

ÖKOSYSTEME UND DEREN ANTHROPOGENE BELASTUNG

die pädagogische
hochschule
oberösterreich

Einführung

Dr. Peter Kurz & Mag.^a Katharina Zmelik

SeBBU08201

SS 2025

Inhalte der LV

Ausgehend von einer **Herleitung des Ökosystembegriffs** werden beispielhaft verschiedene **anthropogene Einflüsse auf terrestrische und aquatische Habitate** diskutiert. Anhand ausgewählter Beispiele werden anthropogene Einflüsse und Umweltbeeinträchtigungen in deren aktuellen und historischen Dimensionen erörtert.

Im Übungsteil werden einfache **Untersuchungsmethoden** zur Erhebung ökosystemarer Parameter und deren Interpretation bezüglich abiotischer, biotischer und anthropogener Einflussfaktoren für terrestrische und aquatische Ökosysteme vorgestellt. Im Rahmen einer **Freilandeinheit** werden Untersuchungen praktisch durchgeführt (Bodenproben und Bodenanalysen, Bodenfauna, Flora & Fauna von Stadtökosystemen).

Ziele der LV

Die Absolventinnen und Absolventen des Moduls

- verfügen über grundlegende Kenntnisse zur Dynamik und Struktur terrestrischer und aquatischer Ökosysteme mit deren Stoffflüssen
- verfügen über grundlegendes Wissen zur anthropogenen Belastung und der Verbreitung von Schadstoffen in der Umwelt
- können typische heimische Lebensräume mit deren komplexen biotischen Interaktionen beschreiben, die Beziehungen zwischen Biosphäre und Hydrosphäre/Pedosphäre inbegriffen
- sind für nachhaltiges Denken und Handeln sensibilisiert
- besitzen ein detailliertes Wissen über aktuelle ökologische Probleme und können diese samt Lösungsansätzen für verschiedene Handlungsfelder nachhaltiger Entwicklung darstellen
- sind befähigt zur Durchführung von Experimenten, die für den Schulunterricht geeignet sind

Termine und Themen

- 03.03.25 Einführung: Geschichte der Ökologie; Begriffsklärungen Ökologie, Methoden
- 10.03.25 Organismus und Umwelt: abiotische und biotische Faktoren, Biosphäre, Biodiversität...
- 17.03.25 Organismus und Umwelt: Ressourcen, Nahrungsketten und Nahrungsnetze, ...
- 24.03.25 Stoffkreisläufe, Biomasse und Produktivität (NPP; Stickstoffkreislauf, Phosphorkreislauf, Kohlenstoffkreislauf); Agrarökosysteme I
- 31.03.25 Agrarökosysteme II; Störungs- und Renaturierungsökologie
- 07.04.25 Wald- und Forstökosysteme; Stabilität und Resilienz
- 28.04.25 Wasser und aquatische Ökosysteme
- 05.05.25 Populationsökologie (Lebenszyklen, Populationsgröße, -verteilung, -wachstum; Konkurrenz und Konkurrenzausschlussprinzip)
- 12.05.25 Marine Ökosysteme/Biodiversität I Synökologie,
- 19.05.25 Übungsblock: Analyse von Studien und Papers
- 26.05.25 Biodiversität II & alpine Ökosysteme
- 02.06.25 Siedlungsökosysteme, Inseltheorie
- 16.06.25 Lehrausgang Siedlungsökologie: Bodenansprache, Klimamessung, Vegetationsaufnahme, Insekten
- 23.06.25 Ökologische Landwirtschaft & Probeprüfung

Organisatorisches

- Aufteilung der Veranstaltung VO Teil & U Teil: Vortrag, Übungen und Lehrausgang
- Unterlagen werden auf moodle bereitgestellt

Klausur:

- Bestehensgrenze 60%!
- Klausurtermine: 3

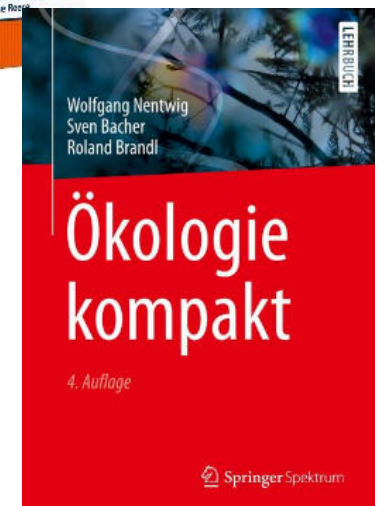
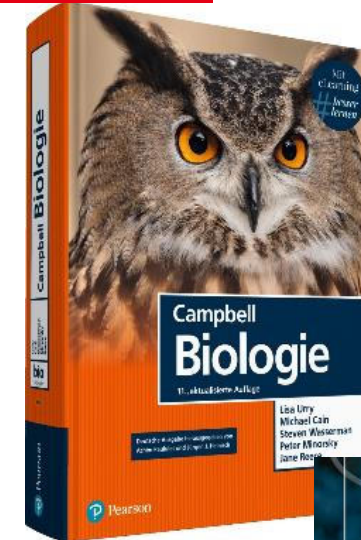
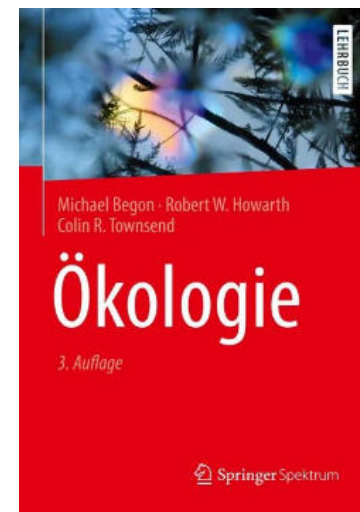
Punkteaufteilung und Bestehenskriterien:

- Es können maximal 60 Punkte erreicht werden
- Die Bestehensgrenze liegt bei 60% d.h. es müssen mindestens 36 Punkte insgesamt erreicht werden um zu bestehen

1	2	3	4	5
60 bis 54 Punkte	53,5 bis 48 Punkte	47,5 bis 42 Punkte	41,5 bis 36 Punkte	Unter 36

Literaturempfehlungen

- Begon, M., Howarth, R. W., Townsend, C. R. (2017). **Ökologie**. 3. Auflage. Berlin: Springer Verlag (66€)
- Urry, L. A., Cain, M. L., J. B., Wasserman, Minorsky, P. V., Reece, S. A. (2020). **Campbell Biologie**. 11. Auflage. Pearson Studium (100€)
- Nentwig, W., Bacher, S., Brandl, R., (2017). **Ökologie Kompakt**. 4. Auflage. Berlin: Springer Verlag (40€)



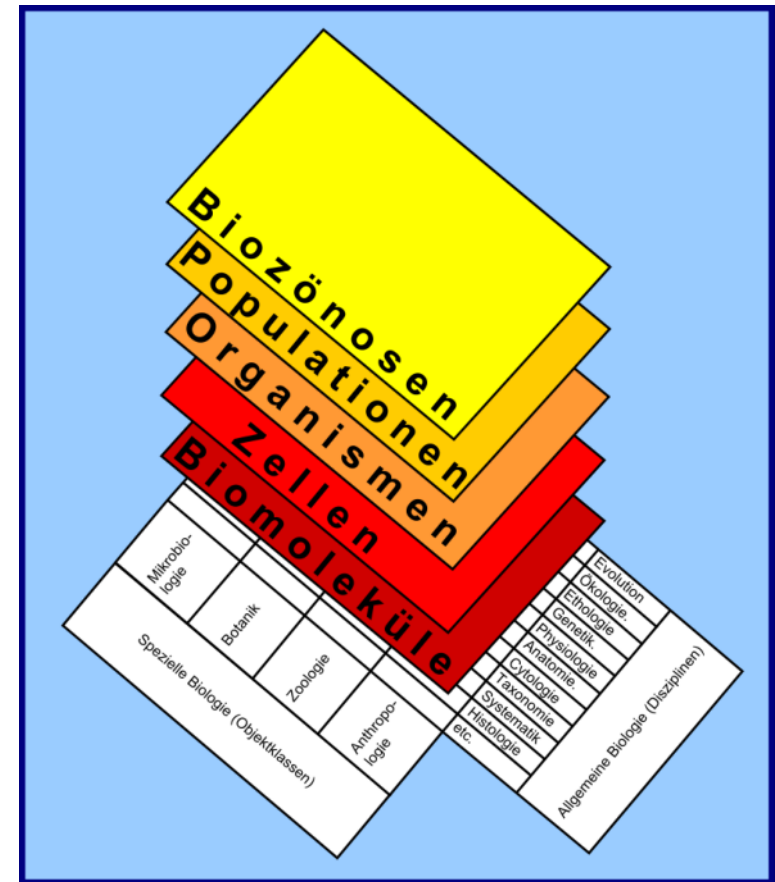
Inhalte

- **Systembegriff und Ökosystemkonzept;** offene und geschlossene Systeme, gestörte und ungestörte Systeme, Verhalten belasteter Ökosysteme, Stabilität und Resilienz
- **Umweltfaktoren, Umweltbedingungen und Ressourcen;** Toleranzbereiche und Konzept der ökologischen Nische
- **Stoffkreisläufe, Stoffbilanzen und Energieflüsse in Ökosystemen** (Wasser-, Sauerstoff-, Kohlenstoff-, Stickstoff-, Mineralstoffkreislauf); Stoffumsätze und Störungen von Kreisläufen
- **Vorstellung wichtiger Ökosystemtypen,** anthropogene Einflussnahmen
- **Biodiversität und organismische Beziehungen in Ökosystemen** (Nahrungsbeziehungen, Gesetze der Vermehrung, Inseltheorie), Anreicherungen von Schadstoffen
- **Alternative Nutzung und Schutz von Ökosystemen** (Biologischer Landbau, Nachhaltigkeit, Resilienz und adaptives Management, Naturschutzrichtlinien und -ziele)

Ökologie

Die Ökologie (altgriechisch οἶκος ‚Haus‘, ‚Haushalt‘ und λόγος ‚Lehre‘; also „Lehre vom Haushalt“) ist gemäß ihrer ursprünglichen Definition eine wissenschaftliche Teildisziplin der Biologie, welche die **Beziehungen von Lebewesen** (Organismen) **untereinander und zu ihrer unbelebten Umwelt** erforscht.

- Innerhalb der Biologie deckt die Ökologie als Disziplin sowohl alle Bereiche der speziellen Biologie, als auch alle Ebenen der Organisation ab.
- Für einige Wissenschaftler*innen gilt die Ökologie daher als komplexeste und umfassendste Form der Biologie



Ökologie

Die erste, mehr oder weniger anerkannte Definition für Ökologie stammt von Ernst Haeckel, 1866 und macht ihn zu einem der Gründerväter der Disziplin.

Haeckels Definition von Ökologie lautete:

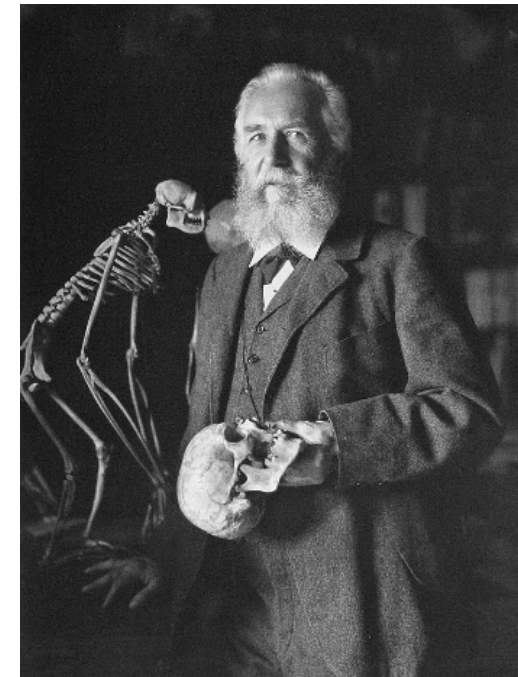
- *„Die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt“*

Verschiedene Autoren definierten basierend auf Haeckel variierend:

- E.G. Transley, 1904: *„Jene Beziehung von Pflanzen mit ihrer Umgebung und untereinander, die direkt auf Lebensraumunterschieden zwischen den Pflanzen beruht.“*
- C. Elton, 1927: *„Die Wissenschaft die sich hauptsächlich damit befasst, was man als Soziologie und Ökonomie der Tiere bezeichnen könnte und weniger mit ihren strukturellen und sonstigen Anpassungen.“*

Definition Ökologie aus Begon et. al 2017:

- *„Die wissenschaftliche Untersuchung der Verbreitung und Abundanz von Organismen, der Wechselbeziehungen, welche dieser Verbreitung und Abundanz zugrunde liegen, sowie der Wechselbeziehung zwischen Organismen und der Umwandlung und dem Fluss von Energie und Stoffen.“*



Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834 - 1919)

Betrachtungsebenen der Ökologie

Unabhängig von der zuvor erwähnten, allgemeinen Definition von Ökologie, den verschiedenen Ebenen und Disziplinen, lässt sich eine weitere Einteilung vornehmen, darauf beruhend, ob der Fokus auf Organismen, Populationen und/oder Umwelt gelegt wird:

- **Autökologie** (*autecology*): beschäftigt sich mit dem Einzelorganismus oder einer einzelnen Art in Bezug auf seine Wechselwirkungen mit der abiotischen und biotischen Umwelt
- **Populationsökologie** (*population ecology*): beschäftigt sich mit Trends und Entwicklungen der Individuenzahl in Populationen (Entstehung, räuml. & zeitl. Dynamik,...)
- **Biozönologie (Biozönose(n)forschung)**: beschäftigt sich mit Struktur und den Wechselwirkungen innerhalb der Lebensgemeinschaften (Biozönose)
- **Ökosystemforschung**: versucht herauszufinden wie ganze Gewässer, Wälder, Wiesen, Wüsten oder generell zusammenhängende Gebiete der Erde funktionieren → Untersuchungen der Eigenschaften von Ökosystemen und deren Komponenten (Artenvielfalt, Stoffkreisläufe, Landschaftselemente usw.).

