

Ökosysteme & deren anthropogene Belastung

10 Biodiversität

Mag.^a Katharina Zmelik

Inhalte

- Biodiversität: Begriff, Definitionen, Artenzahlen
- Quantitative Erfassung von Artenvielfalt
- Erklärungsmodelle für Artenreichtum & Faktoren, die den Artenreichtum beeinflussen können
- Gradienten des Artenreichtums
- Gefährdungen

Ergründung der Vielfalt – ein Rückblick

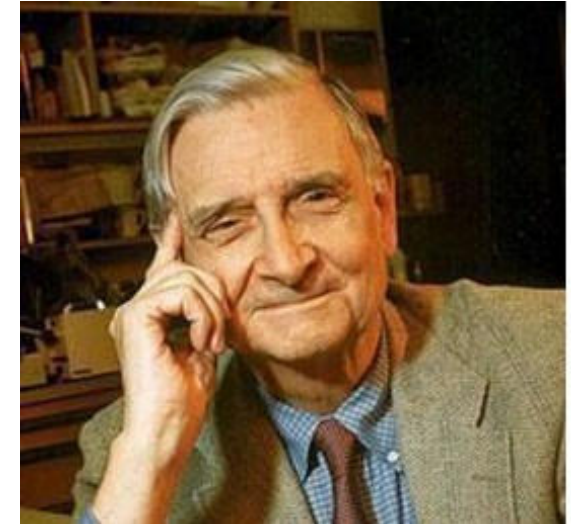
- Die Frage nach der **Ergründung und Erklärung der Vielfalt** der Natur hat Wissenschaftler seit der Antike beschäftigt und kann als Grundlage der Naturwissenschaften angesehen werden
- **Conrad Gesner** (1516-1565)
- **Carl von Linné** (1707-1778): Etablierung eines bis heute gültigen nomenklatorischen Systems und Systematik, welche helfen, die Vielfalt der Organismen zu benennen und zu kategorisieren
- **Alexander von Humboldt** (1769-1859): Forschungsreisender - biogeographische Aspekte der taxonomischen Vielfalt, strukturelle Unterschiede der Vegetation, Pionier des ökologischen Denkens
- **Charles Darwin** (1809-1882): Ursachen der Vielfalt beschäftigen → über das Hinterfragen der Artenvielfalt bzw. der morphologischen Ähnlichkeit der Organismen, die Evolutionsforschung begründet
- **1980er und 1990er-Jahre**: der Diversitätsbegriff um wesentliche Aspekte erweitert → bis dahin vor allem auf **Organismen** bezogen → auch auf **Lebensgemeinschaften, Ökosysteme und Landschaften** ausgedehnt → Entwicklung des Begriffs "Artenvielfalt" hin zu einer allgemeineren und weit mehr Aspekte des Lebens umspannenden "**Vielfalt an biotischen Eigenschaften**"



<https://www.youtube.com/watch?v=eyUUjfAOB2g>

Biodiversität als biologische Kenngröße (auf verschiedenen Ebenen)

- 1986 von **W.G. Rosen** (USA) als Kurzform von "*biological diversity*" (biologische Vielfalt) begrifflich eingeführt
- Hybridcharakter BioDiversität verschwindet durch ungenaues Zitieren
→ Biodiversität
- umfasst **biologische Vielfalt** auf unterschiedlichen Ebenen:
 - *genetische Variabilität innerhalb einer Art*
 - *Artenvielfalt*
 - *Vielfalt von Ökosystemen*
- **Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity – CBD)**
Verabschiedung auf der Umweltkonferenz von Rio de Janeiro 1992



Quelle: Time Toast <https://plantlet.org/biodiversity-a-conceptu:history/>



„....die Variabilität unter lebenden Ȑrganismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme, und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und die Vielfalt der Ökosysteme.“
(Biodiversitätskonvention, Art. 2).

Vielfalt 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/

Genetische Vielfalt:

- bezeichnet das Vorliegen voneinander **abweichender genetischer Informationen bei Individuen** derselben Art
- Erhaltung einer minimalen genetischen Variabilität wichtig zur **Vermeidung von Inzucht** und zur **genetischen Anpassung an Umweltveränderungen**
- Züchtung durch den Menschen: in jahrtausendelanger **kultureller Coevolution** entstand eine **große Vielfalt an Kulturpflanzensorten und Haustierrassen**



Quelle: Taylor, J. W. (1894-1914): Monograph of the land and freshwater Mollusca of the British Isles. Volumes 1 - 3. Taylor Brothers, Leeds.



Artenvielfalt:

- die *Erfassung und Kartierung der Artenvielfalt* durch Systematik, Taxonomie und Biogeographie ist ein **zentrales Element der Ökologie & Biodiversitätsforschung**

Wie wird eine Art definiert?

- **Biologisches Artkonzept:** Art (Spezies) = Angehörige einer Art können sich miteinander fortpflanzen und fruchtbare, lebensfähige Nachkommen produzieren

Kritikpunkte des biologischen Artkonzepts:

- Reproduktive Isolation nur an rezenten Organismen nachweisbar
- Nicht auf Organismen anwendbar, die sich stets oder überwiegend asexuell (vegetativ) vermehren, z.B. einige Prokaryonten & Pilze
- Bsp. nah verwandter Artenpaare mit Genfluss (Hybridisierung)

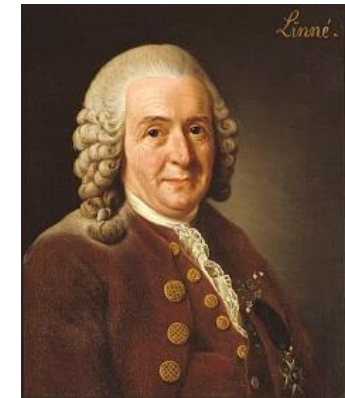
Alternative Artkonzepte:

- Morphologischer Artbegriff
- Phylogenetischer Artbegriff
- Ökologischer Artbegriff,...

→ *Brauchbarkeit der Definitionen hängt von Rahmenbedingungen ab (z.B. beobachtetes Taxa) & der wissenschaftlichen Fragestellung ab*

Wissen über Artenzahlen im Wandel:

- 1766/67: 12. Auflage des Werkes *Systema Naturae* von Carl von Linné - rund 7.700 Pflanzen- & 6.200 Tierarten beschrieben und dokumentiert
- heute ca. 1,75 Mio Arten beschrieben & katalogisiert
- Neueste Schätzung von Forscher*innen des internationalen Projekts „Census of Marine Life“ mittels einer Stammbaumanalyse: 8,7 Mio Arten (6,5 Mio terrestrisch & 2,2 Mio marin) (Mora et al., 2011)
- Pflanzen (215.644 /Schätzung lt. Studie 298.000 Arten) am besten, Pilze (43.271/611.000) am wenigsten erforscht
- als reichhaltigste noch zu erforschende Lebensräume gelten Korallenriffe, Schlamm des Meeresgrunds & tropische Böden

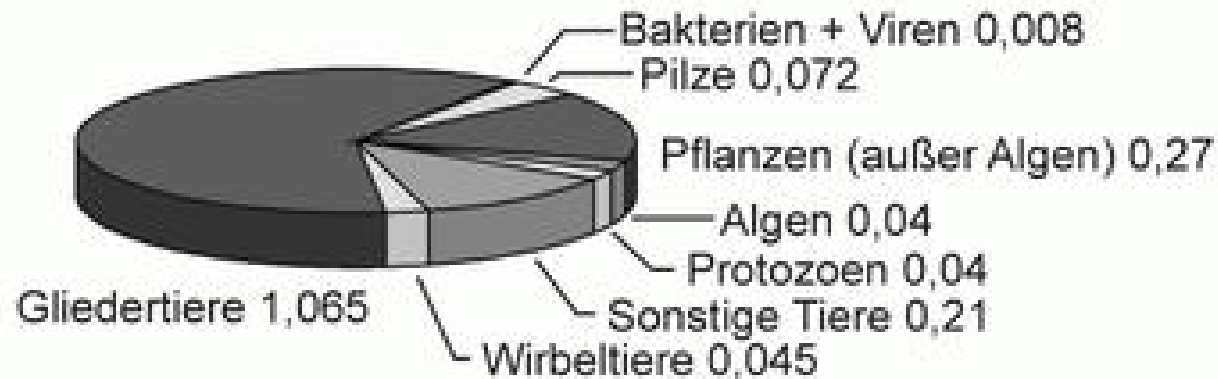


© <https://geohilfe.de/physische-geographie/bodengeographie/bodenbildung/prozesse-der-bodenbildung/ferralitiserung-definition-ablauf-bodentyp/>

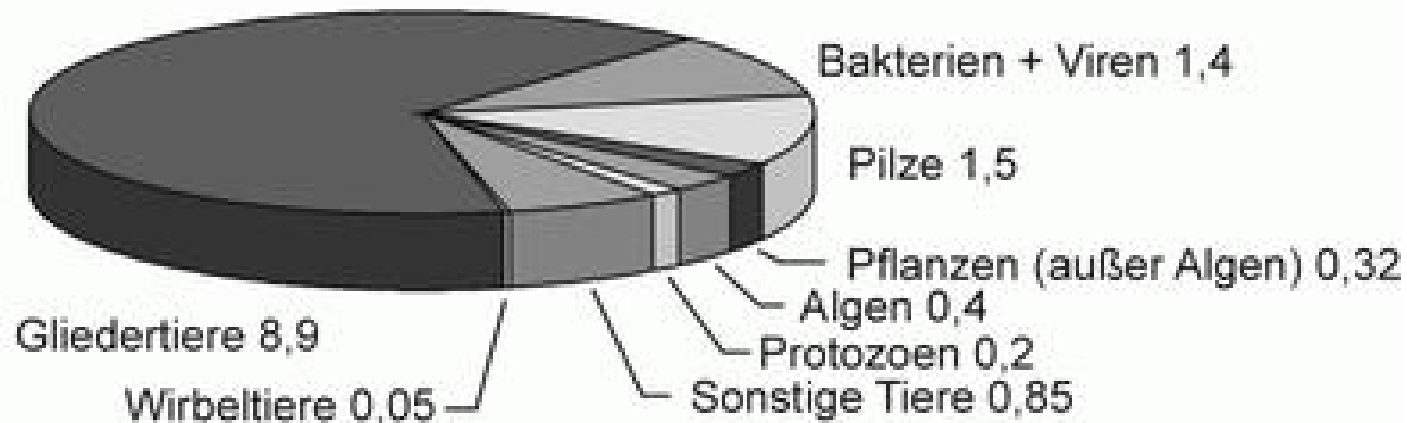
Quellen: <https://www.scinexx.de/news/geowissen/87-millionen-arten-leben-auf-der-erde/> & Mora et al (2011): <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001127>

Globale Artenzahlen verschiedener Organismengruppen – Vergleich zwischen bereits bekannten und den vermutlich auf der Erde existierenden Arten (auf Grundlage des Millennium Ecosystem Assessment):

Bekannte Artenzahlen: ca. 1,75 Mio.



Geschätzte Artenzahlen: ca. 14 Mio.



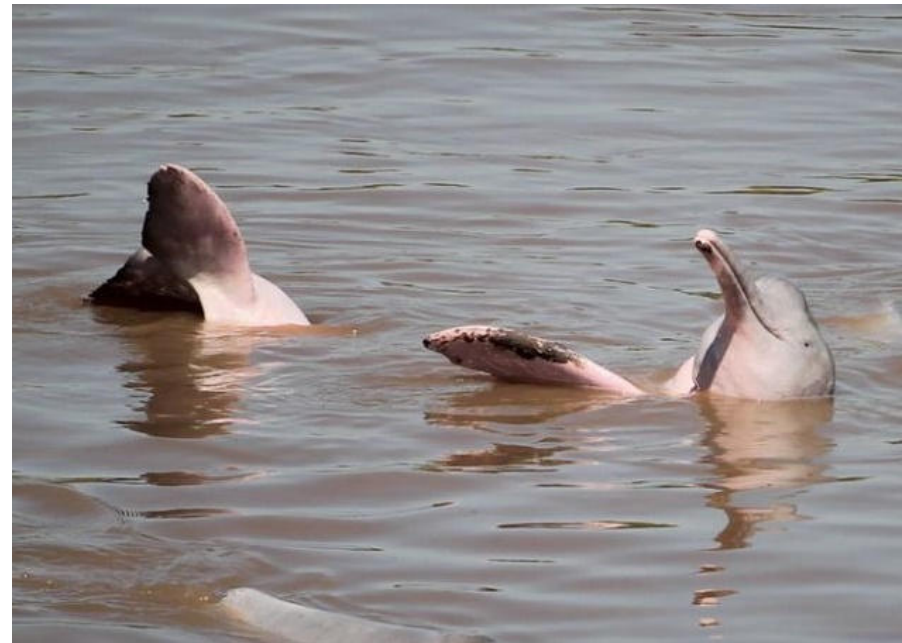
© Universität Bonn <https://www.drze.de/de/forschung-publikationen/im-blickpunkt/biodiversitaet/module/artenzahlen>
Originalreport: Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis Report. Washington DC: Island Press



© Evan Twomey / WWF

Frosch *Ranitomeya benedicta*

Im Zeitraum von 1999 bis 2009 wurden allein im **Amazonas-Gebiet** 637 neue Pflanzen- und 583 Tierarten (WWF) entdeckt



neue Flussdelphinart *Inia boliviensis*

Von Ramon and Suzanne Vargas -
<https://www.inaturalist.org/photos/9274062>, CC BY-SA
 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=126955613>



In Brasilien
 endemische Papagei
*Pyrilia
 aurantiocephala*

© Raposo & Hofling, <http://novataxa.blogspot.com/2013/07/pyrilia-pionopsitta-aurantiocephala.html>

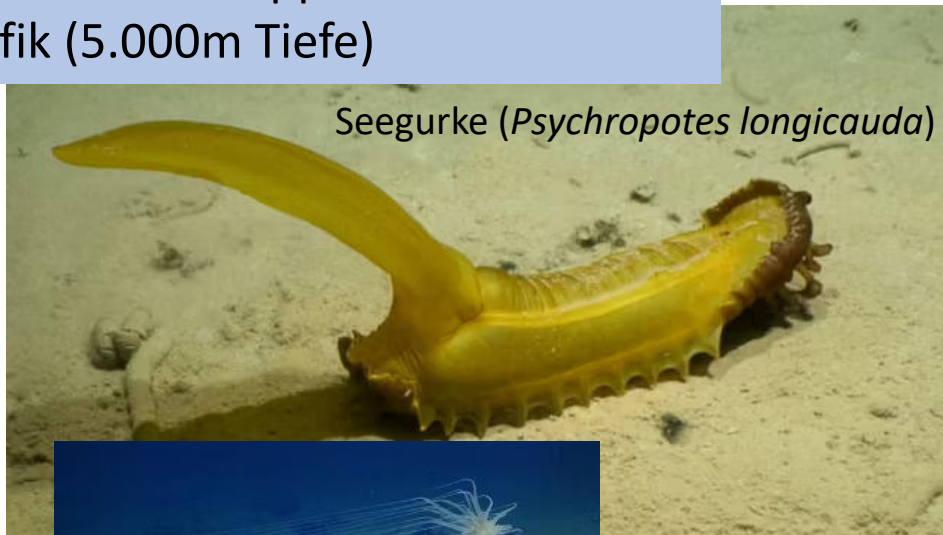
2022: Mekong-Gebiet



Popa-Langur (Fam. der Affen) - Kamerafalle (Bild: WWF-Myanmar)

