## Beispiel: Wald als Ökosystem

- *Biotisch*: Pflanzen, Tiere, Pilze, Mikroben – die den Wald bewohnen und (ggf.) miteinander interagieren
- *Abiotisch*: Atmosphäre, (Meso- & Mikro-)Klima, Boden, Wasser, mineralische Nährstoffe
- *Interaktion*: Baumwachstum verändert physikalische Umwelt ⇒ Licht, Bestandesklima; Prädation durch Vögel reduziert Insekten ⇒ Abundanz & Artenzusammensetzung; Wuchsleistung der Bäume

Rückkopplungen!

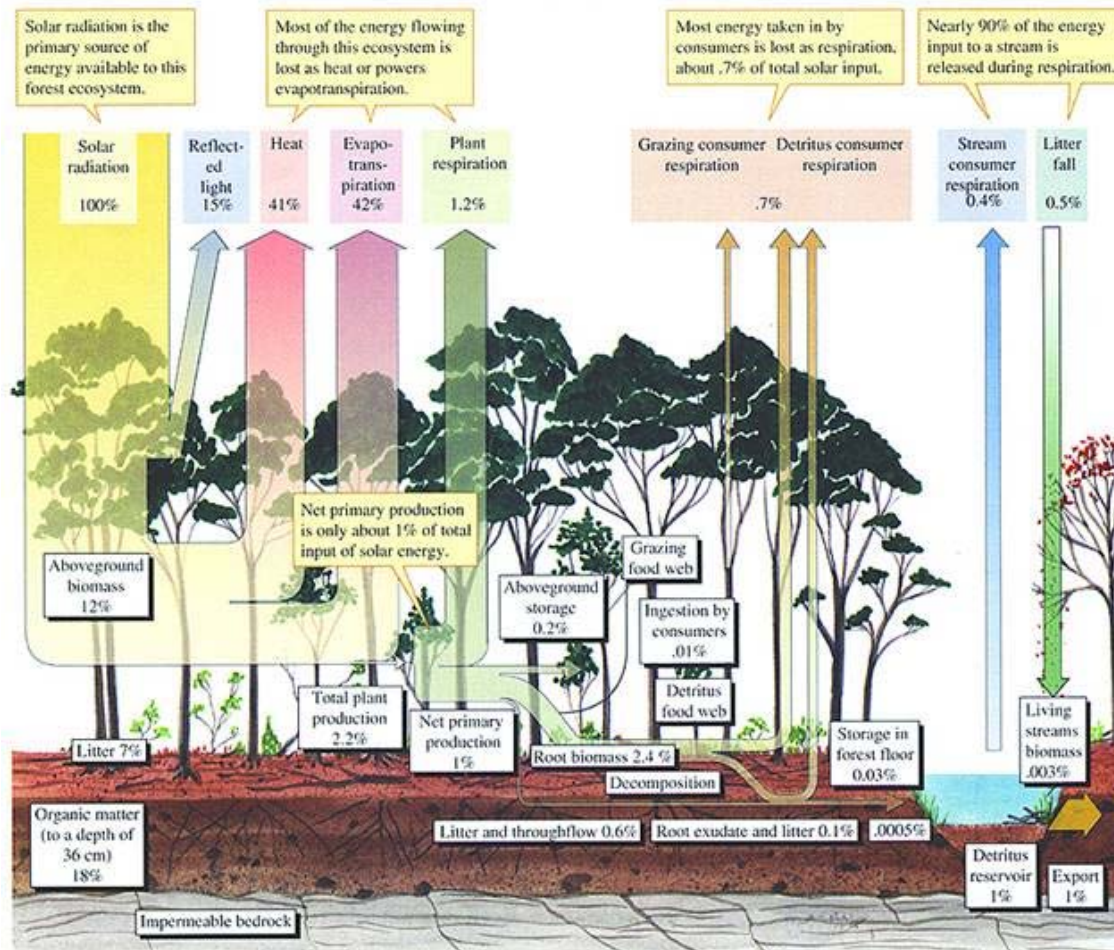
# Ökosysteme = *offene* Systeme



Beispiel: N in terrestrischem System,  
(stark vereinfacht)

- **Kompartimente** – physische oder biotische Einheiten
- **Pools** – in Kompartimenten vorhandene Mengen (Stoff, Energie)
- **Flüsse** – Transfer zwischen Kompartimenten, durch Aktivität von Organismen

# Wald als Ökosystem – wichtige Pools und Flüsse



- Rolle der Organismen-Arten oft nicht explizit betrachtet
- Funktionelle Gruppen; Ökosystem-Dienstleistungen; ...

# Systemökologie

- Fokus auf *Energieflüsse* und *chemische Kreisläufe* zwischen verschiedenen biotischen und abiotischen Komponenten

Welche Faktoren steuern die Kohlenstoffbilanz eines beweideten Grasland-Ökosystems?





# Landschaftsökologie

- Untersucht Verteilung verschiedener Ökosysteme in einer konkreten geographischen Region
- *räumliche Struktur* als bestimmender Faktor in Bezug auf Populationen bzw. Arten-Gemeinschaften

Nützen Waldtiere die Baumgalerien entlang der Fließgewässer als Ausbreitungskorridore?



# Ökologie der *Biosphäre*

- das *globale Ökosystem*  
= Gesamtheit aller Ökosysteme der Erde
- Bereich der Erde, der Leben ermöglicht
- von der unteren Atmosphäre bis  
Tiefseeboden des Ozeans
  
- Komplement zur Biosphäre:
  - **Lithosphäre**
  - **obere Atmosphäre**



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