Synökologie (*community ecology*)

Ökosysteme

Erste Verwendung des Begriffs findet sich bei dem Botaniker Tansley:

*„Unsere natürlichen menschlichen Vorurteile zwingen uns, die **Organismen** (im Sinne des Biologen) als die wichtigsten Teile dieses Systems anzusehen; aber sicherlich sind die **unbelebten Faktoren** ebenfalls Teile – ohne sie könnte es keine Systeme geben... Diese Ökosysteme, wie wir sie nennen können, sind von **verschiedensten Arten und Größen**. Sie bilden eine Kategorie der vielfältigen physikalischen Systeme des Universums, die vom Universum als Ganzem bis hinunter zum Atom reichen“*

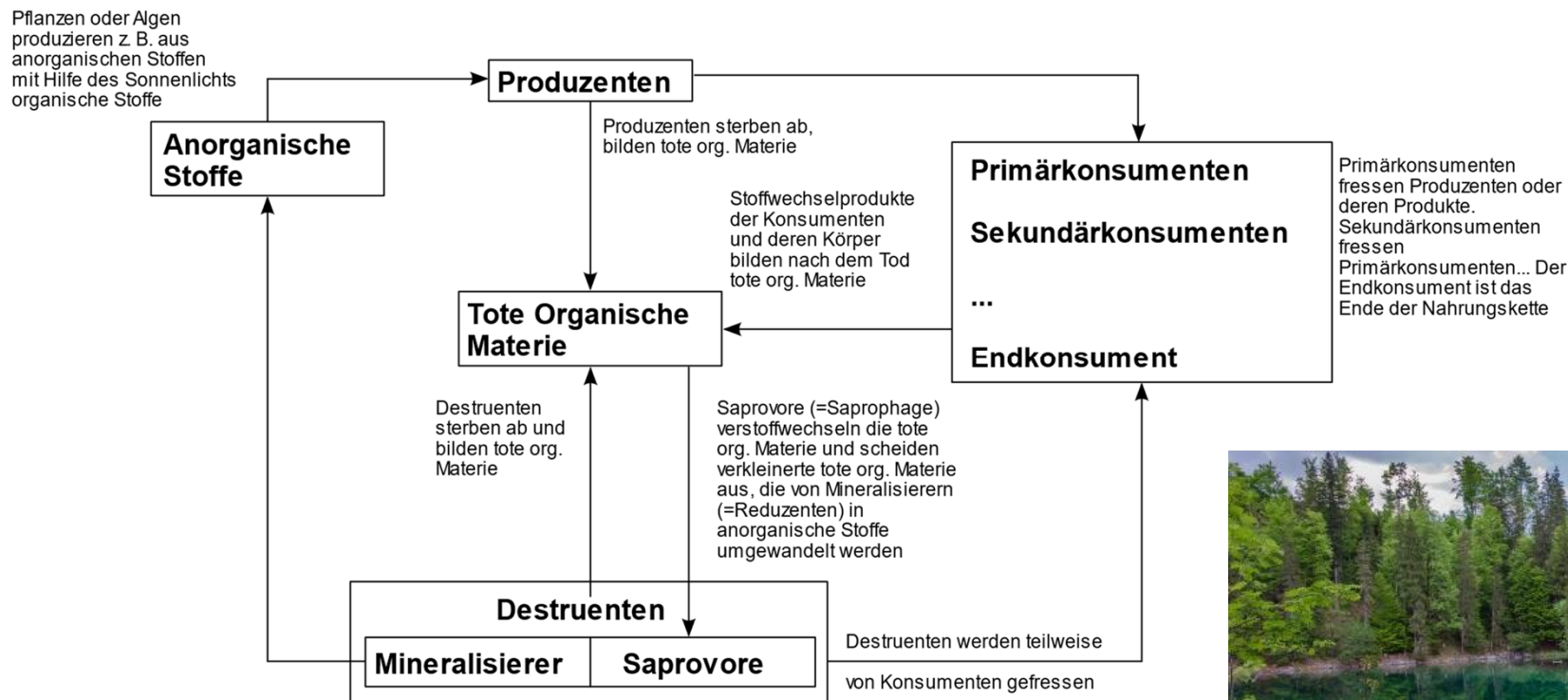
Tansley (1935), zit. nach Trepl 1994

*„Ein Ökosystem ist ein von **Lebewesen** und deren **anorganischer Umwelt** gebildetes **Wirkungsgefüge**, das sich weitgehend selbst reguliert. Das Ökosystem ist mithin auch als das systemhafte Zusammenspiel (Wechselwirkungsgefüge) zwischen **Biozönose** (Lebensgemeinschaft) und **Biotop** (Lebensraum) zu verstehen.“*

Ellenberg (1973)

Geschichte und Entwicklung des Ökosystem-Konzeptes

Der Limnologe LINDEMANN (1942) übernahm Tansleys Ökosystemkonzept (1935) und übertrug es auf seine trophisch-dynamische Betrachtung von Stoff- und Energieflüssen in Stillgewässern.



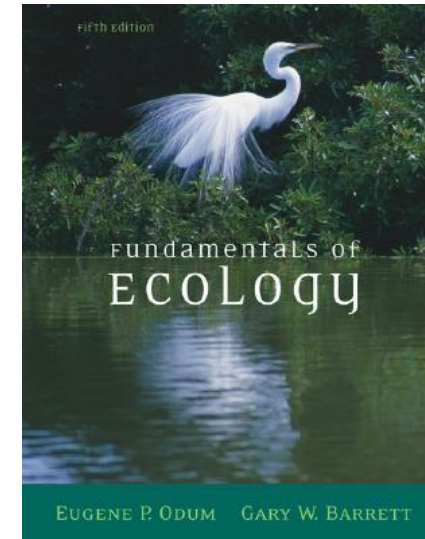
Aufgrund der relativen Abgeschlossenheit der Gewässerökosysteme konnten trophische Beziehungsgefüge untersucht und auch erste quantitative Energiebilanzen vorgelegt werden.



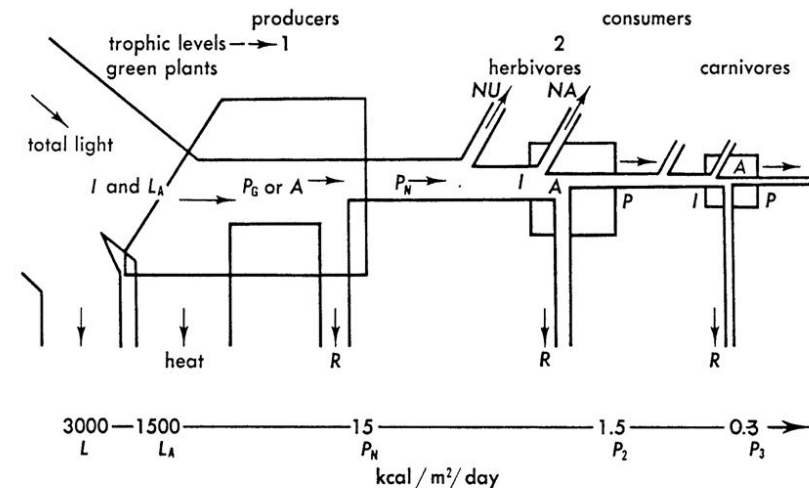
Geschichte und Entwicklung des Ökosystem-Konzeptes

Eugene P. Odum: *Fundamentals of Ecology*
(1956)

- Vorstellung einer umfassenden „**Ökosystemtheorie**“, die in weiterer Folge die Basis für den Wissenschaftszweig der „Ökosystemforschung“ (bzw. „New Ecology“) bereitstellt.
- Begründung der Ökologie auf **physikalischer Basis**: Energie als allgemeingültiger Nenner zwischen lebenden und abiotischen Komponenten des Systems
- Mit einem Minimum von Begriffen soll die Vielfalt ökologischen Geschehens erklärt werden



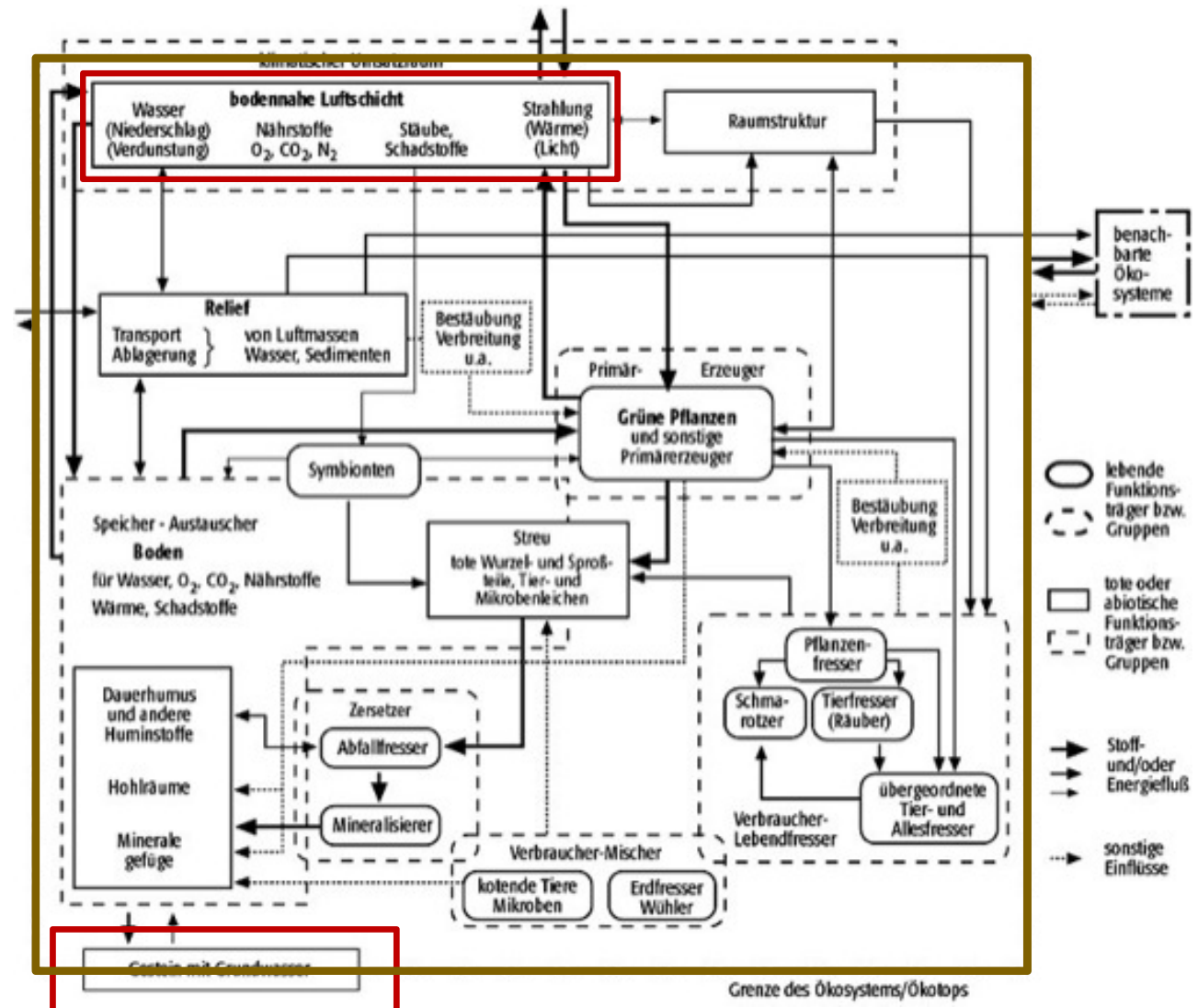
UNIVERSAL FLOW MODEL



Source: Odum, E.P. (1971)

Geschichte und Entwicklung des Ökosystem-Konzeptes

- Systemtheoretische Konzeption:
Strukturen und Funktionen des Systems oder seiner Komponenten werden mit Methoden der Systemanalyse erfasst: System muss mindestens zwei Elemente enthalten, zwischen denen Zusammenhänge im Sinne einer Kopplung bestehen (z.B. Räuber-Beute).
- Inhaltliche Voraussetzung/Annahme:
Fähigkeit des Systems zu Selbstorganisation und Selbstregulation.