2022: Clarion-Clipperton-Zone im Pazifik (5.000m Tiefe)

© Image courtesy of the DeepCCZ expedition & Image courtesy of Craig Smith and Diva Amon, ABYSSLINE Project;
<https://utopia.de/news/gummy-squirrel-und-riesenseegurken-so-sehen-die-neu-entdeckten-tiefsee-arten-aus/>



Seegurke (*Psychropotes longicauda*)



Nesseltier *Relicanthus sp*



2013: Schnecke *Zospeum tholussum* ohne Augen - lebt in mehr als 900m Tiefe in kroatischen Höhlen



2013: transparente Minikrabbe (*Liropus minusculus*) in Höhlen auf der Insel Santa Catalina vor Südkalifornien; Größe: nur etwa 3mm

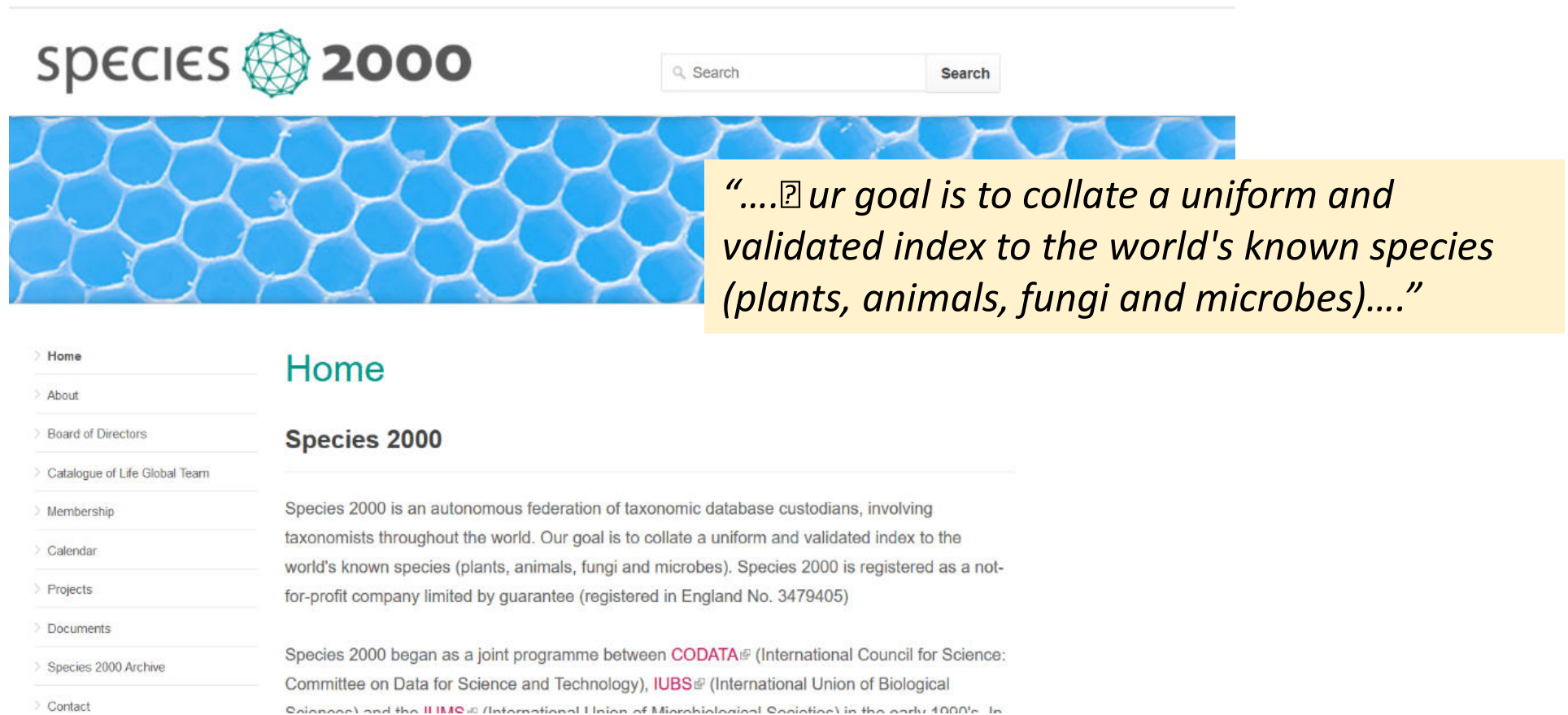
Quelle: ESF

<https://www.welt.de/wissenschaft/gallery128339040/Diese-zehn-bizarren-Arten-wurden-kuerzlich-entdeckt.html>

Heute **Erfassung der Biodiversität** in Datenbanken (Bioinformatik) unter Einsatz neuer Informationstechnologien

z.B. *Species-2000-Projekt*:

→ sämtliche beschriebene Arten im World Wide Web zu veröffentlichen



species 2000

Search Search

“...?ur goal is to collate a uniform and validated index to the world's known species (plants, animals, fungi and microbes)....”

- > Home
- > About
- > Board of Directors
- > Catalogue of Life Global Team
- > Membership
- > Calendar
- > Projects
- > Documents
- > Species 2000 Archive
- > Contact

Home

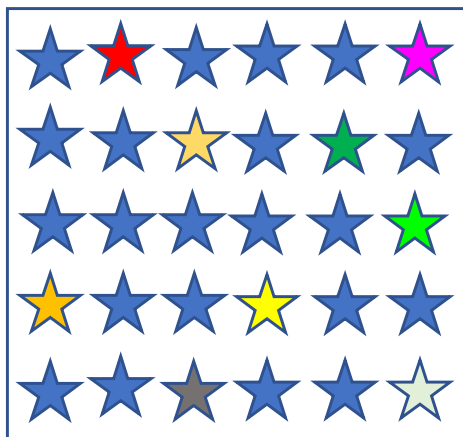
Species 2000

Species 2000 is an autonomous federation of taxonomic database custodians, involving taxonomists throughout the world. Our goal is to collate a uniform and validated index to the world's known species (plants, animals, fungi and microbes). Species 2000 is registered as a not-for-profit company limited by guarantee (registered in England No. 3479405)

Species 2000 began as a joint programme between **CODATA**® (International Council for Science: Committee on Data for Science and Technology), **IUBS**® (International Union of Biological Sciences) and the **IUMS**® (International Union of Microbiological Societies) in the early 1990's. In

Quantitative Erfassung von Artenreichtum und Diversität

- **Artenreichtum:** Anzahl der Arten in einer Lebensgemeinschaft (*species richness*)
- *Erhebung häufig in Praxis schwierig:* mobile Arten tw. nur über Spuren (Kot, Bauten,...) oder akustische Erhebungen, taxonomische Unsicherheiten, zumeist nur stichprobenartige Erhebungen (je mehr Stichproben, desto eher werden auch seltene Arten erfasst!)
- Artenlisten alleine für die Struktur einer Lebensgemeinschaft wenig aussagekräftig:



Beide Aufnahmen
enthalten 10 Arten, aber
mit unterschiedlichen
Verteilungen der Arten
(Häufigkeiten)

- Um sowohl **Artenreichtum**, als auch die **Äquität - gleichmäßige Verteilung** (*evenness*) der Individuen auf die vorhandenen Arten, berücksichtigen zu können, wurden als Maß **Diversitätsindices** (*diversity indices*) entwickelt:

➤ **Diversitätsindex nach Shannon (Shannon-Weaver-Index, H):** berücksichtigt Artenreichtum und die relative Abundanz dieser Arten in der Lebensgemeinschaft

Formel bei S Arten: $H = - \sum_i^S P_i * \ln P_i$ (S = Gesamtzahl der Arten in Lebensgemeinschaft)

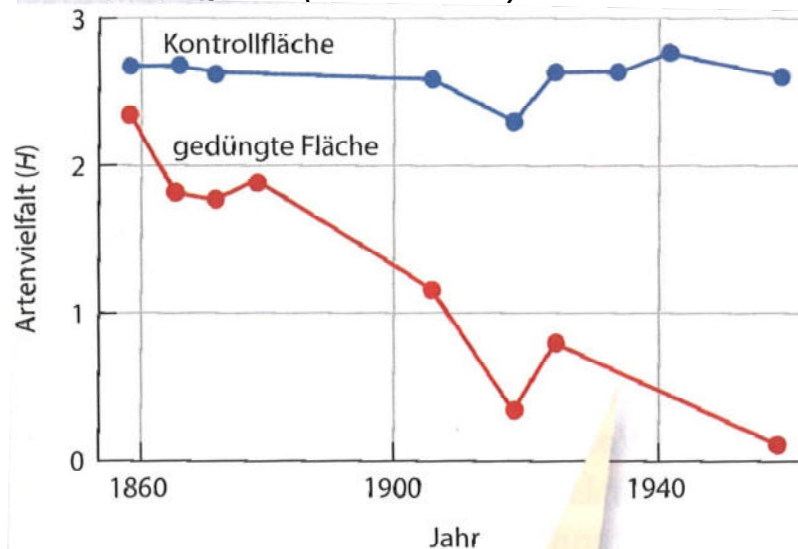
P_i der i -ten Art = der relative Anteil jeder Art an Individuen od. Biomasse, den diese Art zur Gesamtheit der Probe beiträgt (zw. 0 und 1)

P_i wird berechnet aus: $P_i = n_i / N$ (n_i = Prozentwert der Art, N = Summe der Prozentwerte aller Arten)

(z.B. Deckungsprozent bei Pflanzen oder Individuen bei Tieren)

(→ für jede der S Arten wird das Produkt aus $P_i * \ln P_i$ einzeln berechnet und dann aufsummiert)

Bsp.: Studie in England (1859-1949!)



Entwicklung der Artenvielfalt (H) auf 2 Weideflächen über einen Zeitraum von fast 100 Jahren im Rahmen eines Experiments

je mehr Arten und desto gleichmäßiger die Häufigkeiten verteilt, desto höher ist H !

Im Gegensatz zu der weitgehend konstanten Diversität auf der Kontrollfläche ging die Artenvielfalt auf der gedüngten Fläche im Laufe der Zeit kontinuierlich zurück.

- Bsp.: für einen Schilfbestand - Formel bei S Arten:

$$H = - \sum_i^S P_i * \ln P_i$$

Art	% Deckung	P_i (=%/Gesamt%)	$\ln(P_i)$	$P_i * \ln P_i$
<i>Phragmites australis</i>	60	0,6	-0,51	-0,31
<i>Cynosurus cristatus</i>	2	0,02	-3,91	-0,08
<i>Carex hirta</i>	1	0,01	-4,61	-0,05
<i>Elymus repens</i>	1	0,01	-4,61	-0,05
<i>Cirsium arvense</i>	15	0,15	-1,9	-0,28
<i>Urtica dioica</i>	21	0,21	-1,56	-0,33
Summe	100	1		-1,09

Summe
bilden

+1,09

niedriger Wert, da wenige
Arten und ungleiche
Deckungswerte!

(S = Gesamtzahl der Arten in Lebensgemeinschaft)

P_i der i-ten Art = der relative Anteil jeder Art an Individuen od. Biomasse, den diese Art zur Gesamtheit der Probe beiträgt

Für jede der S Arten wird das Produkt aus $P_i * \ln P_i$ einzeln berechnet und dann aufsummiert

Berechnung - "Maximal-Beispiel"

Art	Ertragsanteil	A: Pi (% /Gesamt %)	B: ln Pi	A*B
Carex nigra (Braune Segge)	1	0,01	-4,61	-0,05
Anthoxanthum odoratum (Gewöhnliches Ruchgras)	8	0,08	-2,53	-0,20
Cynosurus cristatus (Weide-Kammgras)	1	0,01	-4,61	-0,05
Festuca pratensis (Wiesen-Schwingel)	5	0,05	-3,00	-0,15
Festuca rubra (Rotschwingel)	8	0,08	-2,53	-0,20
Holcus lanatus (Wolliges Honiggras)	8	0,08	-2,53	-0,20
Phleum pratense (Wiesen-Lieschgras)	3	0,03	-3,51	-0,11
Poa pratensis (Wiesen-Rispengras)	5	0,05	-3,00	-0,15
Poa trivialis (Gemeines Rispengras)	8	0,08	-2,53	-0,20
Cardamine pratensis var. pratensis (Wiesen-Schaumkraut)	3	0,03	-3,51	-0,11
Juncus acutiflorus (Spitzblütige Binse)	8	0,08	-2,53	-0,20
Juncus effusus (Flatter-Binse)	1	0,01	-4,61	-0,05
Lotus pedunculatus (Sumpf-Hornklee)	2	0,02	-3,91	-0,08
Trifolium pratense (Wiesen-Klee)	4	0,04	-3,22	-0,13
Trifolium repens (Weissklee)	3	0,03	-3,51	-0,11
Achillea ptarmica (Sumpf-Schafgarbe)	2	0,02	-3,91	-0,08
Bellis perennis (Gänseblümchen)	1	0,01	-4,61	-0,05
Caltha palustris (Sumpf-Dotterblume)	5	0,05	-3,00	-0,15
Taraxacum sect. Ruderalia (Wiesen-Löwenzahn Sa.)	5	0,05	-3,00	-0,15
Cerastium holosteoides (Gemeines Hornkraut)	1	0,01	-4,61	-0,05
Scorzoneroide autumnalis (Herbst-Löwenzahn)	7	0,07	-2,66	-0,19
Lychnis flos-cuculi (Kuckucks-Lichtnelke)	1	0,01	-4,61	-0,05
Plantago lanceolata (Spitz-Wegerich)	2	0,02	-3,91	-0,08
Ranunculus acris (Scharfer Hahnenfuss)	3	0,03	-3,51	-0,11
Ranunculus repens (Kriechender Hahnenfuss)	2	0,02	-3,91	-0,08
Rumex acetosa (Sauerampfer)	2	0,02	-3,91	-0,08
Rumex crispus (Krauser Ampfer)	1	0,01	-4,61	-0,05
	100			3,06

Juni 2020

Shannon-Wiener-Index

14

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=-FsRYC5QwKA>

Grenzen bzw. Fehlerquellen:

- Bei der Berechnung beeinflusst die **Artenzahl maßgeblich das Ergebnis** (geringe Artenzahlen sind anfälliger für Ausreißer als hohe Artenzahlen (trotz Ungleichverteilung erreicht eine artenreiche Wiese z.B. viel höhere Werte als eine artenarme Wiese))
- *Shannon-Index lässt nicht erkennen, ob:*
 - Hohe Artenzahl mit „ungleicher“ Individuenzahl oder
 - Geringe Artenzahl mit gleichmäßiger Verteilung (der Individuenzahl oder Deckung)