Merkmale von Ökosystemen

- Ökosysteme: Beziehungsgefüge von Lebewesen untereinander (Biozönose) und mit einem Lebensraum (Biotop) bestimmter Größenordnung

→ Unterschiedlichste Größenausdehnung



© wildlife-media.at



© flickr/edgeplot (CC BY-NC-SA 2.0)



© flickr/edgeplot (CC BY-NC-SA 2.0)



© <http://www.smnk.de/>



© Obakeneko
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:View_from_Ulagansky_Pass.jpg?uselang=de



© https://www.delphinschutz.org/news-fischerei/fischereiverbot-tiefsee/attachment/may5-hires_web/

Merkmale von Ökosystemen

sind **offene** Systeme, **veränderlich (dynamisch)** & räumlich zumeist **nicht exakt begrenzt**



<https://www.almen-datenbank.de/de/flora/waldschlaege-und-schlagfluren~v2100>



Energie- und Stofftransfer (v.a. Kohlenstoff)



© <https://www.wald-und-holz.nrw.de/>



© Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (2016). Waldränder

Merkmale von Ökosystemen

- Ökosysteme sind untereinander **vernetzt** & erfüllen zumeist **wichtige Funktionen** für andere Regionen und deren Organismen

z.B. Auwälder: hohe Produktivität (Biomasse), Speicherung von Wasser & Nährstoffen, Rückzugsgebiet/Rastplatz für einzelne Arten, etc.



Formale (statische) Merkmale von Ökosystemen

z.B.

- Größe
- Art der abiotischen Lebensbedingungen (anorganische und organische Substanzen, Klima)
- Artenzusammensetzung (Artenspektrum) auf den Stufen der Produzenten, der Konsumenten und Destruenten
- räumliche Verteilung dieser Komponenten



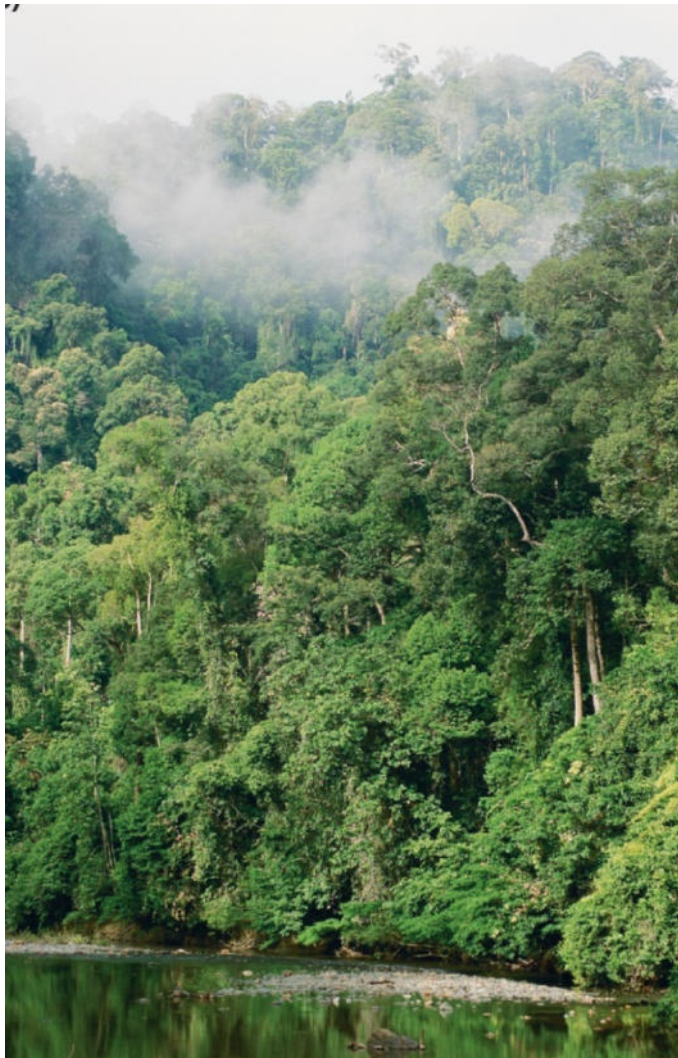
© <https://www.ubz-stmk.at/themen/natur-lebensraeume/wiese/>

Funktionelle Merkmale von Ökosystemen

z.B.

- zeitliche Veränderungen in den Komponenten und ihrer Verteilung
- trophische Beziehungen (Nahrungsbeziehungen, Nahrungsnetz,...)
- energetische Beziehungen (Energiefluss, Energieflussdiagramm, Energiepyramide,...)
- biogeochemische Zyklen (Stoffkreisläufe)
- Entwicklungsprozesse (Sukzession)
- genetische Prozesse (Evolution)
- Regelprozesse (Regelung, Selbstregulation)

- In fast jedem Ökosystem spielen die **Pflanzen** eine zentrale Rolle.
- Die Pflanzendecke eines Ökosystems ist ein Indikator für dessen Bioproduktivität



© Smith & Smith, Ökologie, 2009

Tropischer Regenwald in Malaysia



Alpine Rasen – Goldberg-Gruppe (Hohe Tauern)

„Ökosysteme“ und anthropogene Belastungen – klassische Studien

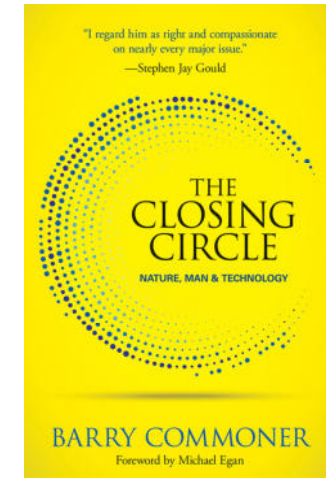
Rachel Carson (1963): Silent spring

Über Anreicherung, Verteilung und Wirkungen von Pestiziden (DDT) in Ökosystemen



Barry Commoner (1971): The Closing Circle

Über die Auswirkungen artifizieller Stickstoffdünger auf Gewässer-Ökosysteme



UNESCO-Programm „Man and the Biosphere“ (seit 1971)

Forschungsprogramm, das darauf abzielt, eine wissenschaftliche Grundlage für die Verbesserung der Beziehungen zwischen Menschen und ihrer Umwelt zu schaffen.



Paradigmata der Ökosystemforschung

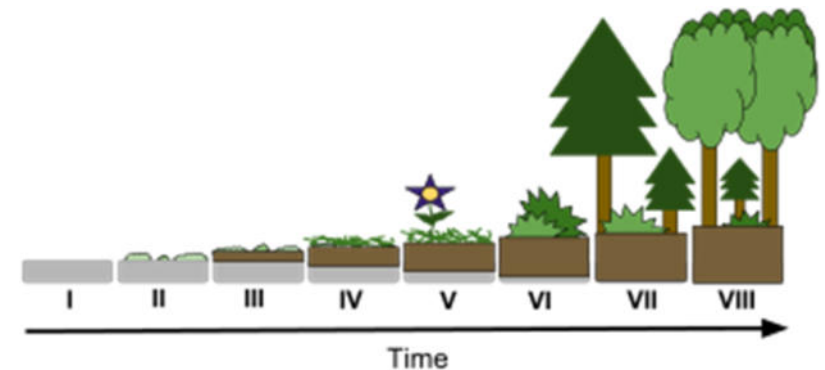
- **Stabilitäts-Diversitäts-Paradigma**

Lange Zeit wurde Ökosystemforschung von der Annahme getragen, wonach Ökosysteme umso stabiler wären, je vielfältiger deren Ausstattung ist.

- **Dynamik von Ökosystemen: Ökologische Sukzession**

Seit den 1960er Jahren hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass Stabilität ein in der Realität nicht vorzufindender Zustand ist und Ökosysteme sich in permanenter Veränderung befinden. Dadurch hat sich die Aufmerksamkeit auf

Veränderungsdynamiken verlagert. Es wurde davon ausgegangen, dass Ökosysteme eine Sukzession (=Entwicklungsabfolge) hin zu einem (potentiellen) Endzustand (=Klimax) durchlaufen. Dabei kommt es zur Ansammlung von organischen und anorganischen Substanzen, zu einer Erhöhung der Diversität und zunehmender Stabilität.



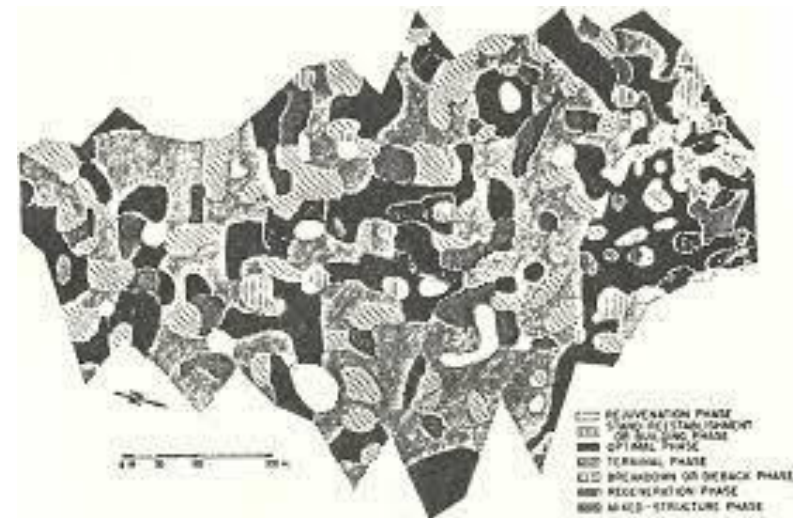
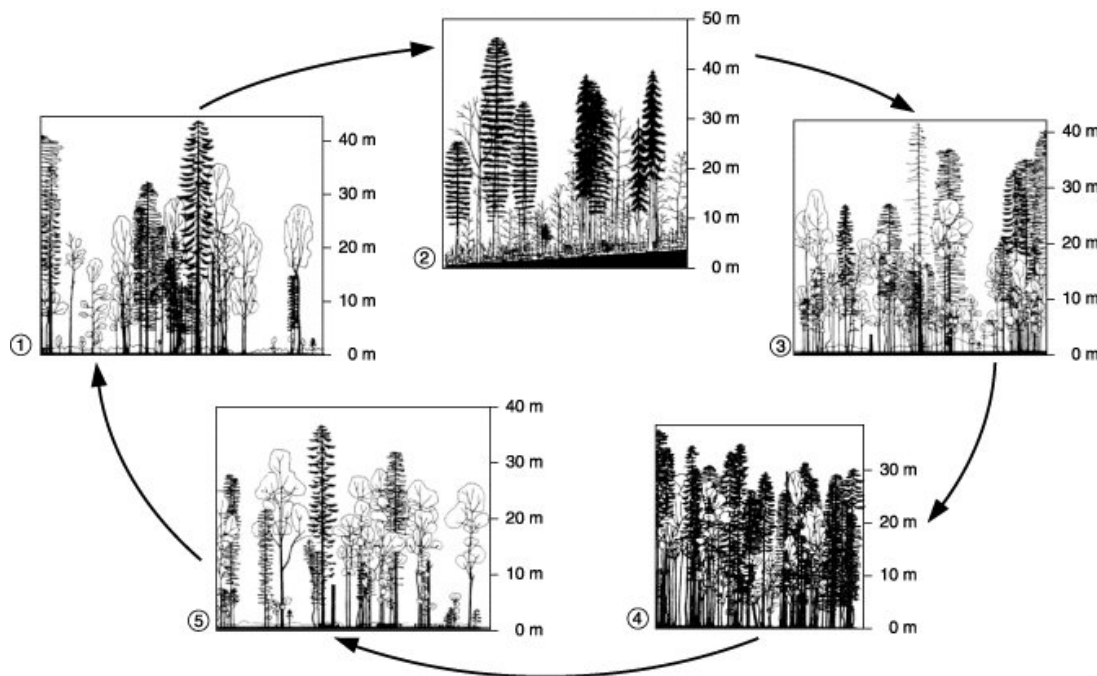
Ökologische Sukzession bedeutet die sukzessive und kontinuierliche Besiedlung eines Ortes durch Populationen bestimmter Arten, einhergehend mit dem lokalen Verschwinden anderer Spezies. Dies ist ein Prozess der in der Regel über längere Zeiträume hinweg beobachtet werden muss.

Definition frei nach Begon et. al 2017

Paradigmata der Ökosystemforschung

- **Dynamik von Ökosystemen: Mosaik-Zyklus-Konzept**

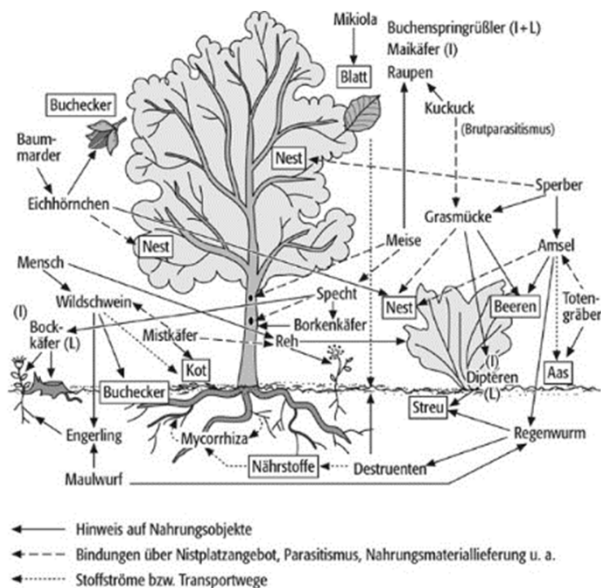
1973 haben W. Drury and I. Nisbet nachgewiesen, dass idealisiert angenommene Sukzessionsverläufe real vielmehr chaotisch erscheinenden Mustern unterschiedlicher Sukzessionsstadien entsprechen. Diese sind durch lokal und diskontinuierlich erfolgende Störungen begründet. Diese in der sog. Mosaik-Zyklus-Theorie beschriebene Beobachtung war Startpunkt einer neuen Phase der Ökosystemforschung: der Störungsökologie.



Quelle: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege:
Laufener Seminarbeiträge 5/91

Was machen Ökolog*innen?

- In erster Linie ist **Ökologie eine Wissenschaft** – Ökolog*innen versuchen daher **offene Fragen zu klären und zu verstehen**.
- **Keine einfache Wissenschaft** – **Vielzahl an Feinheiten und Komplexität** durch Millionen unterschiedlicher Arten, viele Milliarden genetisch verschiedener Individuen, die alle in einer vielfältigen, sich stetig wandelnden Umwelt leben & agieren



© https://www.spektrum.de/lexika/images/geogr/biozoen1_w.jpg



© Gary Bell / Oceanwideimages.com

- Herausforderung in der Erforschung: der **Einzigkeit und Komplexität** aller Aspekte Rechnung zu tragen und gleichzeitig zu versuchen darin **Muster zu erkennen** und **Vorhersagen treffen** zu können

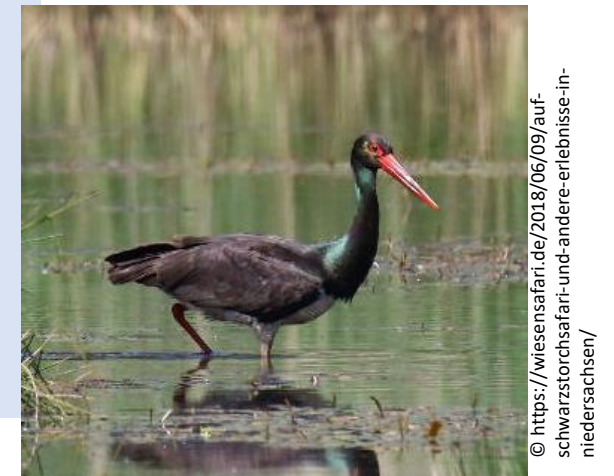
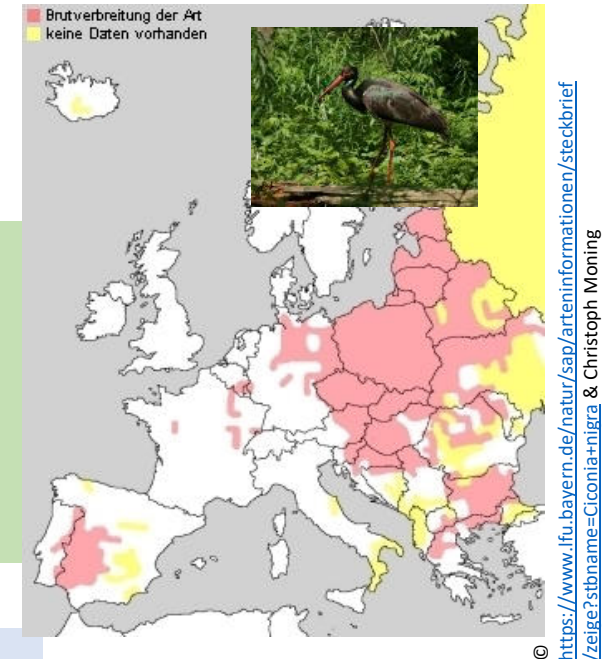
In der Biologie gibt es *zwei Arten von Erklärungen*:

Proximate Erklärungen (*durch unmittelbare Ursachen*)

- Beschreibung und Erklärung in Bezug auf das Hier und Jetzt
- z.B. Erklärung der Verbreitung einer Art anhand der physikalischen Umwelt, gegenwärtigen Nahrung, Parasiten, Räuber, usw. – gut durch Experimente überprüfbar

Ultimate Erklärungen (*evolutionsbiologische Zusammenhänge*)

- Erklärungen und Beschreibungen darauf beruhend, welchen ökologischen Bedingungen eine Art in der Vergangenheit ausgesetzt war (z.B. wozu haben sich die Eigenschaften entwickelt, evolutionäre Erklärungen), schwierig in Experimenten nachzuweisen
- Vorhersagen für die Zukunft



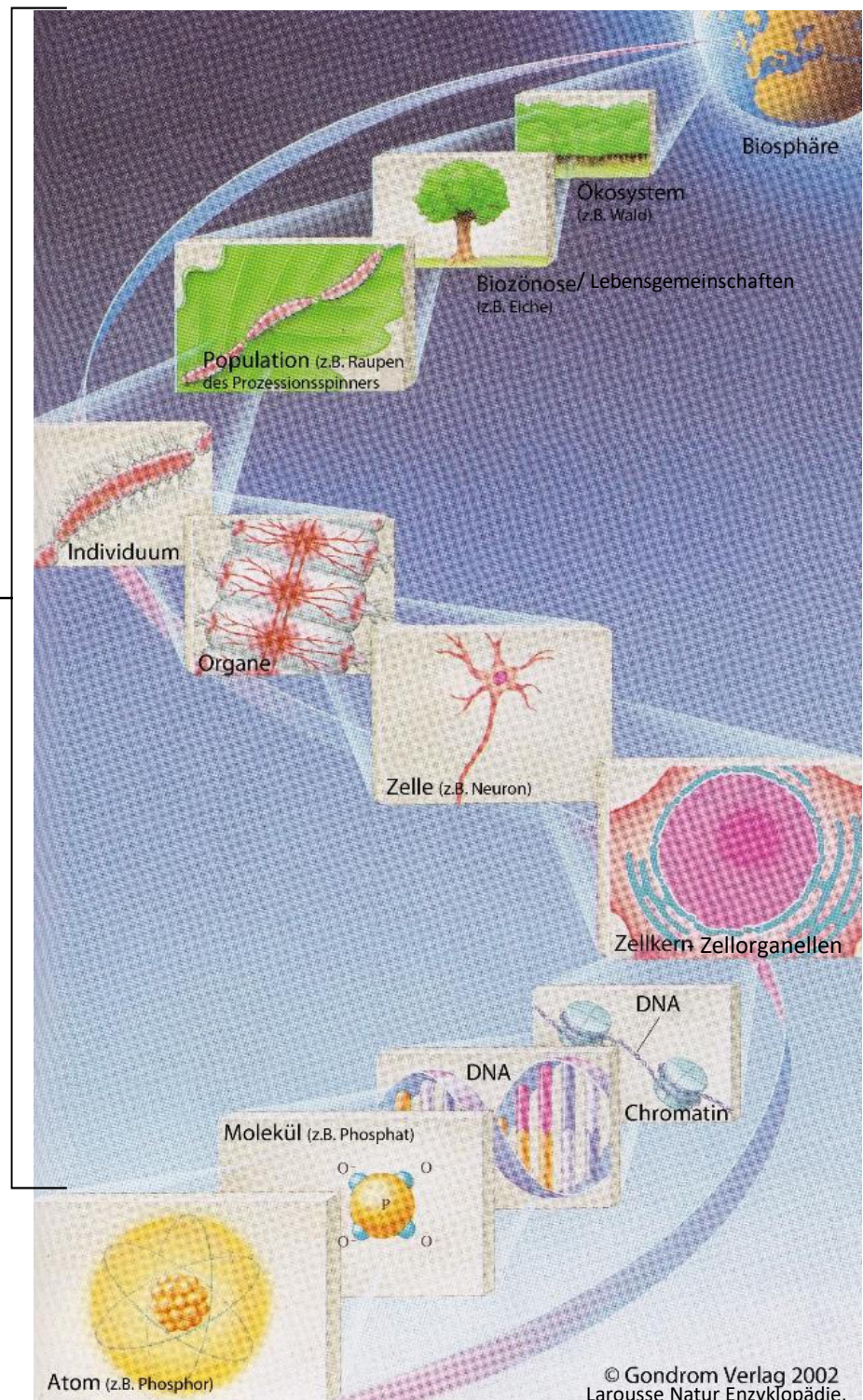
Problematik der Erkenntnis und Erklärungsfindung in der Ökologie:

- Ökologische Phänomene treten auf vielen verschiedenen Ebenen auf
- Ökologische Erkenntnisse beruhen auf sehr vielen unterschiedlichen Quellen
- Ökologie muss auf rein wissenschaftlichen Beweisen beruhen!

Ebenen der Ökologie

Ebenen der Biologie

- Moderne **Ökologie** befasst sich mit den Ebenen ab Organismus aufwärts bis hin zur Gesamtbetrachtung der Biosphäre



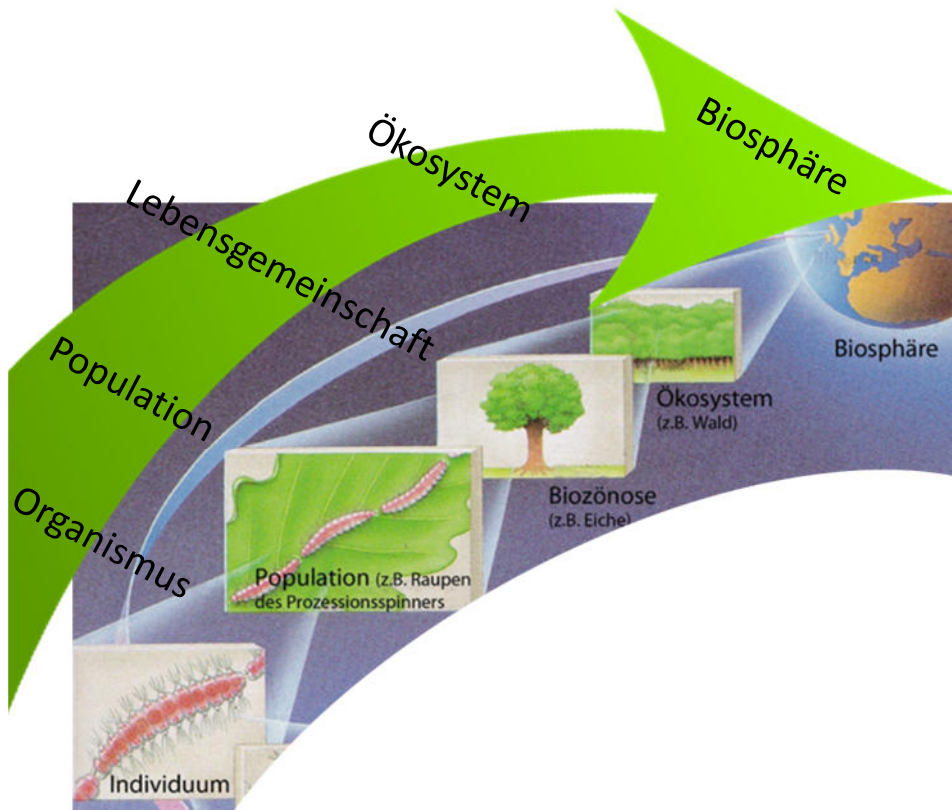
Betrachtungsebenen der Ökologie

Unabhängig von der zuvor erwähnten, allgemeinen Definition von Ökologie, den verschiedenen Ebenen und Disziplinen, lässt sich eine weitere Einteilung vornehmen, darauf beruhend, ob Organismen und/oder Umwelt betrachtet werden.

Synökologie (community ecology)

- **Autökologie** (*autecology*): beschäftigt sich mit dem Einzelorganismus oder einer einzelnen Art in Bezug auf seine Wechselwirkungen mit der abiotischen und biotischen Umwelt
- **Populationsökologie** (*population ecology*): beschäftigt sich mit Trends und Entwicklungen der Individuenzahl in Populationen (Entstehung, räuml. & zeitl. Dynamik,...)
- **Biozönologie (Biozönose(n)forschung)**: beschäftigt sich mit Struktur und den Wechselwirkungen innerhalb der Lebensgemeinschaften (Biozönosen)
- **Ökosystemforschung**: versucht herauszufinden, wie ganze Gewässer, Wälder, Wiesen, Wüsten oder generell zusammenhängende Gebiete der Erde funktionieren → Untersuchungen der Eigenschaften von Ökosystemen und deren Komponenten (Artenvielfalt, Stoffkreisläufe, Landschaftselemente usw.).