1. hohe Artenzahl mit „ungleicher“ Individuenzahl oder

Art	Individuenzahl	A: Pi (% /Gesamt %)	B: ln Pi	A*B
1 <i>Juncus articulatus</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
2 <i>Juncus inflexus</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
3 <i>Juncus effusus</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
4 <i>Festuca rubra</i>	2	0,02	-3,74	-0,09
5 <i>Bromus racemosus</i>	5	0,06	-2,82	-0,17
6 <i>Carex nigra</i>	5	0,06	-2,82	-0,17
7 <i>Phalaris arundinacea</i>	2	0,02	-3,74	-0,09
8 <i>Anthoxanthum odor</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
9 <i>Deschampsia cespitos</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
10 <i>Poa trivialis</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
11 <i>Holcus lanatus</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
12 <i>Caltha palustris</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
13 <i>Plantago lanceolata</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
14 <i>Taraxacum sect. Rude</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
15 <i>Cardamine pratensis</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
16 <i>Rumex acetosa</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
17 <i>Filipendula ulmaria</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
18 <i>Lotus pedunculatus</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
19 <i>Ranunculus repens</i>	1	0,01	-4,43	-0,05
20 <i>Cirsium palustre</i>	5	0,06	-2,82	-0,17
21 <i>Lythrum salicaria</i>	50	0,60	-0,52	-0,31
	84			1,78

2. geringe Artenzahl aber gleichmäßige Verteilung

Art	Individuenzahl	A: Pi (% /Gesamt %)	B: ln Pi	A*B
1 <i>Phragmites australis</i>	5	0,17	-1,79	-0,30
2 <i>Cynosurus cristatus</i>	5	0,17	-1,79	-0,30
3 <i>Carex hirta</i>	5	0,17	-1,79	-0,30
4 <i>Elymus repens</i>	5	0,17	-1,79	-0,30
5 <i>Cirsium arvense</i>	5	0,17	-1,79	-0,30
6 <i>Urtica dioica</i>	5	0,17	-1,79	-0,30
	30			1,79

Artenzahl: 6 → niedrig
Verteilung: sehr ausgeglichen („ideal“)
Alpha-Diversität nach Shannon-Index= 1,79

Artenzahl: 21 → recht hoch
Verteilung: sehr ungleich
Alpha-Diversität nach Shannon-Index= 1,78

Berechnung der
Evenness
notwendig!

Evenness: Maß für die **Gleichverteilung der Individuen einer Stichprobe** auf die Arten (Äquität) → ein Strukturparameter zum Vergleich verschiedener Lebensgemeinschaften

- Da bei einem Vergleich verschiedener Ökosysteme der Diversitätsindex allein nicht erkennen lässt, ob sein Wert aufgrund einer hohen Artenzahl mit jeweils unterschiedlicher Individuenzahl oder durch gleichmäßige Verteilung der Individuen auf wenige Arten entstanden ist, benutzt man als **Vergleichsmaß die berechnete Evenness**. (Quelle: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/evenness/23139>)

Berechnung:

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} \quad H_{\max} = \ln S \quad (S \dots \text{Artenzahl, } H' \dots \text{Errechnete Shannon-Index})$$

(**Man setzt dabei** den tatsächlichen Diversitätswert H' in Relation zu dem maximal möglichen Diversitätswert $H_{\max}$, der sich bei gleicher Artenzahl, aber unter größtmöglicher Gleichverteilung der Individuen auf die bestehenden Arten ergeben würde)

Evenness = 1 → völlige Gleichverteilung der Arten

Je näher gegen 0 gehend, desto weniger gleich verteilt

Evenness am Bsp. Schilfbestand

Art (Artenzahl = 6)	% Deckung	P_i (=%/Gesamt%)	$\ln(P_i)$	$P_i * \ln P_i$	$H_{\max} (\ln S)$	$E = \frac{H'}{H_{\max}}$
<i>Phragmites australis</i>	60	0,6	-0,51	-0,31		
<i>Cynosurus cristatus</i>	2	0,02	-3,91	-0,08		
<i>Carex hirta</i>	1	0,01	-4,61	-0,05		
<i>Elymus repens</i>	1	0,01	-4,61	-0,05		
<i>Cirsium arvense</i>	15	0,15	-1,9	-0,28		
<i>Urtica dioica</i>	21	0,21	-1,56	-0,33		
	100	1		-1,09	1,79	0,61

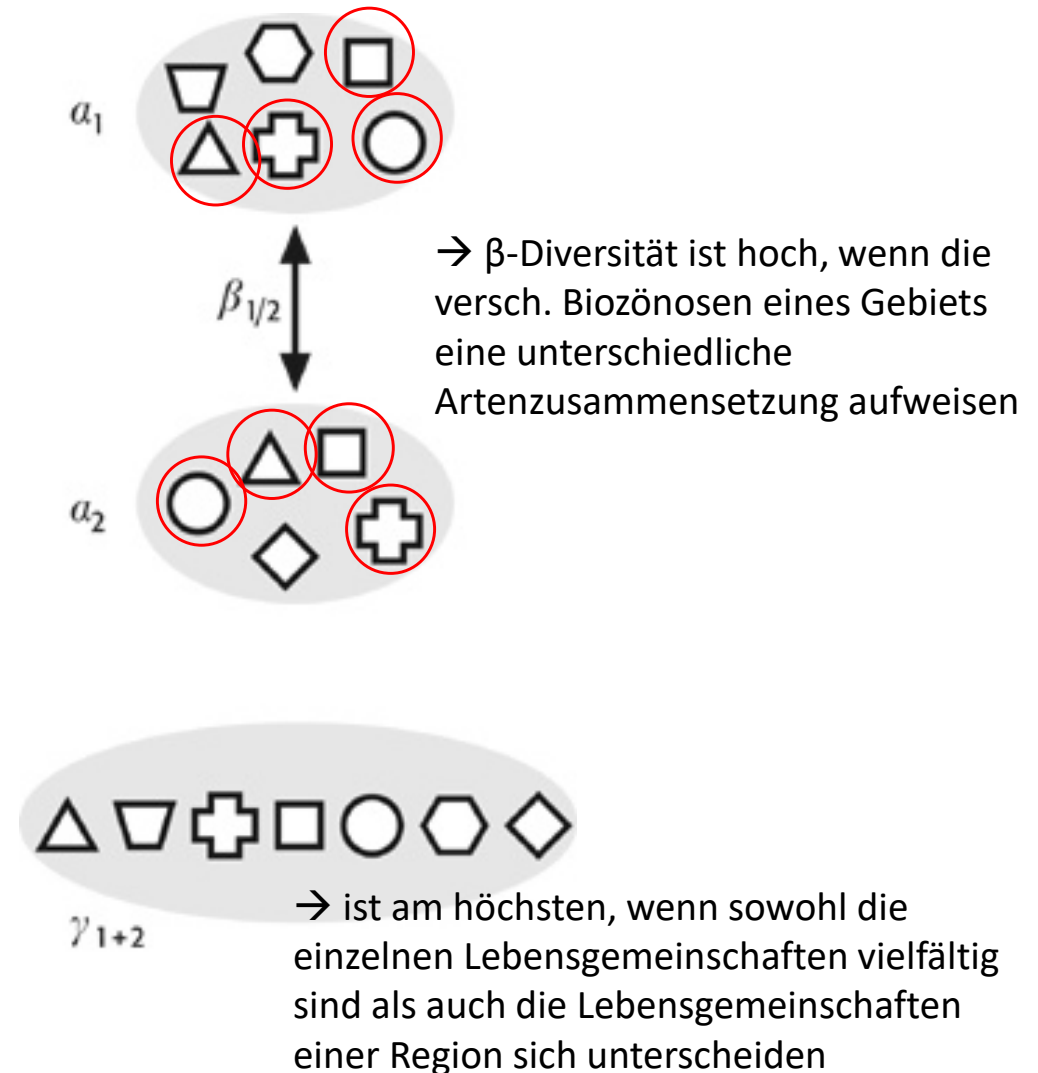
Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=Cek-rPaeKIs>

Neben dem Shannon-Index wird auch noch häufig der Simpson-Index für die Beschreibung der Diversität (Artenreichtum und relative Häufigkeit der Arten) genutzt:

- Simpson-Index drückt die **Wahrscheinlichkeit** aus, dass **zwei aus allen Individuen einer Aufnahme zufällig ausgewählte Individuen nicht der gleichen Art** angehören
- In Vegetationsaufnahmen werden in der Regel keine Individuen gezählt, sondern Flächenanteile („Deckung“) der einzelnen Arten geschätzt. Es geht nun also um die Wahrscheinlichkeit, an zwei zufällig gewählten Punkten innerhalb einer Aufnahmeﬂäche nicht die gleiche Art anzutreffen.

➤ Weitere Kennzahlen der Diversität: α -, β - und γ -Diversität (nach Whittaker 1972)

- **α -Diversität:** Artenvielfalt innerhalb einer Lebensgemeinschaft (auf lokaler Ebene) – eine diskrete Artenzahl (oder z.B. auch mittels Shannon- oder Simpson-Index)
- **β -Diversität:** beschreibt die *Unterschiede der Artenvielfalt zwischen den Lebensgemeinschaften einer Region* – wird dimensionslos über **(Un) Ähnlichkeitswerte** ausgedrückt (auch ein Vergleich von Daten derselben Fläche, aber versch. Zeitpunkte möglich!)
- **γ -Diversität:** *Vielfalt in größerem regionalen Maßstab* – in größeren Ansammlungen von Lebensgemeinschaften
→ **kombiniert die α - und β -Diversität** – eine diskrete Artenzahl der gesamten Region



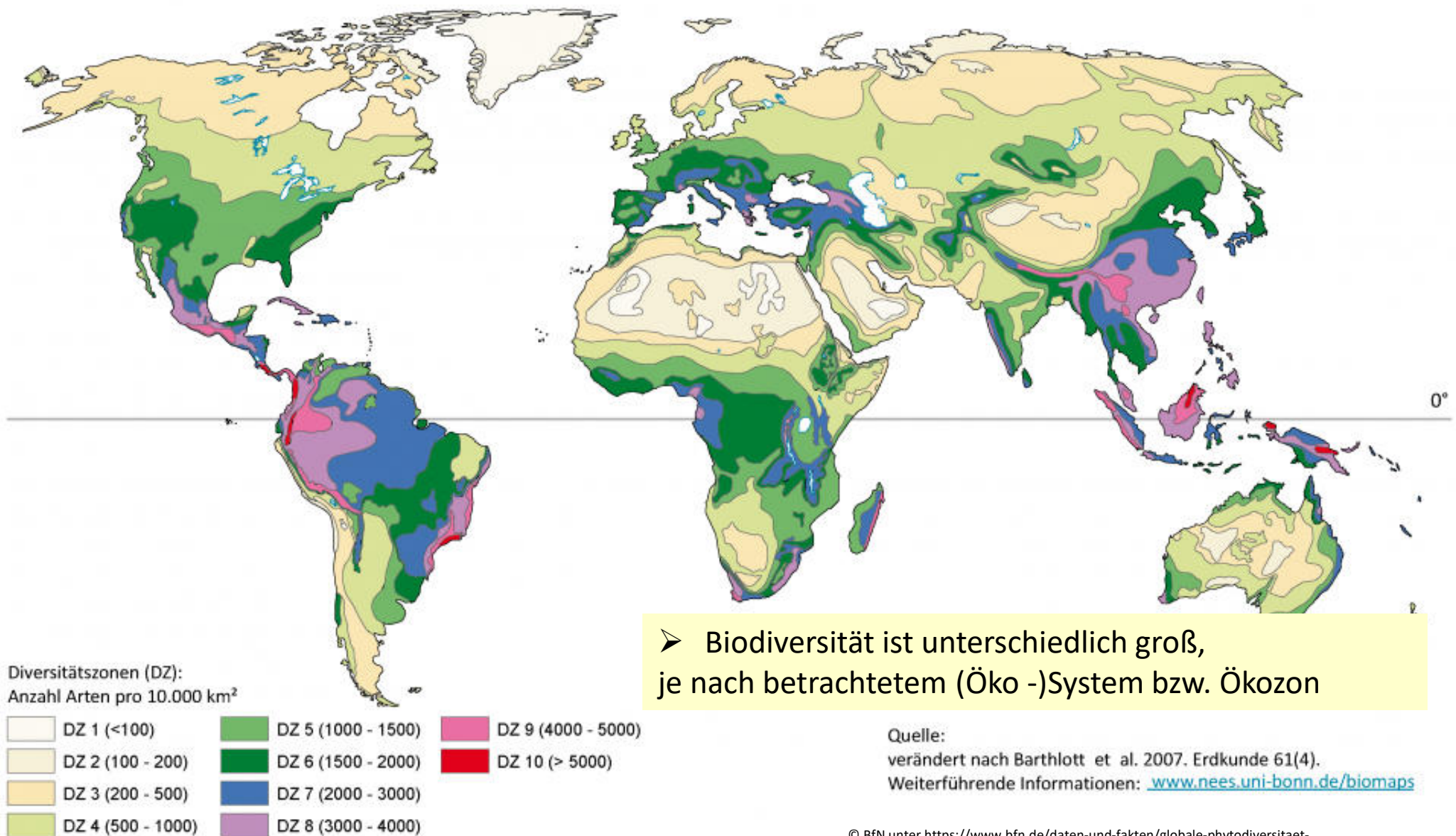
- ✓ Artenvielfalt wird so auf unterschiedlichen Maßstabsebenen betrachtet und Umweltgradienten innerhalb der gesamten Region fließen in die Betrachtung mit ein!
- ✓ **α -, β - und γ -Diversitätswerte können auch für Biozönosen und Typen von Ökosysteme errechnet werden (nicht nur für Artenzahlen!)**

Grundsätzliches zu Diversitätserhebungen:

- **Aufnahmen nur eine Momentaufnahme** zu einem bestimmten Zeitpunkt - einige Wochen oder ein Jahr später könnten die Artenliste und/oder Häufigkeitswerte etwas anders aussehen!, z.B. weil ein Jahr durch eine Störung kleinflächig offener Boden mit entsprechenden Pflanzen vorhanden ist, nächstes Jahr nicht mehr, oder die Biomasse und auch die Schätzwerte für die Deckungen der einzelnen Arten innerhalb der Vegetationsperiode in einer Wiese variieren können
→ mehrere Durchgänge empfehlenswert!
- **Schätzungen** von Häufigkeiten sind auch abhängig von den erhebenden Personen
- *Fall: Seltene Arten* wurden in der Erhebungsfläche nicht erfasst, sind aber im Gesamtbestand vertreten → **Wahl der Erhebungsfläche:** subjektiv vs. objektiv (Zufall/Koordinaten) – von der Fragestellung abhängig

Warum unterscheiden sich Lebensgemeinschaften/Ökosysteme in ihren Artenzahlen?