Regeln der ökologischen Arbeit

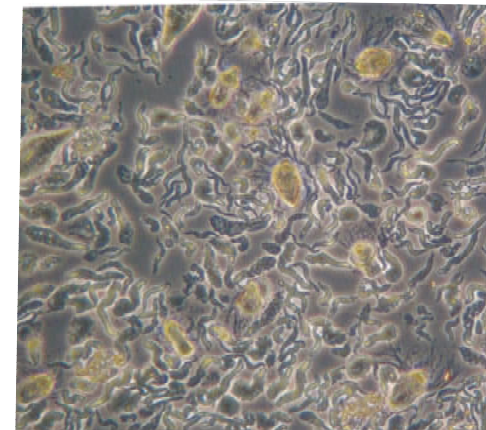
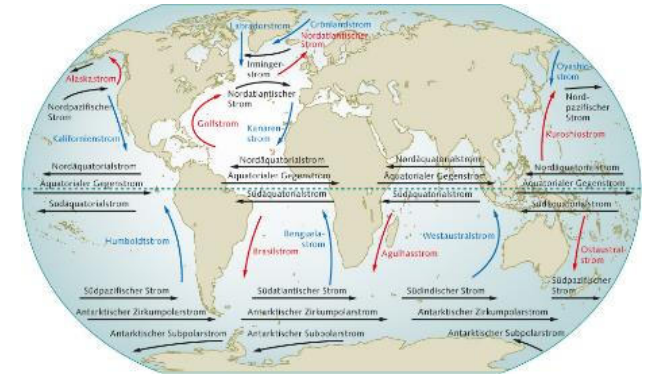


1. Die auf **einer Ebene betrachteten Eigenschaften** können sich nur aus dem **Funktionieren der Bestandteile auf der Ebene darunter** ergeben.
2. Um die **mechanistischen Ursachen** zu verstehen, dass auf einer **gegebenen Ebene eine bestimmte Eigenschaft zu beobachten** ist, muss die jeweils **darunter liegende betrachtet werden**.
3. **Auf bestimmten Organisationsebenen können Eigenschaften basierend auf Beobachtungen teilweise vorhergesagt werden, auch ohne dass die darunter liegenden Ebenen vollständig verstanden sind** (z.B. Muster in Ökosystemen)

Herausforderungen der Skalierung

Ein fast endloses Spektrum an räumlichen Ebenen ...

- **Großer Maßstab**, z.B. der Zusammenhang von Klimamustern und der Bildung von Wüsten, Meeresströmungen und Fischerei, usw...
- **Mittlere Maßstab**, z.B. Artenreichtum der Vögel in untersch. großen Waldstücken, versch. Seen....
- **Kleiner Maßstab**, z.B. Konkurrenz von verschiedenen Pathogenen um die Ressourcen einer Wirtszelle, Darmflora einer Termite, Leben in einem Tautropfen



© maribus <https://worldoceanreview.com/de/wor-1/klimasystem/gruese-meeresstroemungen/>

© <https://www.regenwald.org/regenwaldreport/2019/537/ohne-voegel-kein-wald>

© Shigeharu Moriya, zit. n. Begon, Howarth, Townsend (2014). Ökologie. 3. Auflage

Herausforderungen der Skalierung

Ein fast endloses Spektrum an zeitlichen Ebenen ...

- **Großer Maßstab** z.B. Wiederbesiedlung von Flächen, die nach der letzten Eiszeit kahl zurückgeblieben sind (*ein Jahrhunderte dauernder Prozess*); Gletscherrückzugsgebiete
- **Mittlerer Maßstab** z.B. Wiederbewaldung von ackerbaulich genutzten Flächen in tropischen Regenwäldern (*Jahre bis Jahrzehnte*)
- **Kleiner Maßstab** z.B. Besiedlung eines Stückes frischen Tierkots mit Mikroorganismen (*Minuten bis Stunden*), bis hin zur Zersetzung (*Wochen*); Besiedlung einer Pfütze nach Regenfall bis zur erneuten Verdunstung (*Tage bis Wochen*)



© Friedrich <https://www.krone.at/2385955>

© Lourens Poorter
<https://www.scinexx.de/news/biowissenschaften/tropenwald-regeneriert-sich-schneller-als-gedacht/>

© <https://www.swr.de/wissen/kuhtlad-enmangel-hat-folgen-fuer-insekten-wie-mistkaefer-100.html>

Die **hinreichende Länge einer ökologischen Untersuchung** hängt von der **Fragestellung** ab.....

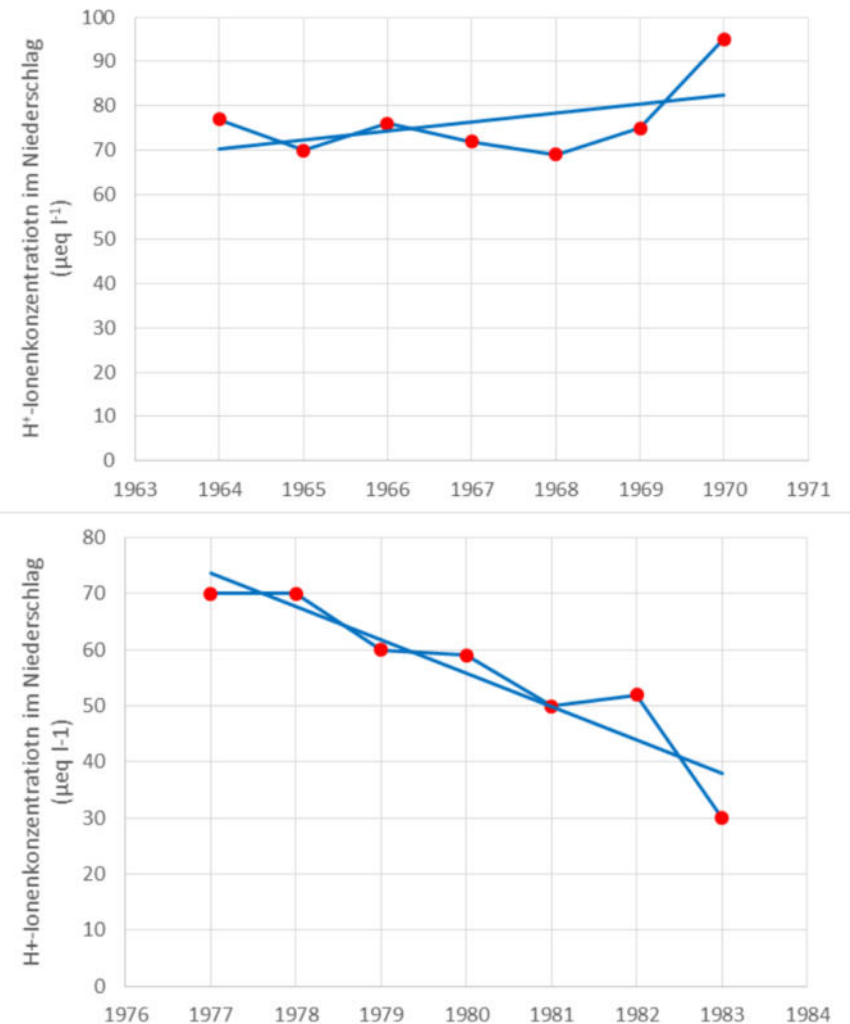
→ für ökologische Fragestellungen **häufig Langzeitstudien** notwendig!

- Oft werden Studien allerdings über **kürzere Zeiträume** abgehalten, als für die jeweilige Fragestellung eigentlich notwendig wäre. Die Gründe hierfür sind *häufig mangelnde Ressourcen*. Längere Studien → mehr Kosten, Engagement & Durchhaltevermögen der Beteiligten

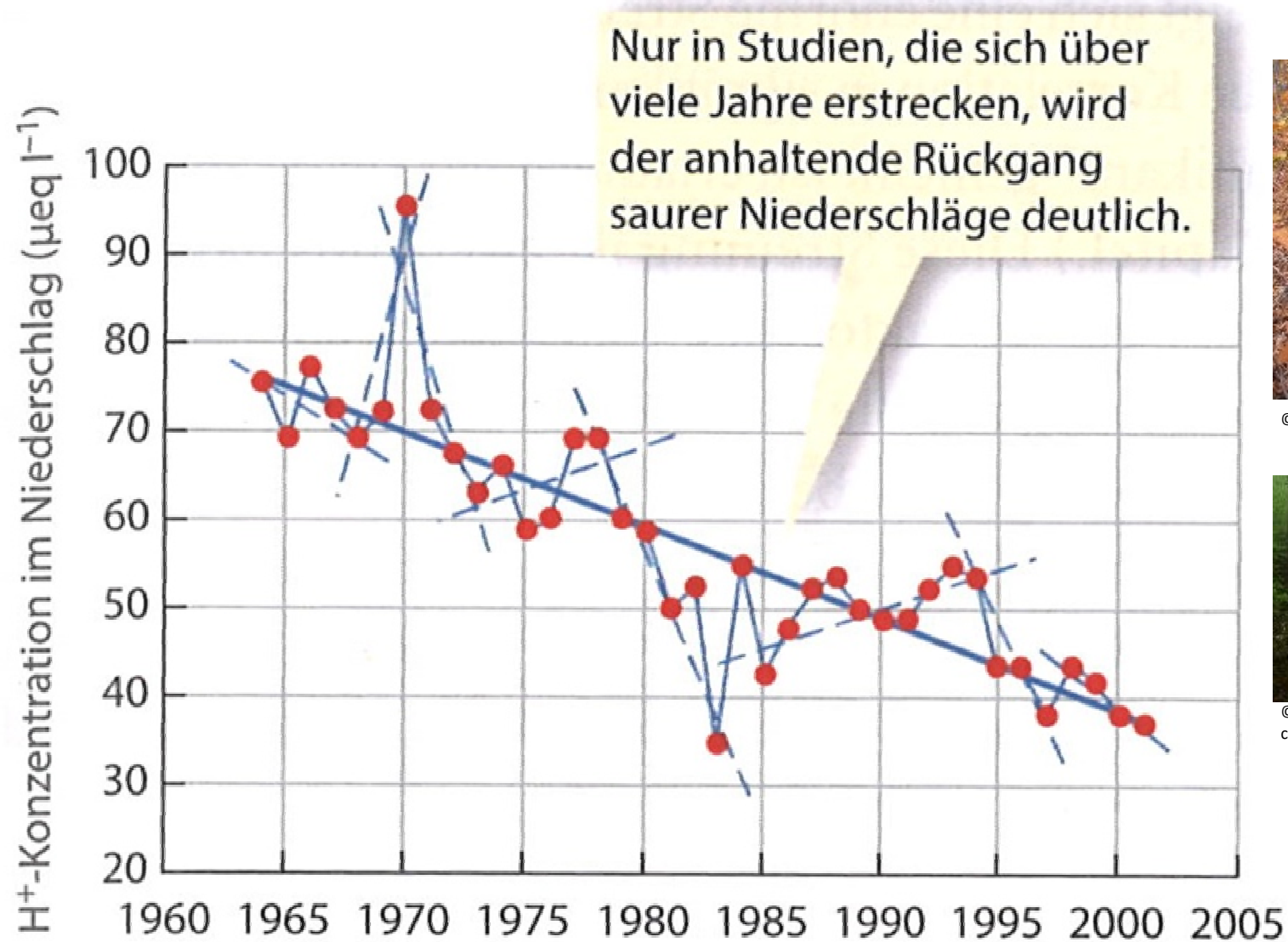
→ Die **Aussagekraft einer Studie** kann *maßgeblich von ihrer Dauer* abhängen



Säurekonzentration des Regens im
Hubbart Brook Experimental Forest



Langzeitbeobachtung: Säurekonzentration des Regens im *Hubbart Brook Experimental Forest*



© <https://lternet.edu/site/hubbard-brook-lter/>



© <https://nationalzoo.si.edu/migratory-birds/climate-change-hubbard-brook-forest>

© Begon, Howarth, Townsend (2014). Ökologie. 3. Auflage

Die wichtigsten Ansätze für ökologische Beweisführung:

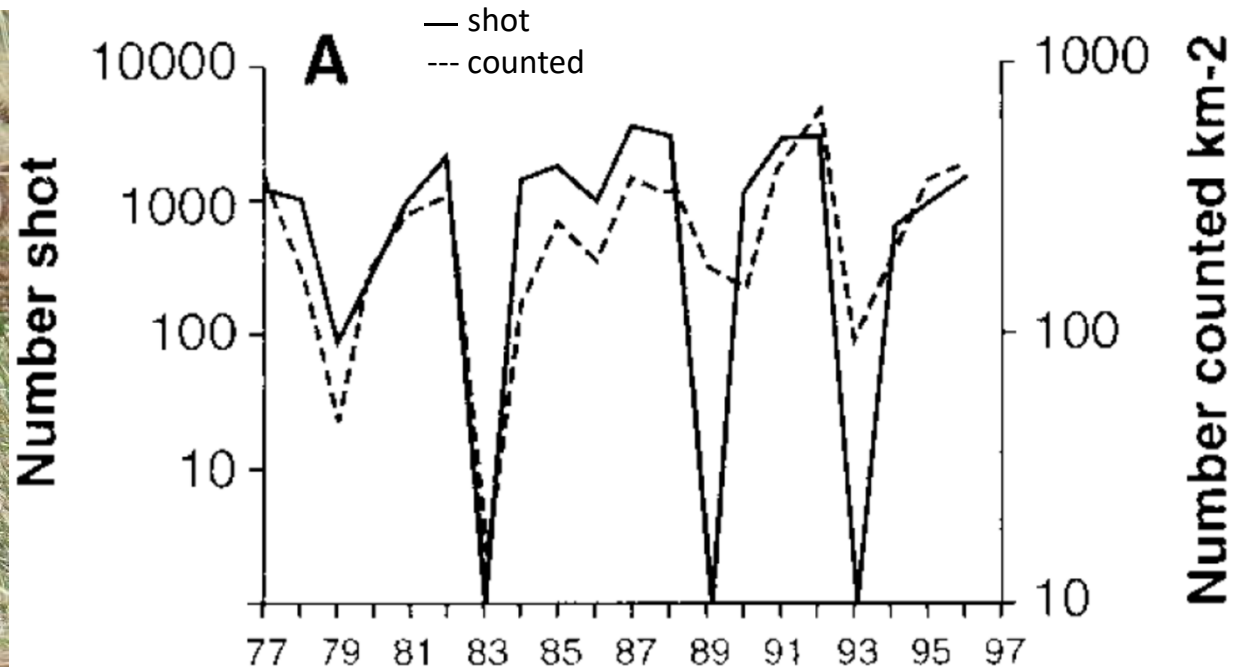
- **Beobachtungen:** häufig von zeitlichen oder räumlichen Veränderungen der Abundanz oder Systemfunktionen; oft Vergleiche zwischen versch. Gebieten oder Systemen
 - **Experimente:** im Labor & Freiland (unabhängig voneinander und/oder parallel)
 - **Mathematische (Vorhersage -)Modelle:** die eine Komponente der ökol. Wechselwirkung, Funktion oder Struktur erfassen
- Häufig **kombinieren** Ökolog*innen **zwei oder mehr dieser Ansätze**

Beobachtung und Experiment

➤ Beispiel: Abundanz des Schottischen Moorschneehuhns (*Lagopus lagopus scotica*)

Abundanz = Zahl der Individuen einer Art (Individuendichte) in einem Biotop, bezogen auf eine Flächen- bzw. Raumeinheit

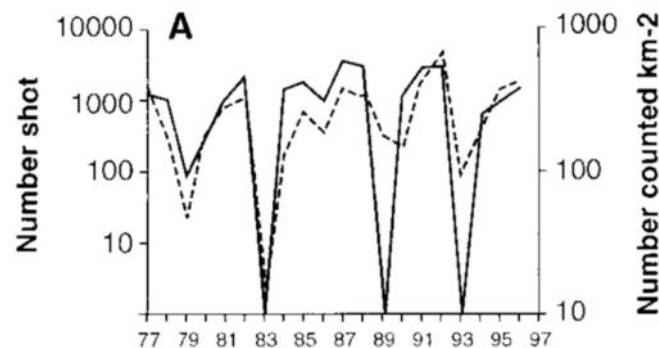
© Quintela, Kolm, Wang, Höglund (2010). Genetic diversity and differentiation among *Lagopus lagopus* populations in Scandinavia and Scotland: Evolutionary significant units confirmed by SNP markers



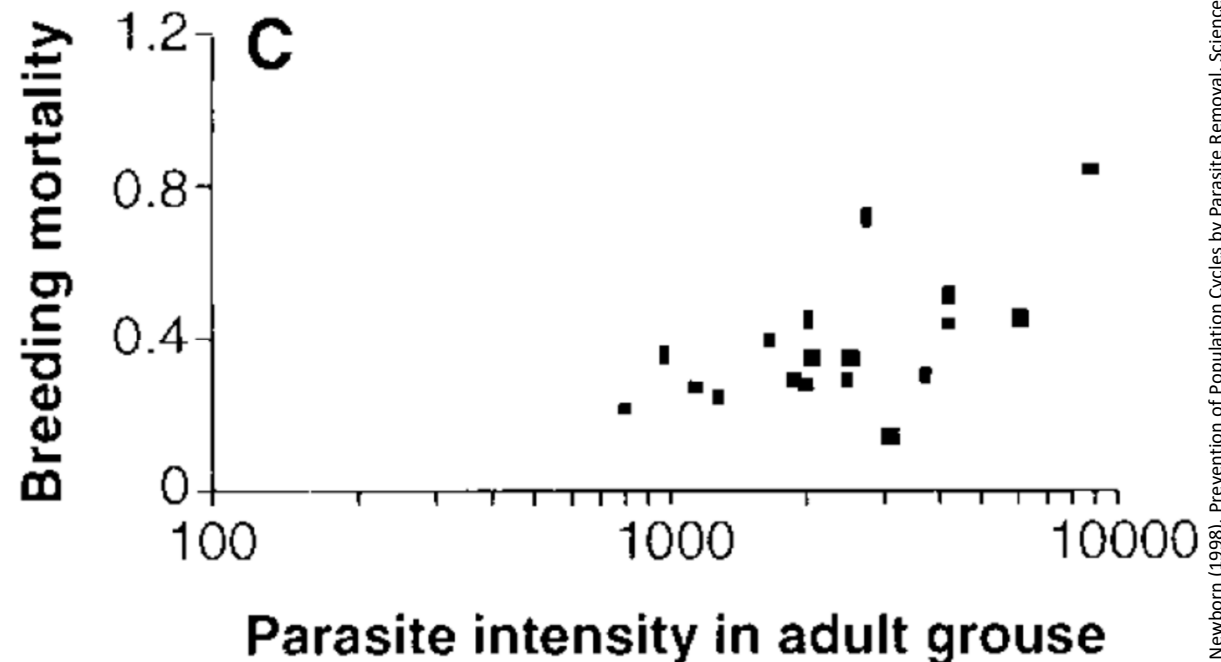
© Hudson, Dobson, Newborn (1998), Prevention of Population Cycles by Parasite Removal. Science 282

➤ Beobachtung: Die Abundanz schwankt in Zyklen von 4 bis 6 Jahren

- Es ließ sich jedoch kein Zusammenhang zwischen äußeren Bedingungen und Abundanz finden



... Autopsien toter Hühner zeigten jedoch eine Anreicherung von parasitischen Würmern (*Trichostrongylus tenuis*) - Auslöser der Trichostrongylose



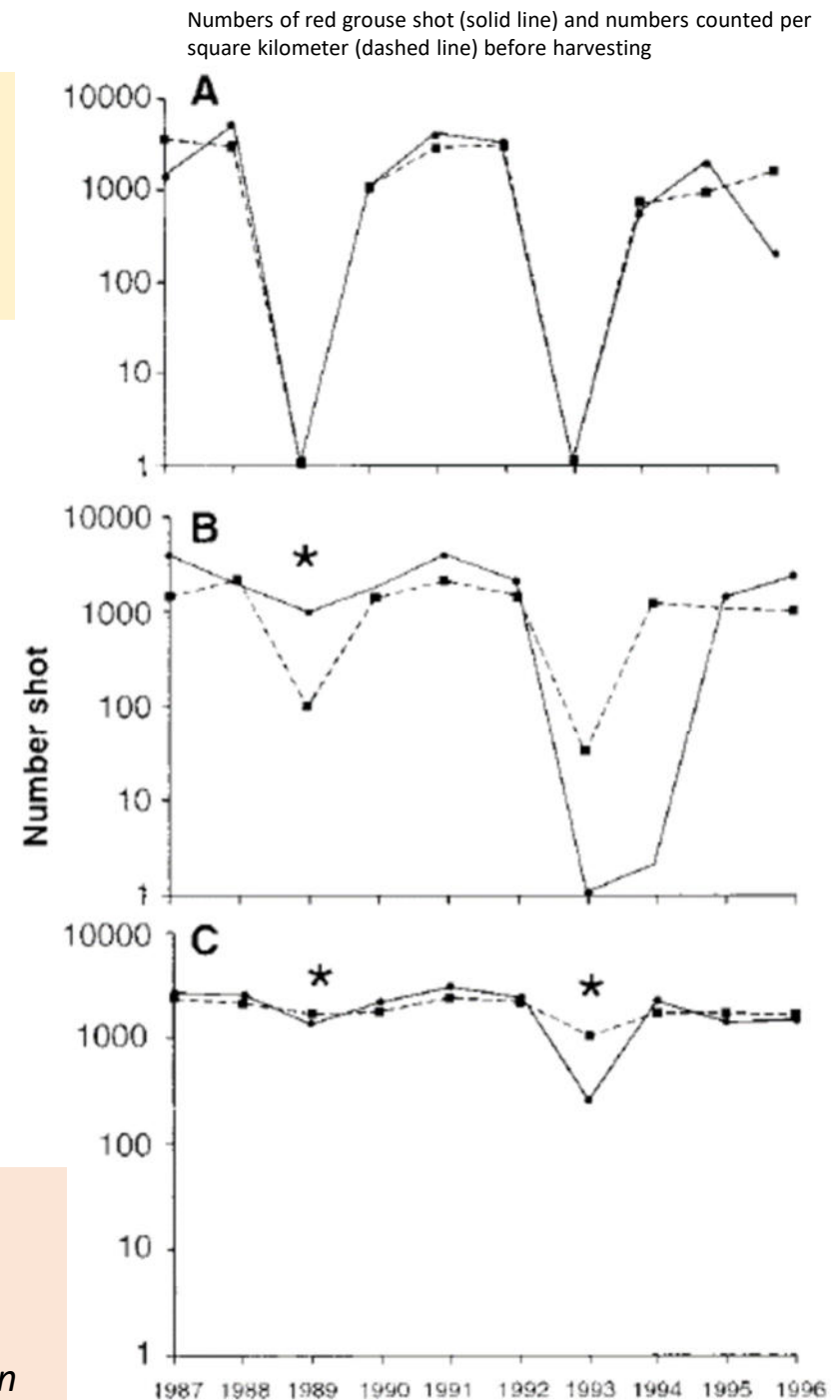
- *Hypothese:* In einem 4-5 Jahreszyklus reichern sich parasitische Würmer in der Population an - bei Erreichen einer kritischen Parasitendichte bricht die Moorschneehuhn-Population zusammen

Wie lässt sich dies überprüfen?

✓ **Manipulative Freilandexperimente** können helfen Hypothesen zu überprüfen und so entsprechende Theorien zu stützen!

- *Manipulatives Freilandexperiment zeigt:* Gegenüber dem normalen Zyklus (A), kann die Population stabilisiert werden, wenn eine Behandlung des Parasitenbefalls stattfindet (gekennzeichnet durch *). (B) einmalige Behandlung; (C) zweimalige Behandlung.
- Die Theorie, dass Parasiten für die zyklische Abundanz des Moorschneehuhns verantwortlich sind, kann also gestützt werden

Manipulatives Freilandexperiment = ein Experiment bei dem durch *künstliche, manipulative Eingriffe in einen natürlichen Vorgang* das Ergebnis dieses Vorgangs beeinflusst wird, mit dem *Ziel eine aufgestellte Hypothese zu unterstützen oder zu verwerfen*



- ✓ Auch **vergleichende Freilandbeobachtungen** können helfen Theorien zu stützen....

Vergleichende Freilandbeobachtung bedeutet *gleichartige Daten von vielen verschiedenen Orten mit gleichen oder sehr ähnlichen Systemen und Bedingungen zu sammeln und eingehend miteinander zu vergleichen.*



Von Kiko2000, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3665606>



Von Frank Baldus - Selbst fotografiert, Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3078357>



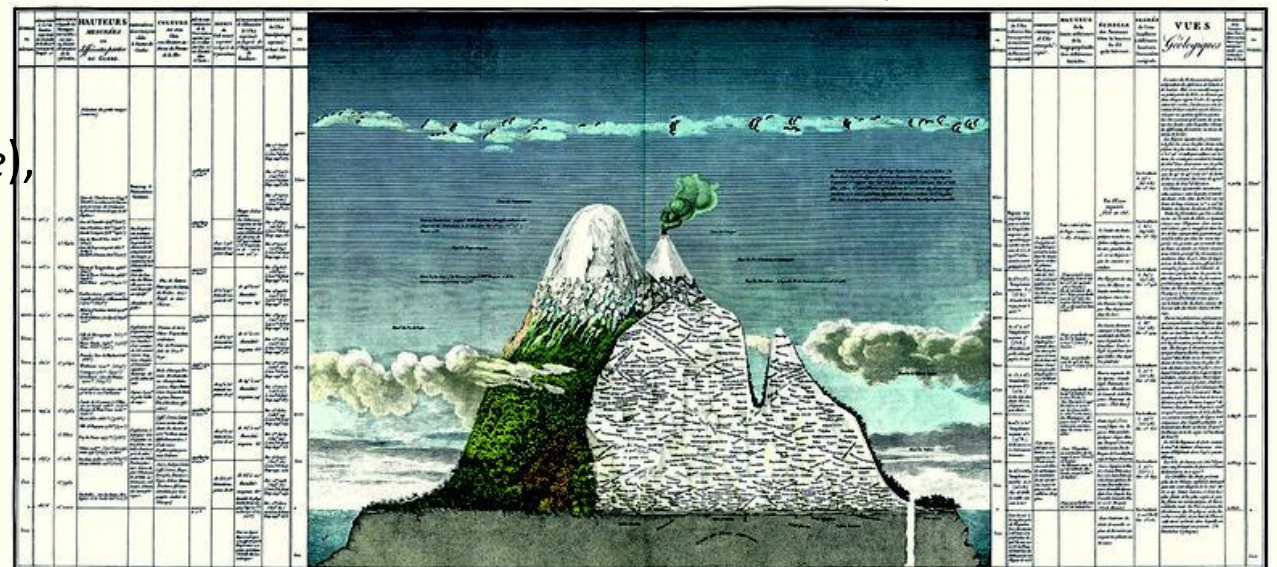
Von Lacrus - Eigenes Werk, Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7217005>

Alexander von Humboldt (1769-1859)

- Naturforscher, Forschungsreisender, Humanist, Ökologe, Klimaforscher,....
- Humboldt fasst die Natur als ein "durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganzes" – Mensch ist Teil davon
- Negative Einflüsse durch Landbewirtschaftung
- Wichtige Werke: Ansichten der Natur,.... Kosmos,...
- Einflüsse auf George P. Marsh (*Man and Nature*), Ernst Haeckel, John Muir, Charles Darwin,...



Quelle: <http://humboldt.staatsbibliothek-berlin.de/>

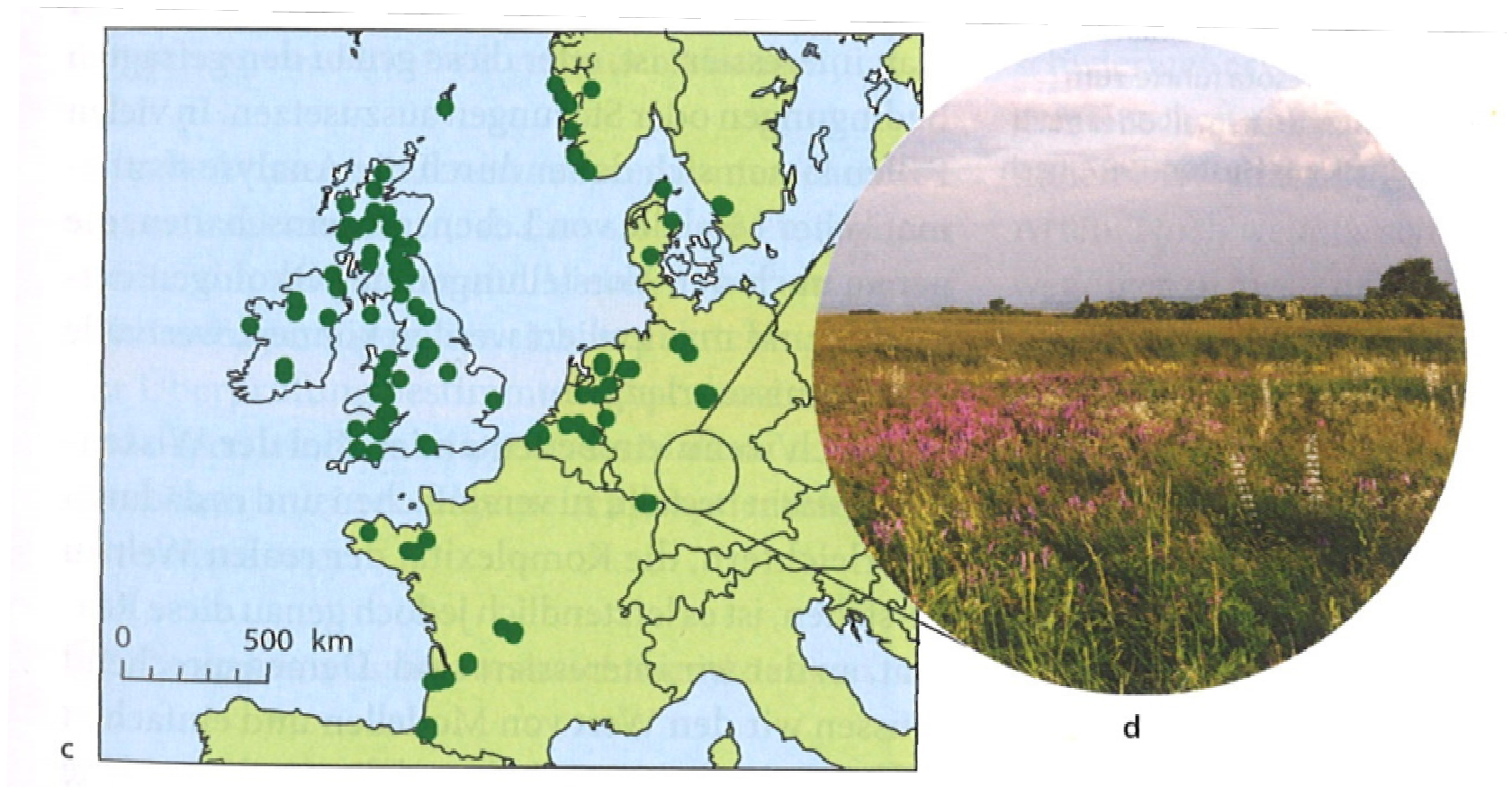


<https://www.youtube.com/watch?v=Vb0E9QYHvBI>

Beispiel für Vergleichende Freilandbeobachtung: der Zusammenhang zwischen Stickstoffeintrag und Artenreichtum von Graslandflächen in Europa

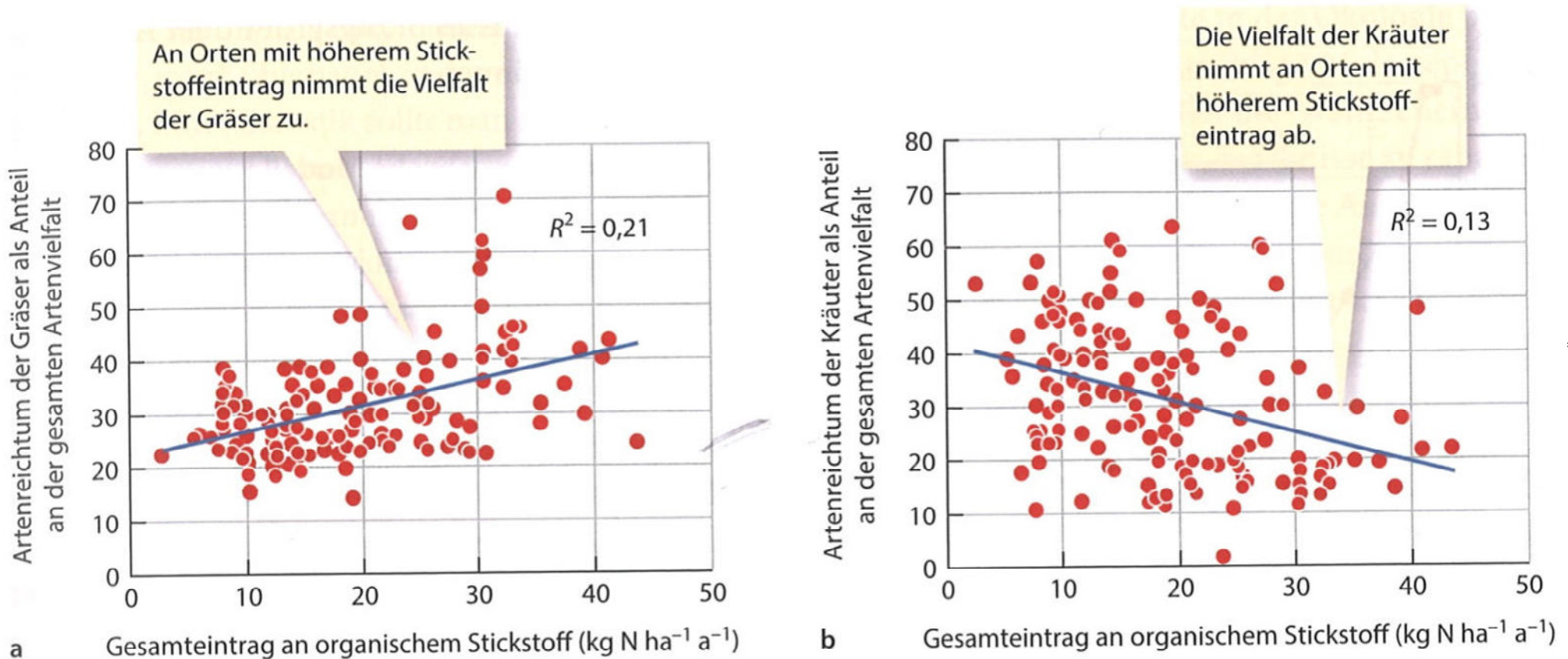
Hypothese: N-Eintrag verringert Biodiversität

Probenahme auf versch. Standorten (Graslandflächen auf saurem Boden)...



© Begon, Howarth, Townsend (2014). Ökologie. 3. Auflage

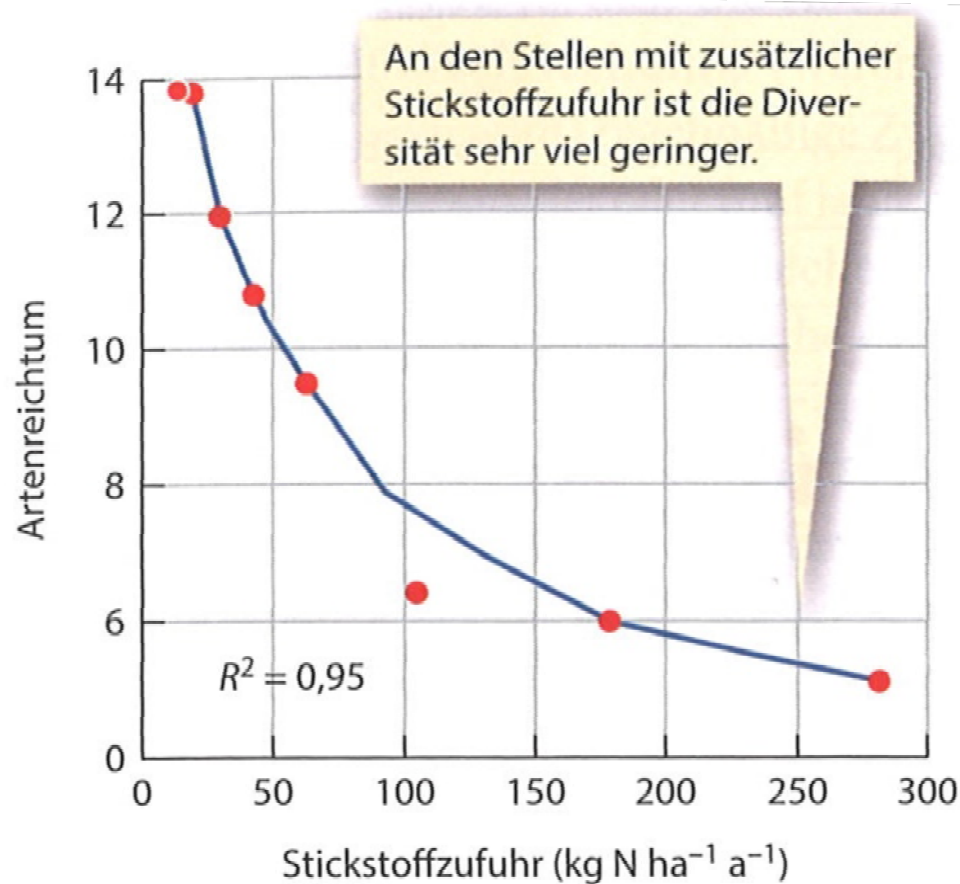
- Vielfalt an Kräutern ist bei hoher Stickstoffbelastung tatsächlich geringer, Diversität der Gräser nimmt mit steigender Belastung zu



© Begon, Howarth, Townsend (2014), Ökologie. 3. Auflage

- Rel. große Streuung, aber Korrelationen sind dennoch signifikant (=hohe Wahrscheinlichkeit einer Korrelation)!
- Streuung ist das Ergebnis weiterer Faktoren, die zusätzlich zur N-Belastung auf die Artengemeinschaft einwirken, z.B. Bodentyp, untersch. Niederschlagsmengen, Mahdhäufigkeit,....