Globale Phytodiversität (Pflanzenvielfalt): Artenzahlen von Gefäßpflanzen



© BfN unter <https://www.bfn.de/daten-und-fakten/globale-phytodiversitaet-pflanzenvielfalt-artenzahlen-von-gefaesspflanzen>

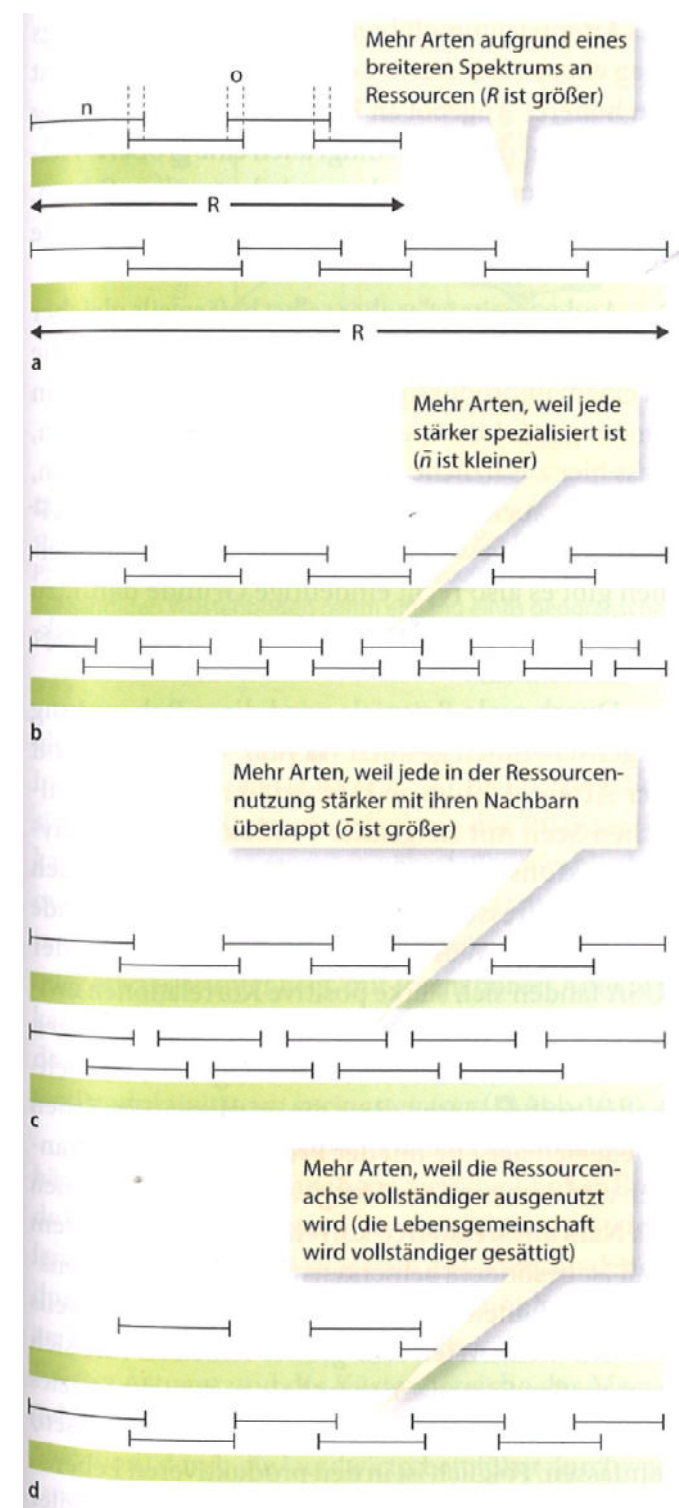
Warum unterscheiden sich Lebensgemeinschaften in ihren Artenzahlen?

Einfaches Modell zur Erklärung des Artenreichtums in verschiedenen Lebensgemeinschaften mit Hilfe Nischenkonzepts:

- R ...die der Lebensgemeinschaft zur Verfügung stehenden Ressourcen
- jede Art nutzt nur einen Teil des Ressourcenkontinuums = Nischenbreite n

$\bar{n}$ = durchschn. Nischenbreite

$\bar{O}$ = durchschn. Nischenüberlappung



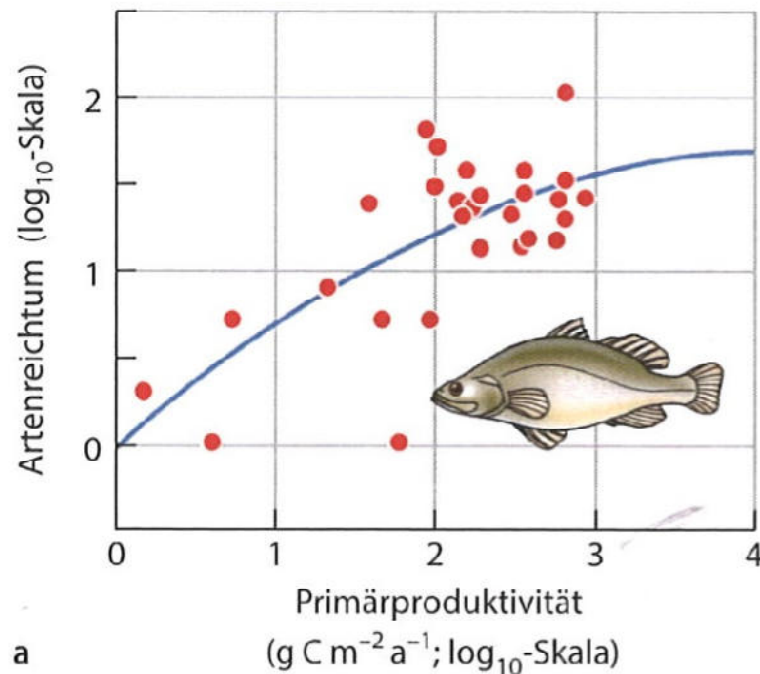
© Begon, Howarth, Townsend (2014), Ökologie, 3. Auflage

Räumlich variierende Faktoren, die den Artenreichtum beeinflussen:

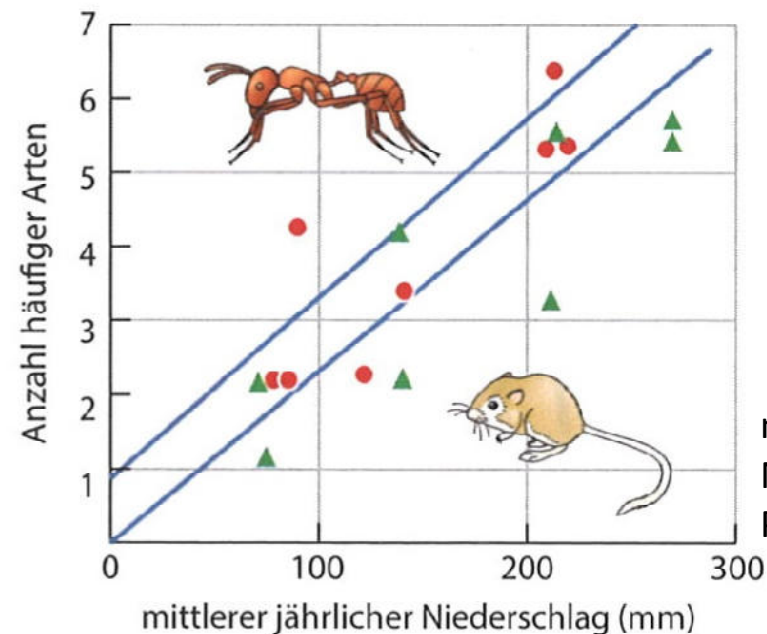
- Produktivität
- Verfügbare Energie im System
- Prädation und Konkurrenz
- Räumliche Heterogenität

- **Produktivitätshypothese:** → Besagt, dass **Artenreichtum mit der Produktivität von Ökosystemen zunimmt und** unterstreicht die Bedeutung **des Klimas für die Produktivität auf der untersten trophischen Ebene** (Pflanzen, Mikroorganismen) – welche dann in Folge für die Herbivoren und Carnivoren auf höheren Ebenen als Ressourcen zur Verfügung stehen

– diese Hypothese wird durch einige reale Bsp. gestützt:



a Artenreichtum der Fische in nordamerikanischen Seen



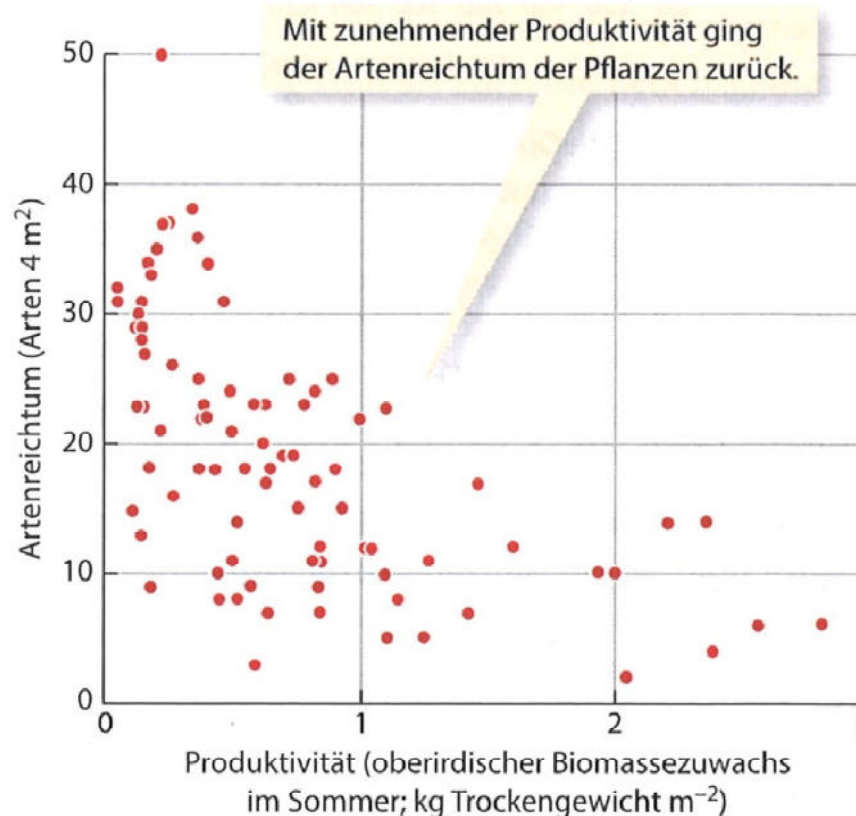
b Artenreichtum von Nagetieren und Ameisen in Wüstengebieten im SW der USA

mit steigenden Nd nimmt die Produktivität zu!

Gründe hierfür: höhere Produktivität → **breiteres Spektrum an Ressourcen oder stärkere Einnischung** (z.B. stärker spezialisierte Arten kommen hinzu)

...aber das ist keineswegs die Regel...häufig auch das Gegenteil der Fall...

Zusammenhang zw. Artenreichtum und Produktivität in Pflanzengesellschaften von kalkreichen Niedermooren (England, Wales):

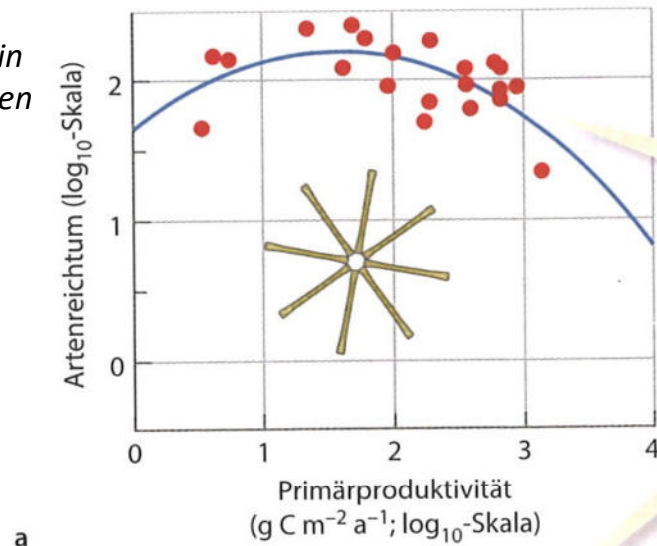


© Begon, Howarth, Townsend (2014). Ökologie. 3. Auflage

....oder **starke Eutrophierung durch Landwirtschaft** führt zu Rückgängen des Artenreichtums - trotz Zunahme der Produktivität (z.B. bei Phytoplankton, Grünland) – mögliche Erklärung: hohe Produktivität führt zu hohen Populationswachstumsraten und damit zum Aussterben einiger Arten aufgrund von *Konkurrenzausschluss* → **Paradoxon der Anreicherung** (Rosenzweig 1971)

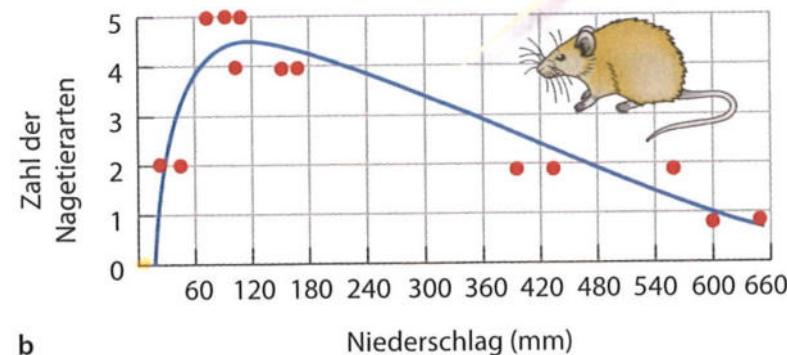
...andere Studien zeigten wiederum, dass der Artenreichtum bei mittlerer Produktivität am höchsten war: → Optimumskurven

Phytoplankton in nordamerik. Seen

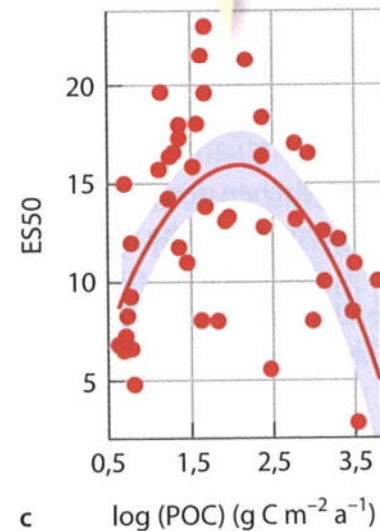


Bei mittleren Produktivitätsniveaus war der Artenreichtum am höchsten.

Nager in israelischen Wüsten



Schnecken und Muscheln in Tiefseegemeinschaften

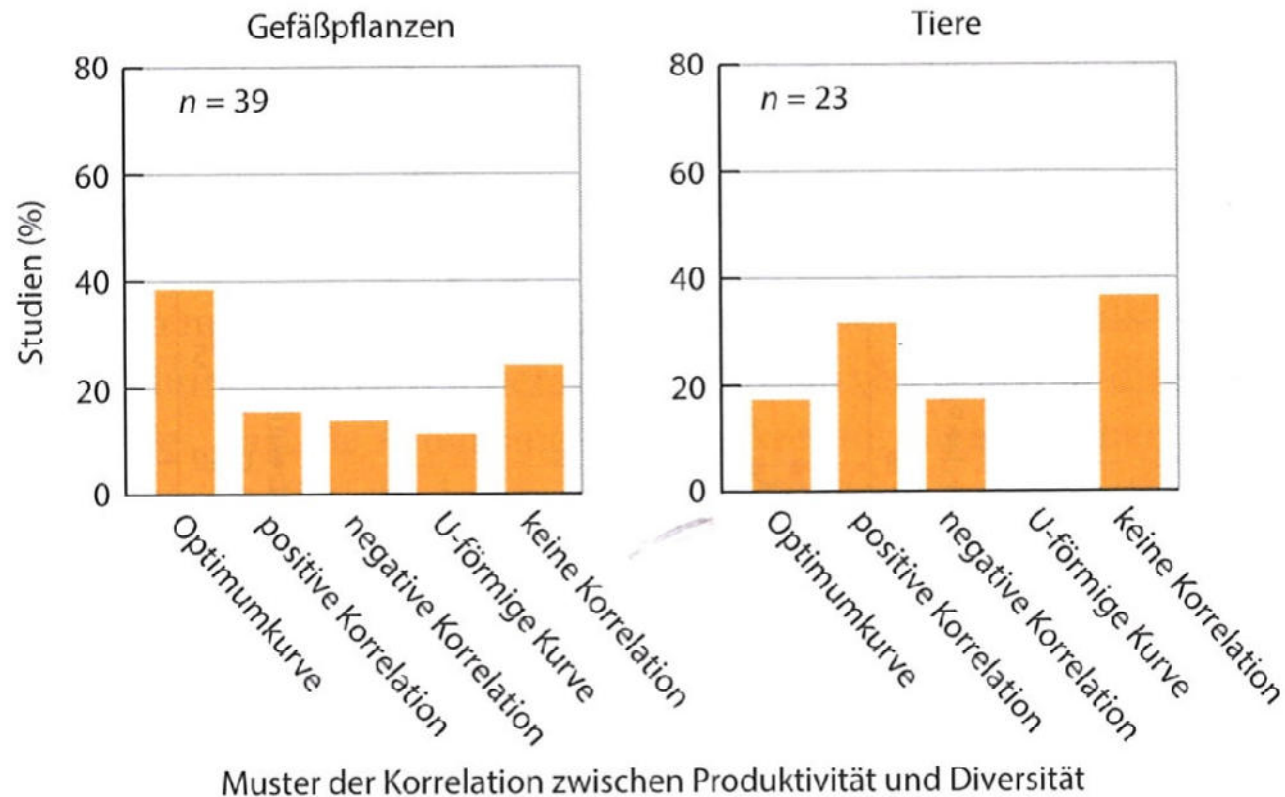


ES50 – erwartete Artenzahl von Tiefseeschnecken, genormt auf eine Probengr. von 50 Individuen

POC = partikulärer organischer Kohlenstoff – abgestorbenes & abgesunkenes organisches Material der Meeresoberfläche

Erklärung: bei niedriger Produktivität geht Artenzahl aufgrund von *Ressourcenverknappung* zurück, auf hohem Produktivitätsniveau aufgrund von *Konkurrenzausschluss* ebenso

- **Metaanalysen** verschiedener Studien zeigen, dass es ein breites Spektrum an möglichen Zusammenhängen zwischen Produktivität und Artenreichtum gibt:



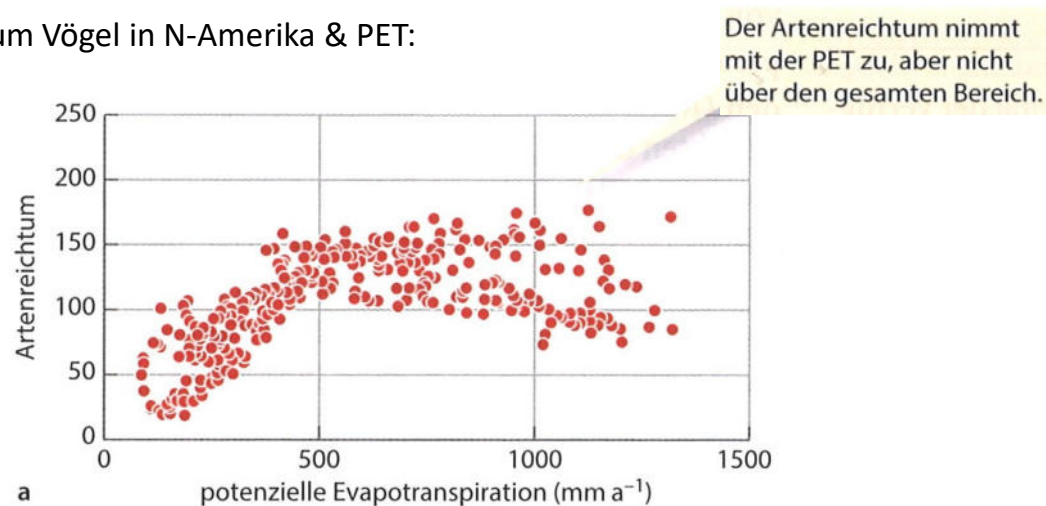
© Begon, Howarth, Townsend (2014), Ökologie, 3. Auflage

Unterschiede können z.T. auch darin begründet sein, dass nur ein **Teil des Produktivitätsspektrums** bei der Probenentnahme abgedeckt wurde - Art der Beziehung ist auch vom **räumlichen Betrachtungsmaßstab abhängig** → daher werden von Ökolog*innen häufig die Kennzahlen der **α -, β - und γ -Diversität** (nach Whittaker 1972) errechnet

- Verfügbare Energie im System als Einflussfaktor auf Artenvielfalt

- ✓ es gibt Bsp. dafür, dass Artenreichtum bestimmter Gruppen **positiv mit Indikatoren verfügbarer Energie korreliert** sind
z.B. gemessen über die *jährliche Evapotranspiration PET* (Wassermenge, die von einer gesättigten Oberfläche verdunstet) = Maß für die **atmosphärische Energie**

Korrelation Artenreichtum Vögel in N-Amerika & PET:



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

- Allerdings bei der Interpretation zu beachten, dass die **Energie eine treibende Kraft für die Produktivität in einem System** ist → Korrelation und Kausalität nicht verwechseln! – weiters spielen hier natürlich noch andere Faktoren wie z.B. Niederschläge eine Rolle
- Analysen zeigen aber auch, dass für allem für das Verständnis von Mustern der Artenvielfalt **im globalen Maßstab** die **verfügbare Energie** (über die Produktivität hinaus) eine **bedeutende Rolle** spielt

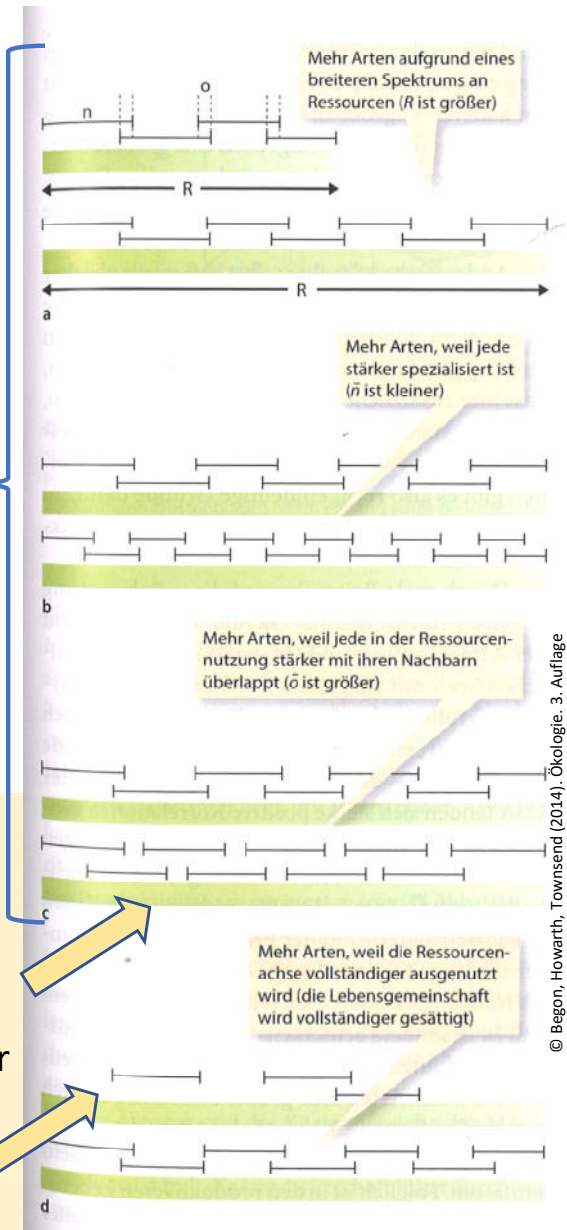
- Konkurrenz und Prädation können den Artenreichtum beeinflussen...

- Bei Dominanz von **interspezifischer Konkurrenz** in einer Lebensgemeinschaft werden **Ressourcen vollständig ausgeschöpft** – **Artenreichtum** ist dann abhängig vom...

- Spektrum der verfügbaren Ressourcen
- Ausmaß der Spezialisierungen
- Inwieweit eine Überlappung der Nischen zugelassen wird

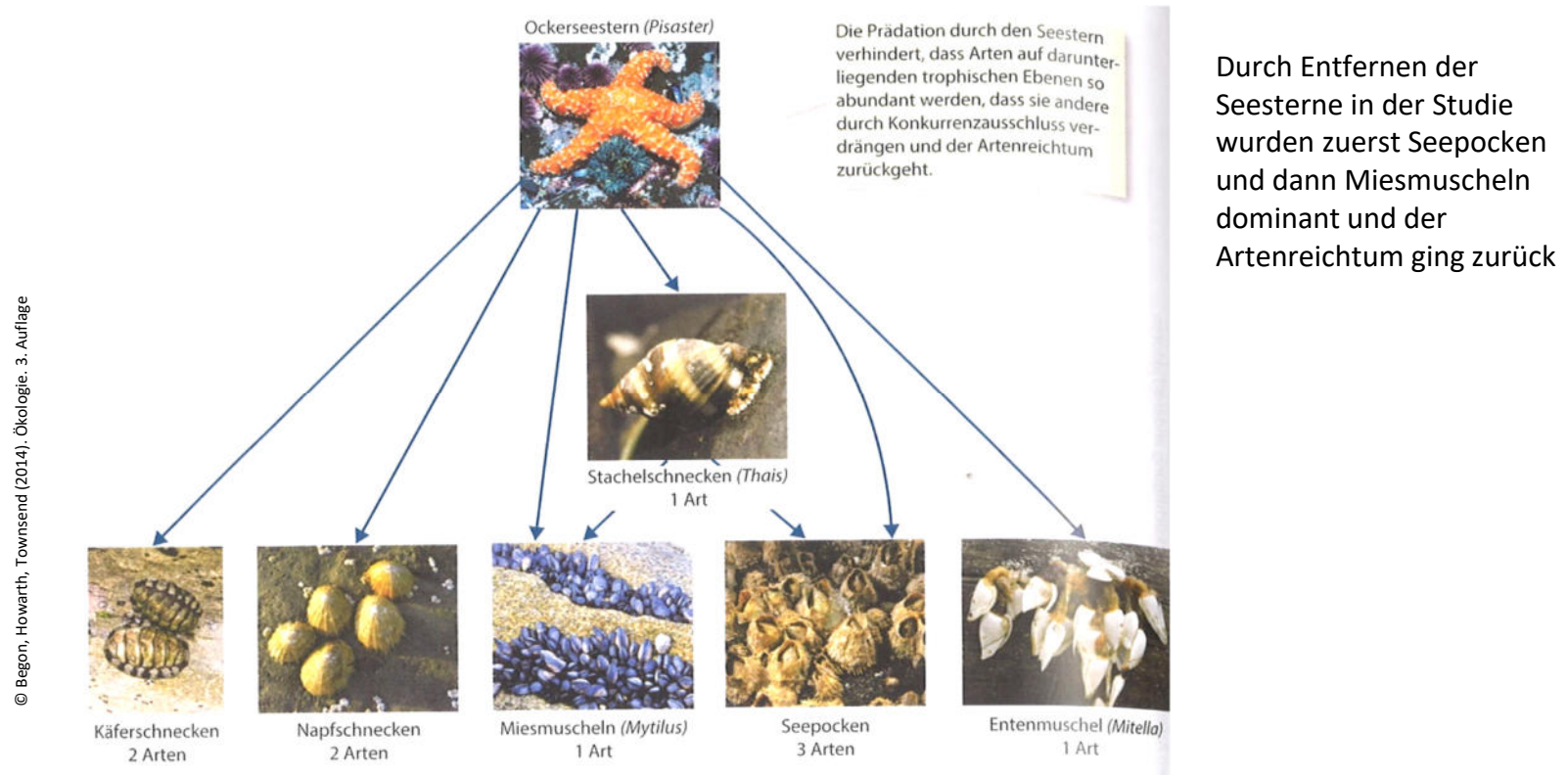
- **Prädation** kann **gegensätzliche Effekte** erzeugen...