Manipulatives Freilandexperiment zur Verifizierung:



- Künstliche, kontrollierte Stickstoffeinbringung auf einer kleinen Testwiese über den Zeitraum von vier Jahren *unterstützt die Theorie, dass die Artenvielfalt abnimmt*

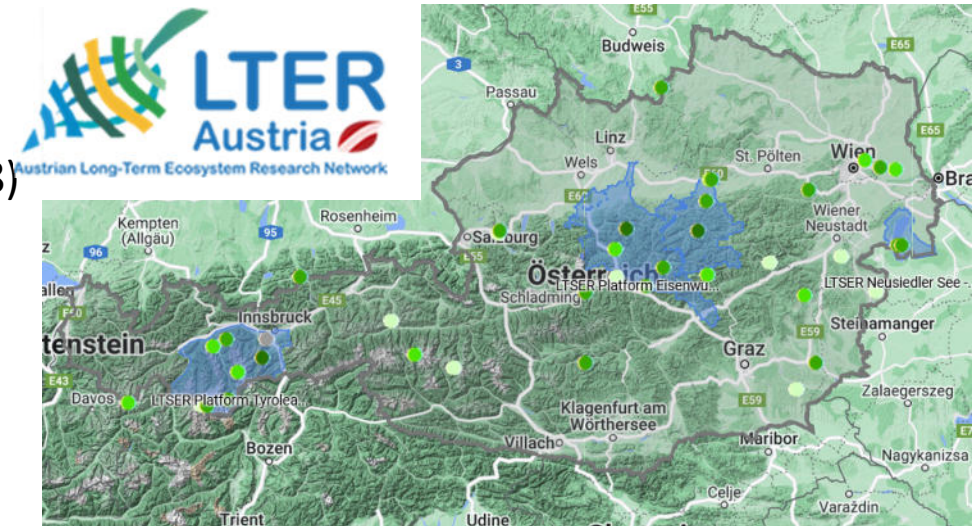
Vorteil:

andere Variablen, welche Ergebnisse beeinflussen können (wie z.B. Bodentyp, Störungen, Klima) können konstant gehalten werden

→ Die Minimierung von variablen Faktoren und (mögliche) gleichzeitige Verkleinerung führen letzten Endes zum **Laborexperiment!**

Bsp. für Ökosystemforschung in Ö: LTER-Austria – Long term ecosystem research

- *Schwerpunktregionen:* Eisenwurzen, Tyrolean Alps, Neusiedler See – Seewinkel
- Mit einer Vielzahl an Monitoring-Standorten (sites=38) für ökologische Langzeitforschung im Freiland
- manche Forschungsstandorte 100 Jahre alt
- Teil eines internationalen Forschungsnetzwerks



© <https://www.lter-austria.at/lter-sites-und-lter-plattformen/>

- **Prozessorientierte Ökosystemforschung**, z.B. Abbau und Akkumulation von totem organischen Material unter besonderer Berücksichtigung der Treibhausgasproblematik, Interaktionen zwischen Kohlenstoff-, Nährstoff- und Wasserkreisläufen in natürlichen und gestörten Ökosystemen und deren Rückkoppelungen mit dem Klimasystem,...
- **Biodiversitäts- und Naturschutzforschung**: z.B. Arten oder Lebensräume und deren Wechselwirkungen mit Ökosystemprozessen, Strukturelle Veränderungen von Ökosystemen durch Industrialisierung, Landnutzungswandel, Lebensraumverlust,...
- **Sozio-ökologische Forschung**: Mensch-Umwelt-Beziehungen, z.B. Material- und Energieflüsse, die Gesellschaften benötigen, Risiko- und Resilienzforschung (Naturereignisse, Vulnerabilität und Resilienz von Ökosystemen und die damit verbundenen Gefahren),...

Bsp. für LTER-Sites:

AT Zöbelboden: <https://www.youtube.com/watch?v=cGKvIRGLHmw>

SLO Karstgebiet Postojna: https://www.youtube.com/watch?v=qk2kq5y_nek

Beobachtungen und Experimente in der Ökologie

Halten wir fest:

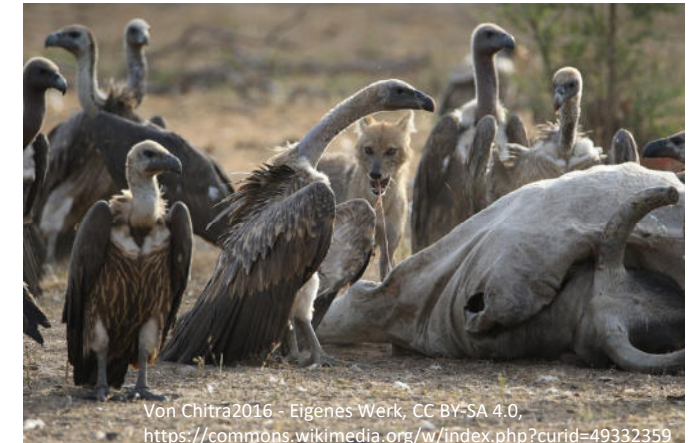
- **Beobachtungen** sind nötig um *Zusammenhänge zu erfassen* und mögliche *Fragestellungen/Hypothesen initial zu formulieren*
- **Experimente** ermöglichen die *Überprüfung von aufgestellten Hypothesen* (z.B. Freilandexperimente)
- Die *Minimierung von Faktoren* ermöglicht Konkretisierung. Kontrolle, Steuerung und Miniaturisierung führen (in manchen Fällen) zum **Laborexperiment**
- *Beobachtungen und Experimente* stellen die *Daten* zur Verfügung, die **mathematische Betrachtungen und Modelle zur Vorhersage** überhaupt erst ermöglichen

Ökologische Forschung in der Praxis - Bedeutung von mathematischen Modellen

- *Beobachtung*: Geierpopulationen in Indien und Pakistan nahmen um 22-50% pro Jahr ab (2000-2003)
- Problematisch, da sie durch die Kadaverbeseitigung (Wild- und Nutztiere) wichtige Rolle in Ökosystemen einnehmen: Bestandesverlust der Geier → vermehrte Übertragung von Krankheiten wie Tollwut durch erhöhte Bestände von Ratten und Hunden, Brunnenkontamination durch Kadaver, Verbreitung von Krankheiten durch Fliegen
- *Untersuchungen* zeigten, dass die toten Vögel gichtähnliche Symptome zeigten → Tod durch Nierenversagen, 2004 entdeckte man Rückstände des Medikaments Diclofenac in den Tieren
- *Anschließende Beobachtung* bei Geiern in Gefangenschaft: Verzehr von Haustieren, die mit Diclofenac behandelt worden waren → tödlich



Bengalgeier (*Gyps bengalensis*)



Von Chitra2016 - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49332359>

Indiengeier (*Gyps indicus*)

- *Reicht die durch das Arzneimittel verursachte Sterblichkeit als Erklärung für die massiven Bestandeseinbrüche aus – auch wenn gesamt gesehen nur eine relativ geringe Zahl von Kadavern mit Diclofenac kontaminiert ist?*
- Forscher*innen verwendeten hierfür **ein Simulationsmodell zur Populationsentwicklung** (Green et al., 2004)
- **Aufbauend auf grundlegenden, bekannten Annahmen**, wie z.B.:
 - Kenntnis normaler Geburten- und Sterberaten (natürliche Ursachen)
 - Geier brüten nicht vor dem 5. Lebensjahr
 - jeweils nur 1 Jungtier pro Jahr
 - Bekannte Wahrscheinlichkeit, dass ein adultes Tier einen kontaminierten Kadaver frisst (abhängig vom Prozentsatz an kontaminierten Kadavern im Lebensraum, wie oft nimmt Geier Nahrung zu sich)
 - ...

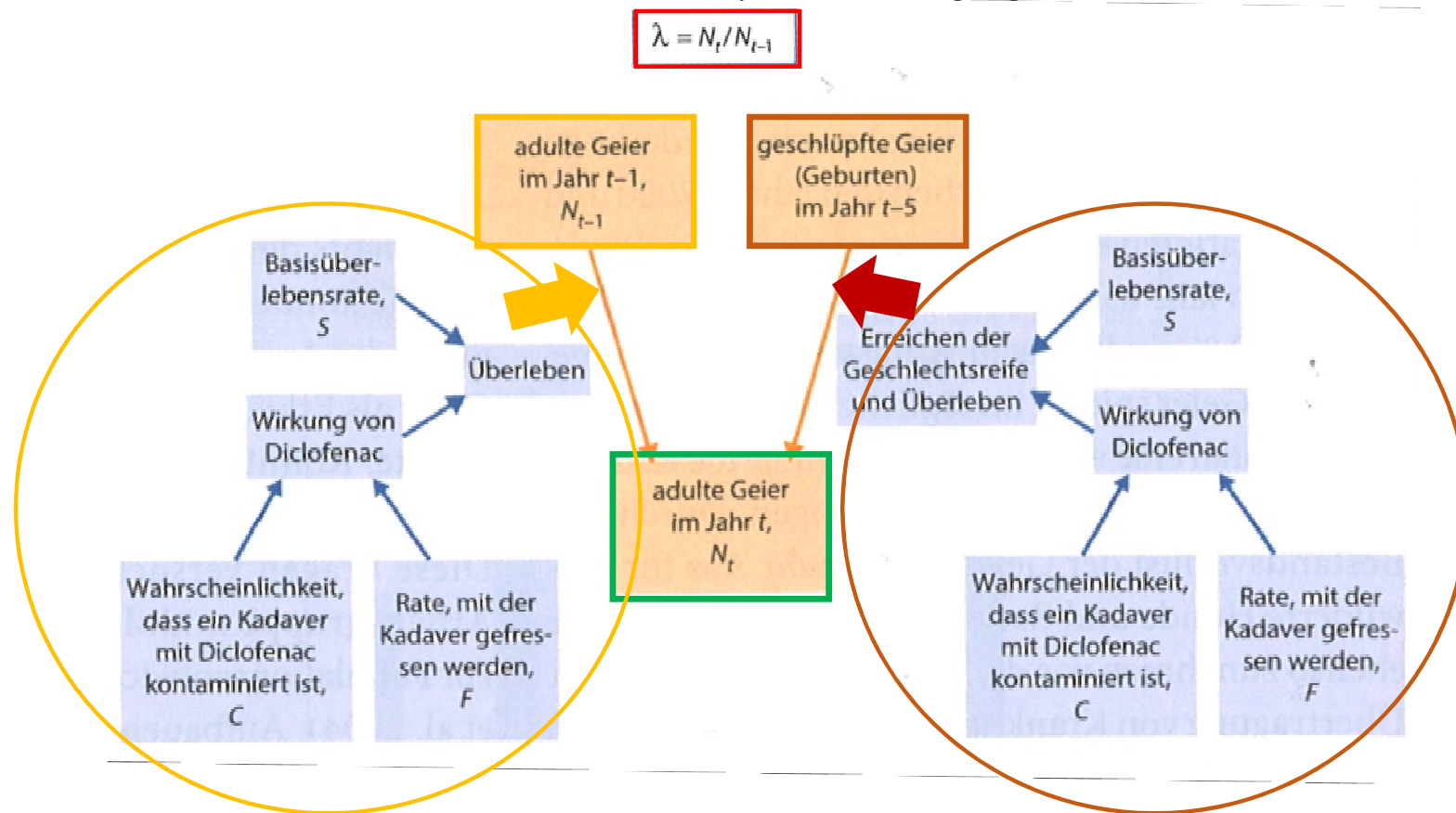


Rhys Green, University of
Cambridge, UK

© <https://www.zoo.cam.ac.uk/directory/rhys-green>

- **Flussdiagramm** zeigt die **Faktoren des Modells**, das beschreibt wie sich die Zahl der adulten Geier der Population von einem Jahr (N_{t-1}) zum nächsten Jahre (N_t) ändert

Die Forscher*innen stellten die Frage: Wie hoch müssten der Anteil an kontaminierten Kadavern sein, damit die beobachteten Populationsrückgänge eintreten?



Anzahl der Geier im Jahr t hängt von:

- der Anzahl der adulten Geier im Vorjahr ($t-1$) ab (abhä von der Basisüberlebensrate & Sterberate durch Diclofenac)
- Anzahl der Geier, die 5 Jahre zuvor geschlüpft sind ($t-5$), denn Geschlechtsreife erst mit 5 Jahren,...

- Modell zeigte, dass nur einer von 135 Kadavern mit Diclofenac belastet sein müsste, um die beobachtbaren Bestandsrückgänge zu bewirken – entspricht der Realität → *Schlussfolgerung*: Diclofenac-Vergiftungen reichen für dramatische Rückgänge aus
- Folge: Diclofenac wurde in Tiermedizin in Indien & Nepal verboten, Nachzuchtprogramme für Geier