- ...kann dafür sorgen, dass Arten unterhalb ihrer Umweltkapazität K bleiben u. interspezifische Konkurrenz um Ressourcen vermindert wird – dies kann zu einer stärkeren Nischenüberlappung und **Artenreichtum** führen
- ...kann bestimmte Beutearten ausschließen → Lebensgem. dann ev. nicht gesättigt (**Artenreichtum verhindert**)



In der Praxis:

- Prädation kann auch zu einer Zunahme des Artenreichtums führen, indem sie es ansonsten konkurrenzschwächeren Arten ermöglicht, mit überlegenen Konkurrenten zu coexistieren (= **prädatorenvermittelte Coexistenz**), z.B. Studie von Paine 1966:

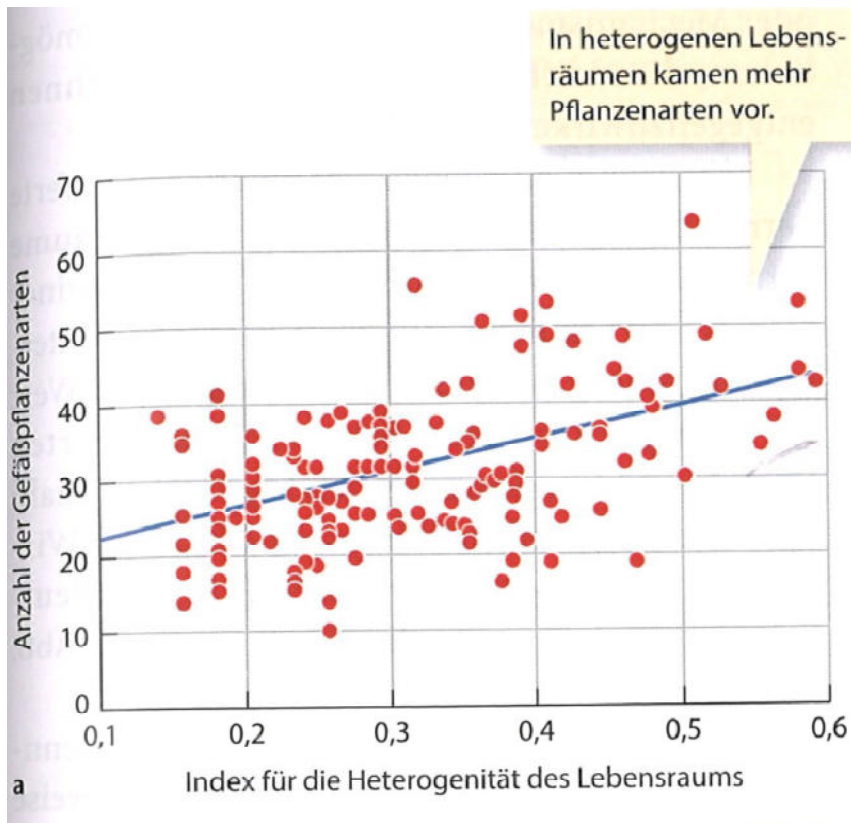


- Starke Prädation kann auch einen **Rückgang der Artenvielfalt** bedeuten (Auslöschung von Arten)
- Beziehung zw. Intensität der Prädation und Artenvielfalt häufig eine **Optimumskurve – größte Artenvielfalt bei mittlerer Prädationsintensität**

- **Räumliche Heterogenität und Artenreichtum..**

- eine größere Vielfalt an Mikrohabitaten, Mikroklimaten, Versteckmöglichkeiten vor Räubern,.. in heterogenen Lebensräumen → häufig erhöhte Artenvielfalt (z.B. in Korallenriffen, Flussufern)

Versuchsflächen auf Flussufern in Kanada:



© https://www.landeszeitung.at/php/tirol_schaut_auf_seine_flsse_und_bche_10985,9740.html

Zeitlich variierende Faktoren, die den Artenreichtum beeinflussen

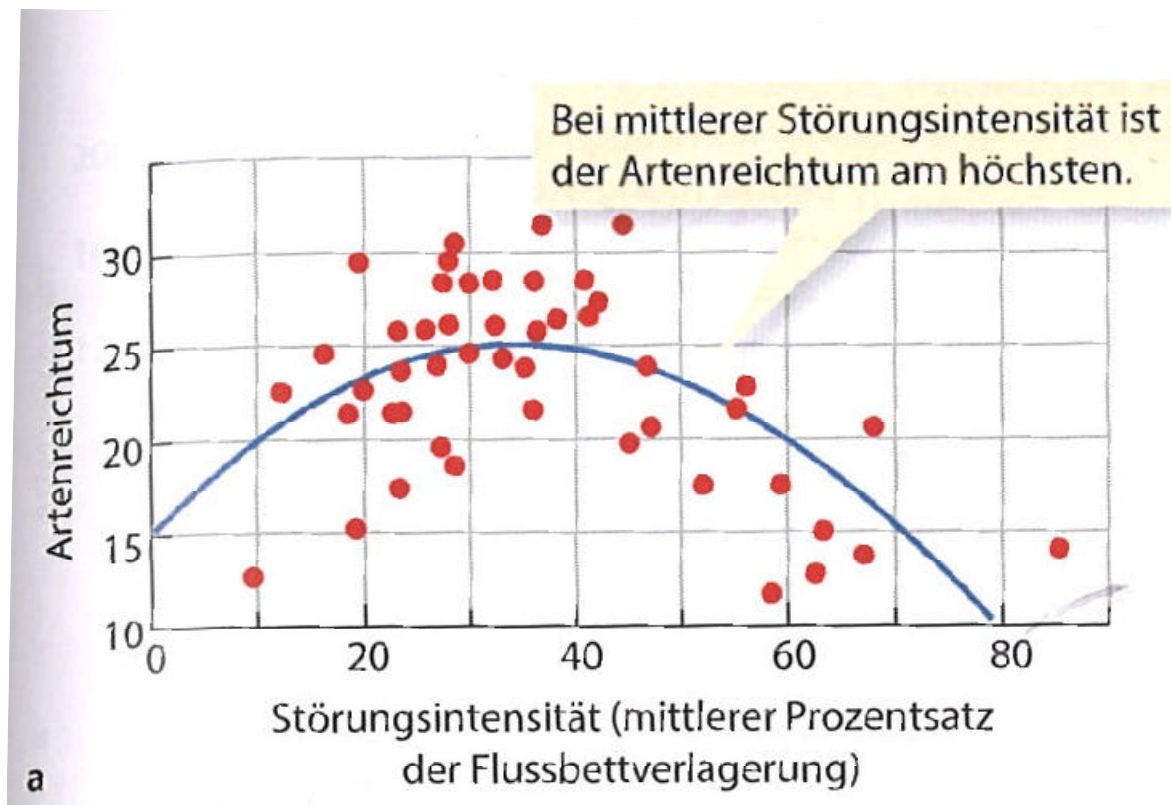
Zeitliche Variationen von Umweltfaktoren und Ressourcen können vorhersagbar oder auch unvorhersehbar sein → für die Lebensgemeinschaften und die Zusammensetzung **wesentlicher Unterschied**

- a) **Jahreszeitliche klimatische Veränderungen - Auftreten oder Ausbleiben:** Vorsehbarkeit → Anpasstheit der Lebewesen, häufig wird der Stoffwechsel nach dem jahreszeitl. Zyklus ausgerichtet
- **Artenvielfalt durch Nischendifferenzierung:**
- in **saisonalen Lebensräumen** durch wechselnde Umweltbedingungen → **Coexistenz** von Arten (z.B. untersch. Blühzeitpunkte annueller Pflanzen in gemäßigten Breiten)
 - in **nicht jahreszeitlich geprägten Lebensräumen** → häufig **Spezialisierungen** (z.B. reine Fruchtfresser in Tropen)
- Grundsätzlich **keine nachgewiesene Beziehung** zwischen klimatischer Konstanz als solcher und Artenreichtum! (oftmals verändern sich mit den Breitengraden auch andere Umweltfaktoren – Untersuchungen stützen aber eher die Hypothese, dass der Artenreichtum mit abnehmenden klimatischen Schwankungen ansteigt)

b) Störungen: unvorhersehbare Veränderungen des Habitats → wirken sich auf die Zusammensetzung einer Lebensgemeinschaft aus

Hypothese der mittleren Störungshäufigkeit (*intermediate disturbance hypothesis*): in Lebensgemeinschaften sind dann die meisten Arten zu erwarten, wenn die Störungshäufigkeit weder zu hoch noch zu gering ist (nach Cornell 1978)

z.B.: Untersuchungen an einem Fluss in Neuseeland (Townsend et al. 1977)



- Häufige Störungen → immer nur frühe Stadien der Sukzession mit wenigen Arten
- Seltene Störungen → dominieren die konkurrenzstärksten Arten
- Unterschiede in den konkreten Fällen liegen in der *Häufigkeit und Intensität der Störungen*, sowie in der *Größe* der dadurch entstandenen Lücken

Inselbiogeografie / Inseltheorie: Fläche und Abgeschiedenheit von Habitaten & Artenvielfalt

- erklärt die **Anzahl der Arten auf verschieden großen Inseln** aus einem **Gleichgewicht von Immigration und Aussterberate**.
- Auf **großen Inseln leben mehr Arten**, weil die Wahrscheinlichkeit, dass Immigranten ankommen, größer ist. Das Aussterberisiko liegt niedrig, da für die meisten Arten genügend Lebensraum vorhanden ist. Bei größerer Distanz einer Insel vom Festland nimmt die Artenzahl ab, weil eine Neubesiedlung unwahrscheinlicher und das Aussterberisiko größer wird. Das Konzept der Inseltheorie wurde auf die Artenzahl von "**Inseln**" im **übertragenen Sinne** angewandt, z.B. auf Naturschutzgebiete und naturnahe Inselbiotope in der Kulturlandschaft. Die Inseltheorie ist ein Argument für die Großflächigkeit von Naturreservaten und für ein Biotopverbundsystem.

(Quelle: Verändert nach <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/inselftheorie/7559>)

→ Mehr dazu im Block Stadt- und Siedlungsökosysteme

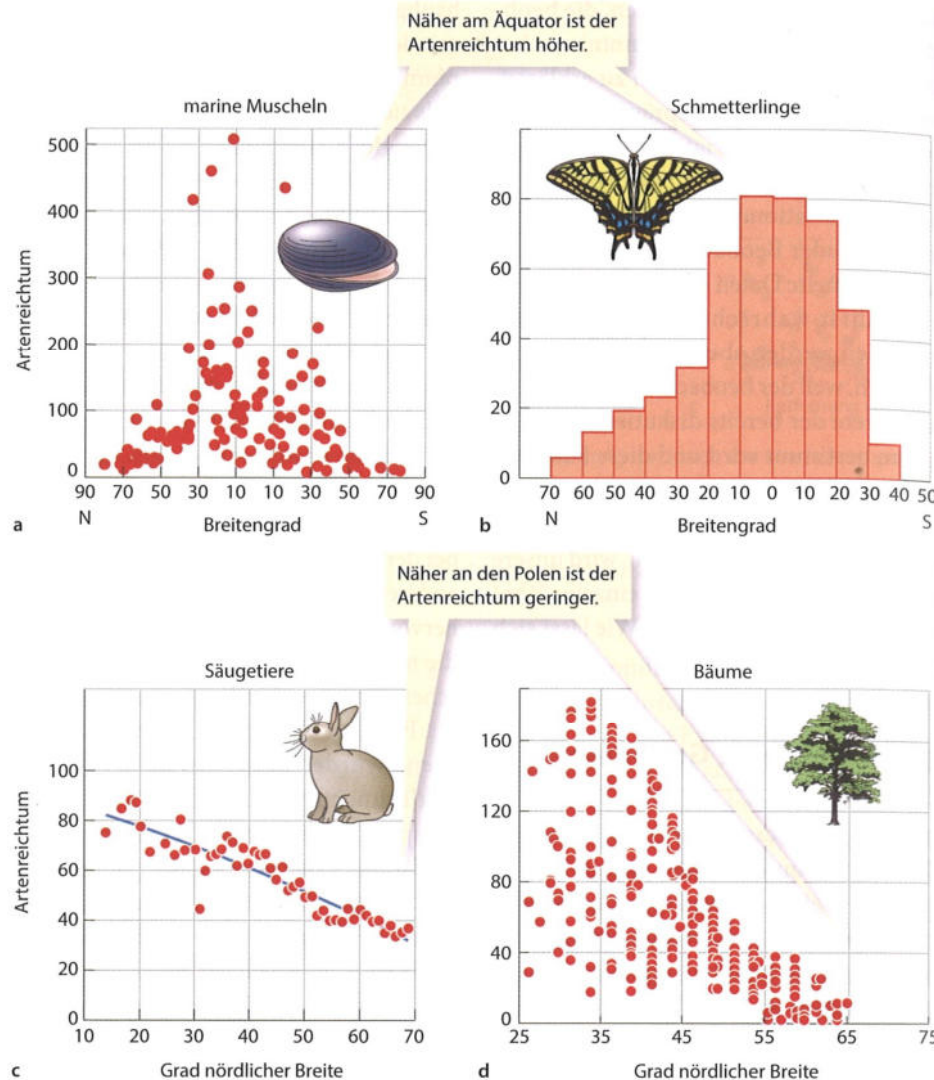
Gradienten des Artenreichtums

Mithilfe der Erkenntnisse über die **Einflüsse verschiedener Faktoren** betrachten wir nun **räumliche und zeitliche Muster in der Artenvielfalt**:

- *Breitengradabhängige Gradienten*
 - *Gradienten in Abhängigkeit von der Höhenlage*
 - *Gradienten im Verlauf der Sukzession von Lebensgemeinschaften*
- Nur **generelle Trends** erklärbar, da im Normalfall eine Vielzahl an Faktoren gemeinsam (und auch unterschiedlich) (wechsel)wirken
(+ auch Variationen der Daten bei Probennahme/Beobachtungen entstehen, z.B. durch Unschärfen & Fehler bei Erhebungen)

Breitengradabhängige Gradienten:

- **Auffälligstes Muster - Zunahme der Artenvielfalt von den Polen zu den Tropen** – dies zeigt sich bei vielen verschiedenen Organismengruppen

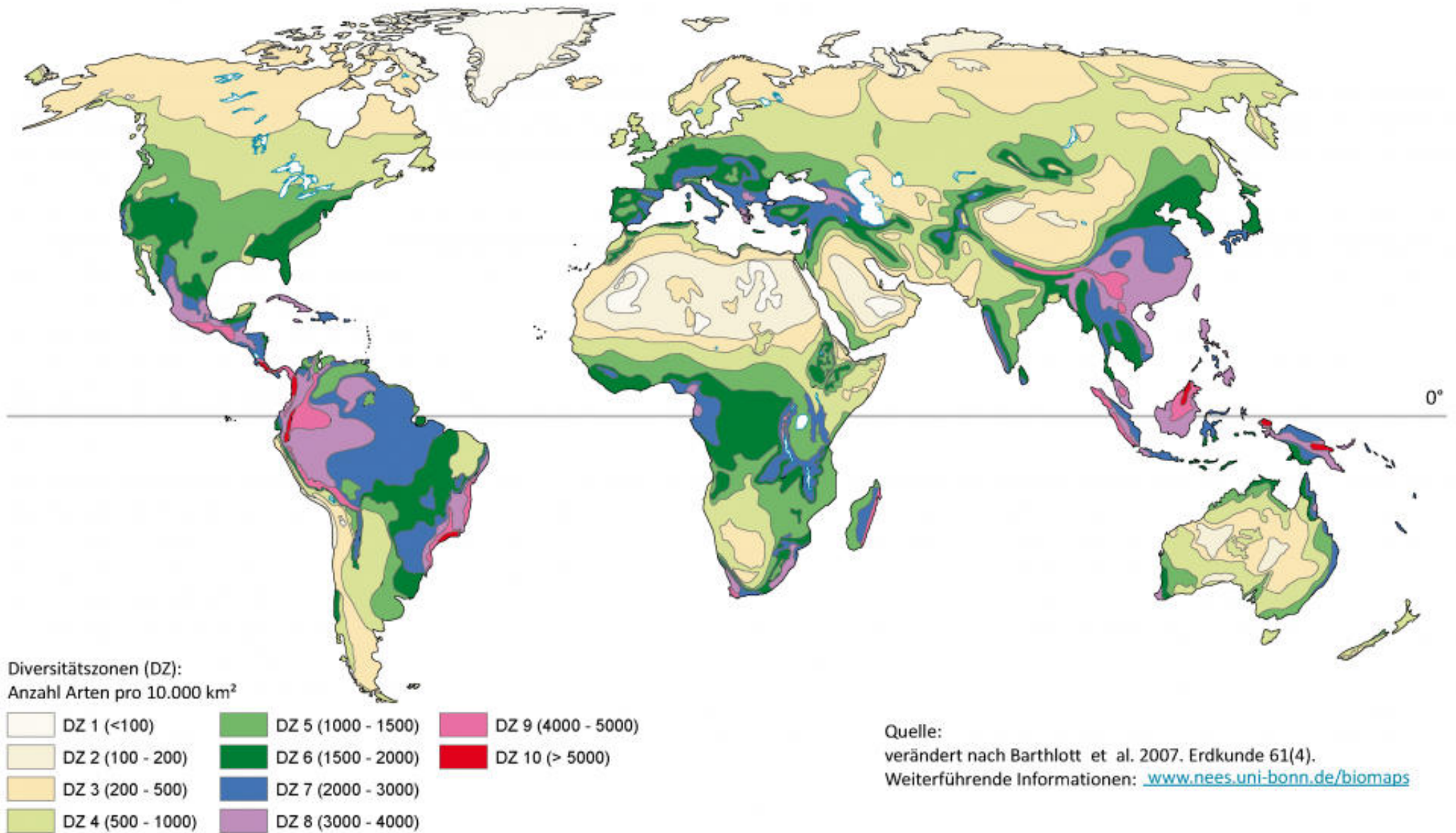


Erklärungen:

- ✓ Im Wesentlichen durch die Variationen der **Energiezufuhr** und der **Primärproduktivität** (auch Ausnahmen!)
 - ✓ **Weniger jahreszeitl. Zyklen** → stärkere Spezialisierungen
 - ✓ **Höheres entwicklungsgeschichtliches Alter** der Tropen
 - ✓ Höhere Intensität der **Prädation** & stärker spezialisierte Prädatoren (verhindert Konkurrenzausschluss! → **stärkere Überlappung der Nischen** möglich)
- Einfluss und auch Wechselwirkung der versch. Faktoren!

Abb. 10.22 Breitengradabhängige Muster des Artenreichtums: a marine Muscheln (nach Flessa und Jablonski 1995), b Schwalbenschwänze (nach Sutton und Collins 1991), c Säugetiere in Nordamerika (nach Rosenzweig und Sandlin 1997), d Bäume in Nordamerika (nach Currie und Paquin 1987). In allen Fällen nimmt der Artenreichtum von niedrigen Breitengraden (der Äquator liegt auf dem nullten Breitengrad) zu hohen Breitengraden (die Pole liegen bei 90°) ab

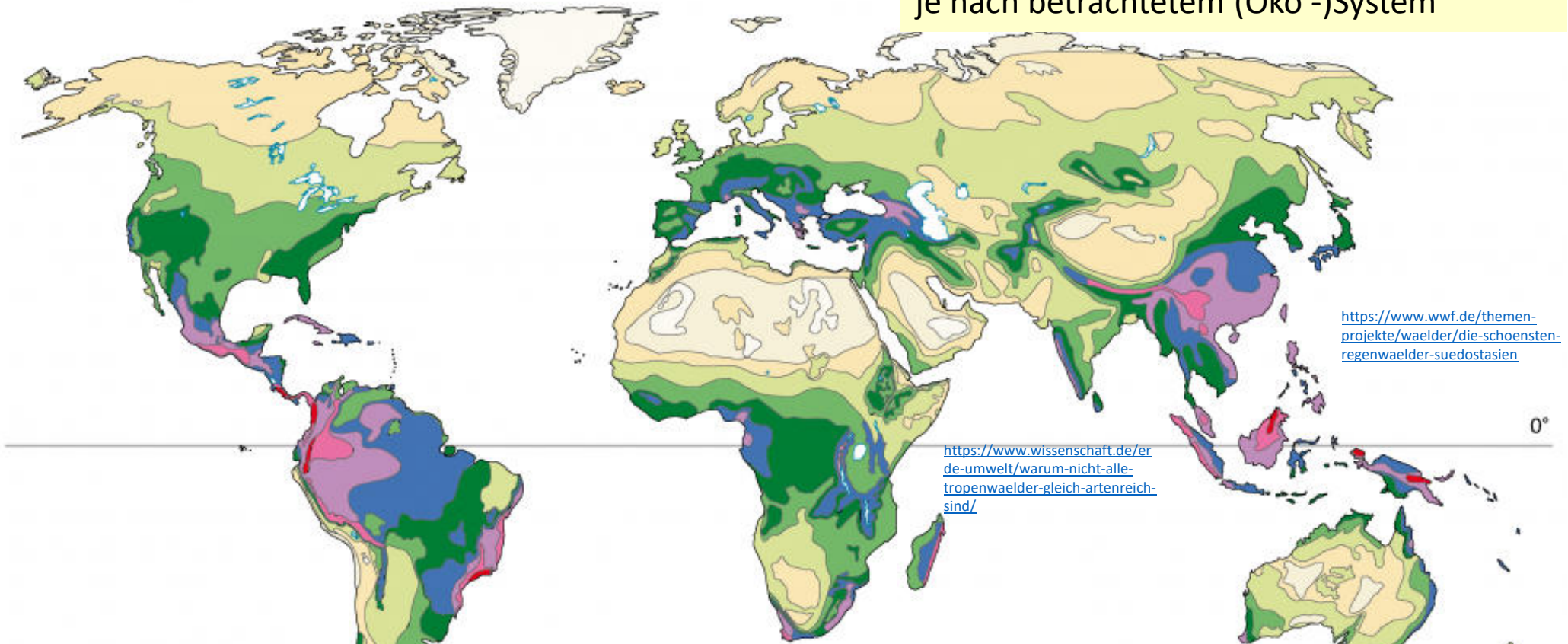
Globale Phytodiversität (Pflanzenvielfalt): Artenzahlen von Gefäßpflanzen



© BfN unter <https://www.bfn.de/daten-und-fakten/globale-phytodiversitaet-pflanzenvielfalt-artenzahlen-von-gefaesspflanzen>

Globale Phytodiversität (Pflanzenvielfalt): Artenzahlen von Gefäßpflanzen

➤ Biodiversität ist unterschiedlich groß, je nach betrachtetem (Öko -)System



5 Megadiversitätszentren auf der Welt:

- > 12.500 Arten (44 % endemisch) - Costa Rica und Chocó (Kolumbien): 78.000 km² von 0 bis 3.800m ü.d.M
- ~ 10.000 Arten (30 % endemisch) - Tropische Ost-Anden in Venezuela, Kolumbien, Ecuador, Peru: 62.000 km² von 250 bis 3.500m ü.d.M
- ~ 9.000 Arten (39 % endemisch) – Nord-Borneo: 57.000 km² von 0 bis 4.100m ü.d.M
- > 6.000 Arten (75 % endemisch) - Mata Atlantica Brasiliens: 50.000 km² von 0 bis 2.800m ü.d.M
- > 6.000 Arten (33 % endemisch) – Neuguinea: 87.000 km² in Indonesien und Papua Neuguinea von 0 bis 4.500m ü.d.M

Gradienten in Abhängigkeit von der Höhenlage:

- häufig wird eine **Abnahme der Artenvielfalt mit zunehmender Höhe** über dem Meeresspiegel beobachtet (aber auch gegenteilige Trends bzw. Optimumskurven in manchen Studien nachgewiesen!)

Mögliche Erklärungen für Beobachtungen:

- **verringerte Produktivität** in größeren Höhen aufgrund **niedrigerer Temperaturen, kürzerer Wachstumsperioden und physiologischem Stress** (Bsp. Brutvogelarten)
- Andererseits können mit größerer Höhe auch die **Niederschläge und damit die Produktivität zunehmen** - Bsp. Ameisen in Nevada (c)
- Effekte von Arealgröße & Isolation

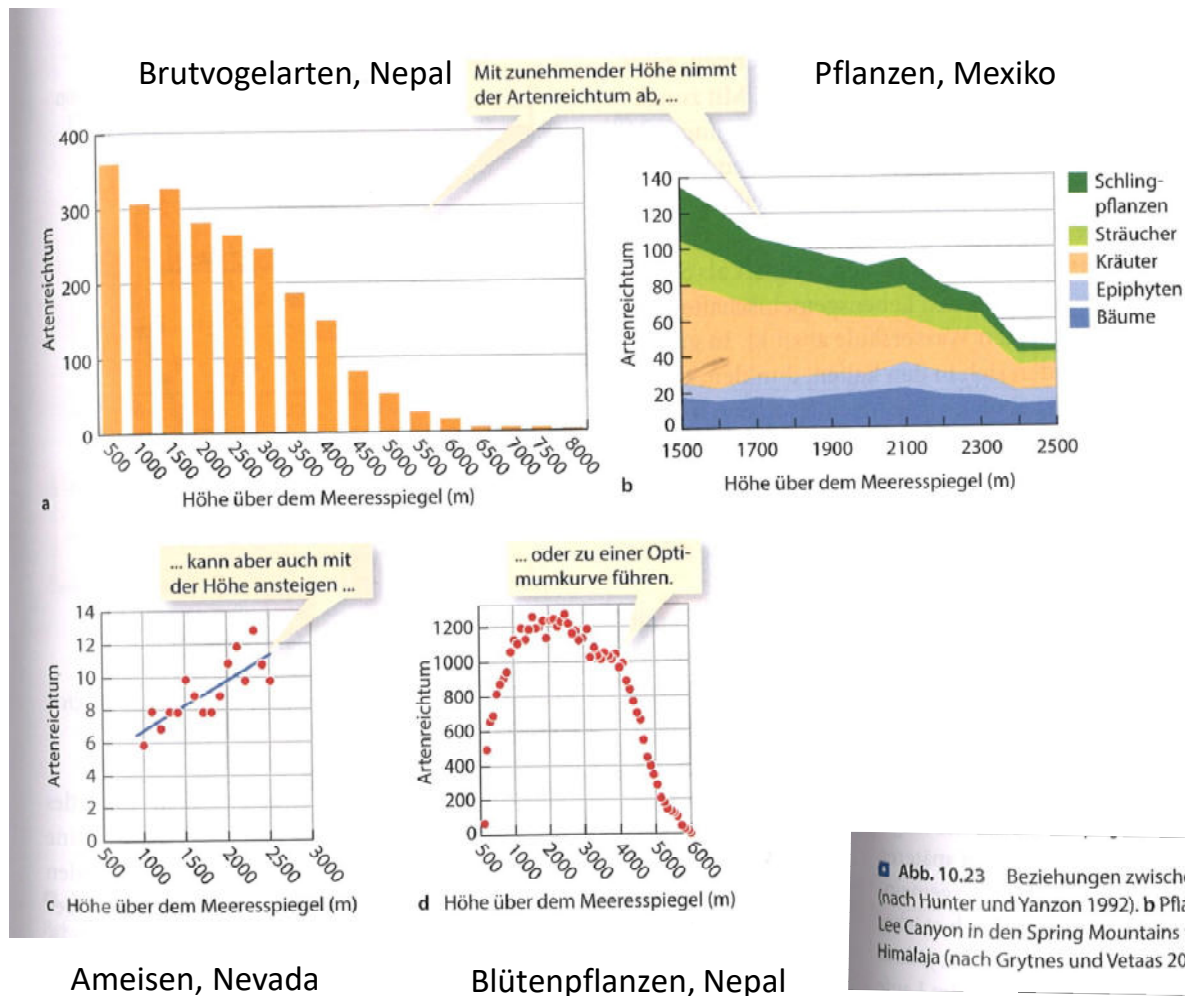
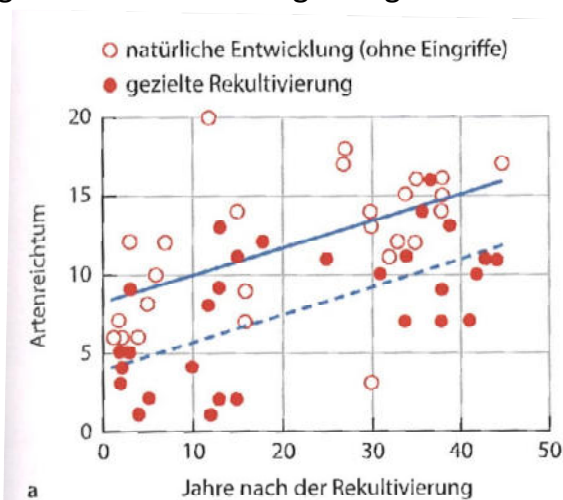


Abb. 10.23 Beziehungen zwischen Artenreichtum und Höhenlage. a Brutvogelarten im nepalesischen Teil des Himalaja (nach Hunter und Yanzon 1992). b Pflanzen in der Sierra Manantán in Mexiko (nach Vázquez und Givnish 1998). c Ameisen im Lee Canyon in den Spring Mountains von Nevada, USA (nach Sanders et al. 2003). d Blütenpflanzen im nepalesischen Teil des Himalaja (nach Grytnes und Vetaas 2002)

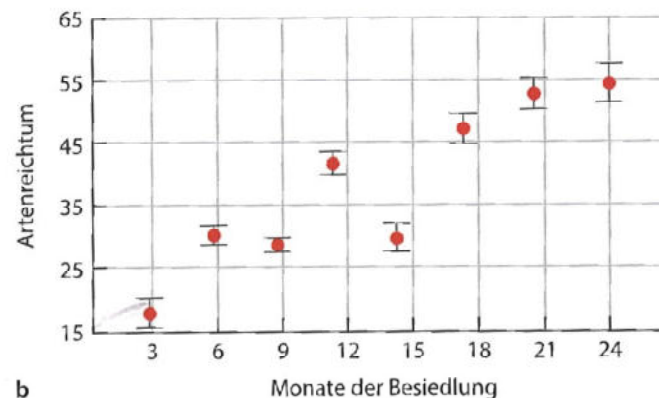
Gradienten im Verlauf der Sukzession von Lebensgemeinschaften:

- **Trend:** Bei vollständig **ablaufenden Sukzessionen** (Neubesiedelung neuer Habitate oder nach tiefgreifender Störung und Neubesiedelung) nimmt **Artenzahl** aufgrund von Besiedelung zunächst zu, und später dann aufgrund von Konkurrenzausschluss wieder ab (bei Ausbleiben der weiteren Störung!)

Vogelarten auf ehemaligen Tagebauflächen:



Marine Invertebraten auf künstlichen Habitaten:



Ameisenarten in neu angelegten Siedlungen:

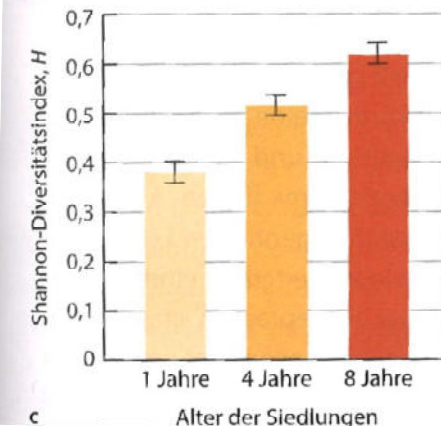
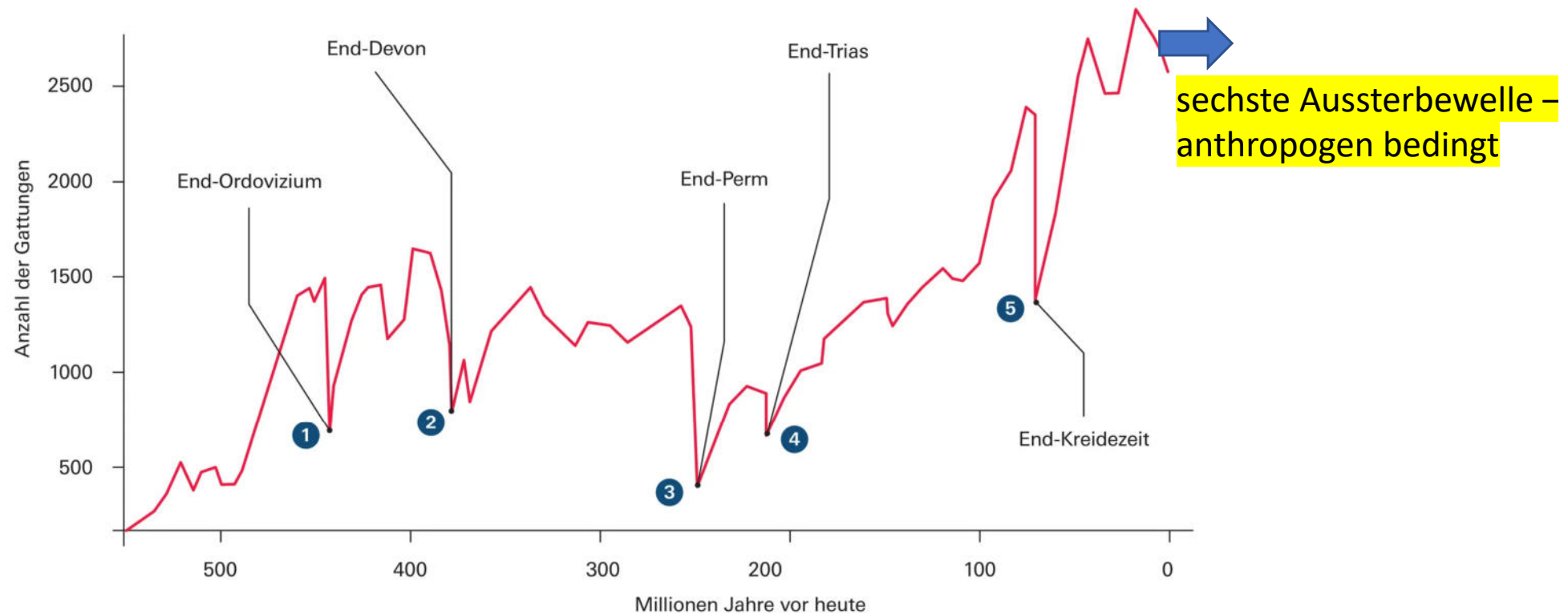


Abb. 10.25 Zunahme der Biodiversität von Tieren im Verlauf einer Sukzession. a Reichtum der Vogelarten infolge der Rekultivierung aufgegebenen Tagebauflächen in der Tschechischen Republik (nach Salekt 2012). b Artenreichtum mariner Invertebraten im Laufe der Besiedlung künstlich ausgebrachter Ziegelsteine an der Felsküste vor der Küste von Nordgriechenland. Die Balken geben Standardfehler an (nach Antoniadou et al. 2010). c Diversitätsindex nach Shannon (► Exkurs 10.1) für Ameisen in neu angelegten Siedlungen in Puerto Rico, jeweils ein, vier und acht Jahre nach dem Bau (nach Brown et al. 2012)

Gefährdungen der Biodiversität

Massenaussterben in der Erdgeschichte



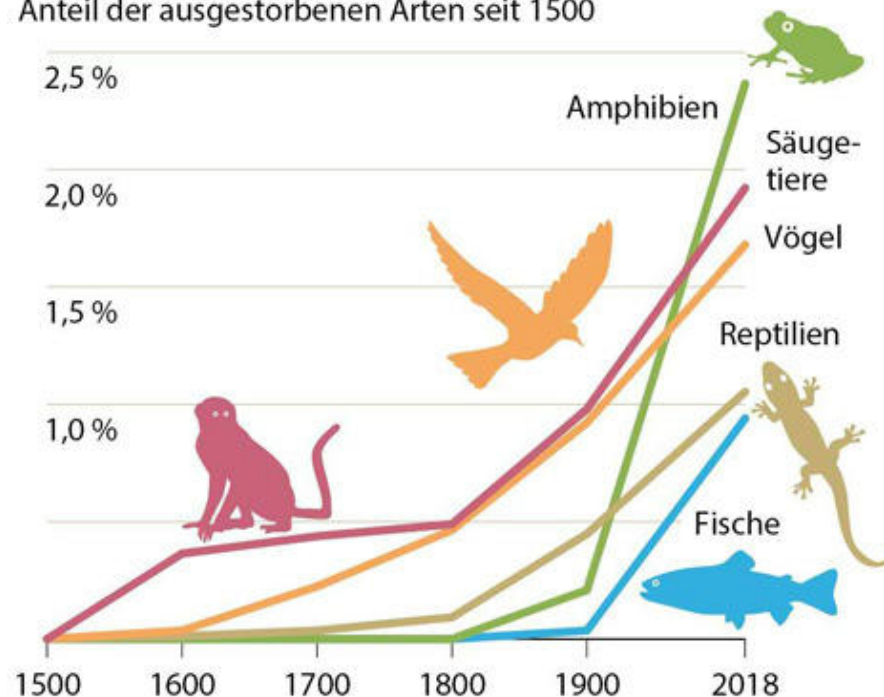
© Spektrum der Wissenschaft, nach Penzlin, H.: Das Phänomen Leben. Springer Spektrum 2016, Abb. 4.4 und Sepkoski, J.J. Jr.: Biodiversity: Past, Present, and Future. Journal of Paleontology 71, 1997 (Ausschnitt)
<https://www.spektrum.de/news/erdgeschichte-das-sechste-massenaussterben/1889650>

Das 6. Massensterben....

Weltbiodiversitätsrat (IPBES) 2019:

Artensterben beschleunigt sich

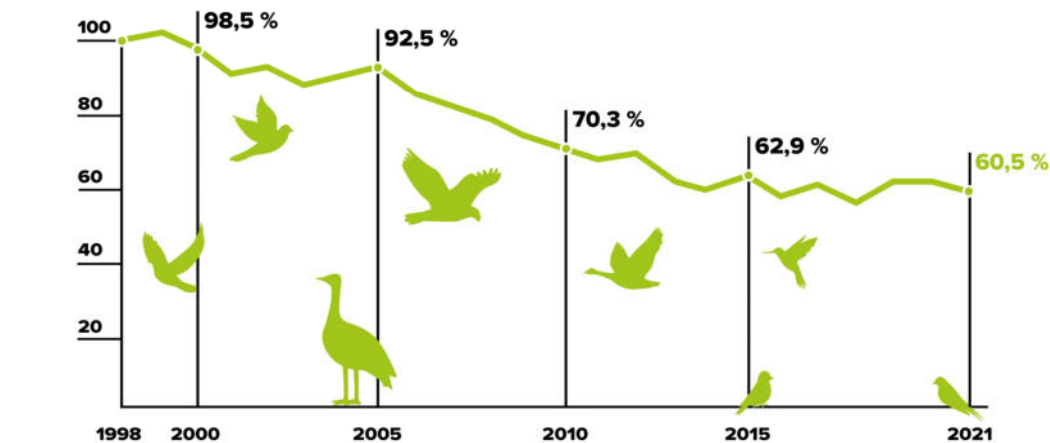
Anteil der ausgestorbenen Arten seit 1500



©APA, Quelle IPES, abgerufen unter <https://kurier.at/chronik/welt/tiere-grosses-artensterben-im-wald-und-zu-wasser/400576835>

- Von geschätzt 8 Mio Tier- & Pflanzenarten weltweit rund 1 Mio vom Aussterben bedroht
- $\frac{3}{4}$ der Naturräume auf den Kontinenten wurden vom Menschen bereits erheblich verändert, in den Meeren $\frac{2}{3}$

IMMER WENIGER VÖGEL IM KULTURLAND

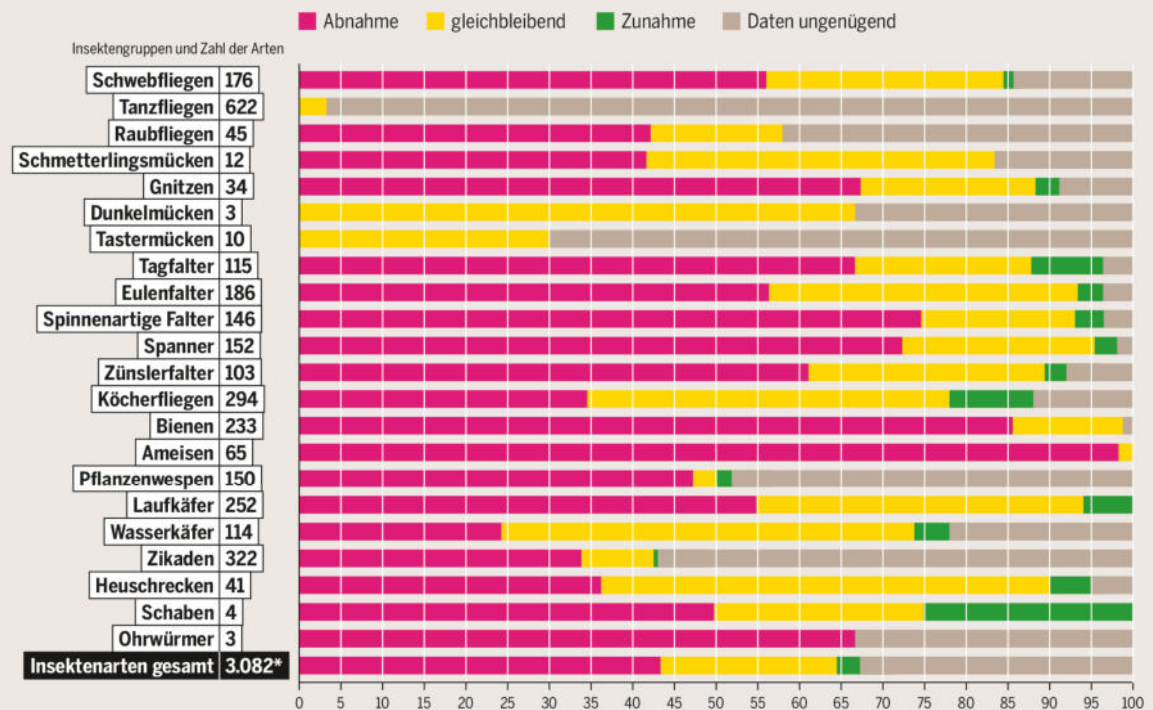


<https://www.birdlife.at/page/monitoring-der-brutvogel>
 Infografik © Land schafft Leben 2023
 Quelle: Farmland Bird Index für Österreich: Indikatoren 2021 bis 2022, BirdLife Österreich

Von den langfristig (seit 50 bis 150 Jahren) schrumpfenden Insektengruppen nahm fast die Hälfte auch kurzfristig (in den letzten 10 bis 25 Jahren) ab.

FAST ÜBERALL VERLUSTE

Rote Listen der Insekten in Deutschland, akute Trends bei den langfristig rückläufigen Insektengruppen, Verteilung in Prozent der Arten

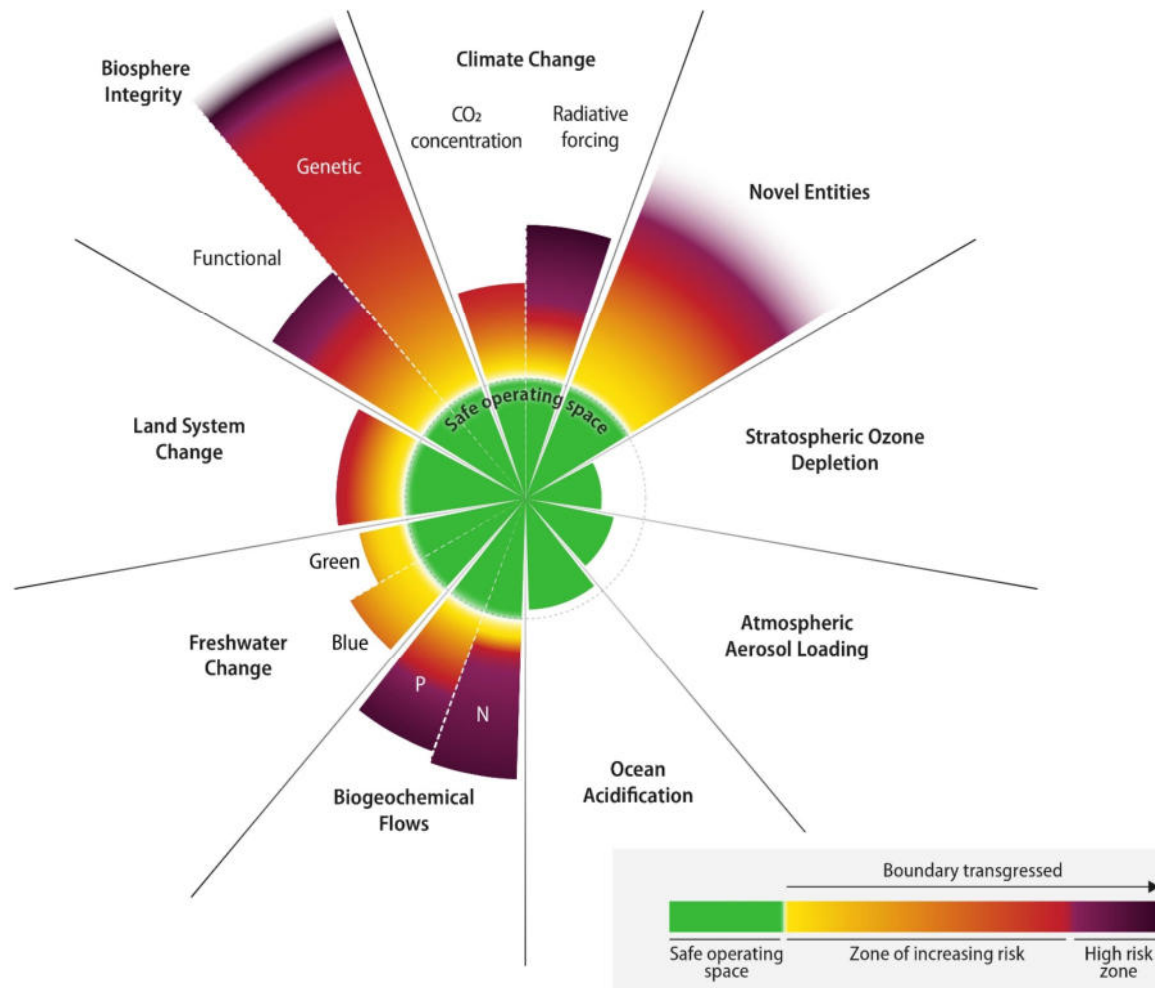


* ohne invasive Arten, Wespen, Büschelmücken und Fransenflügler

© Bartz/Stockmar, CC BY 4.0 - <https://www.boell.de/de/2020/01/08/insektensterben-deutschland-abwaerts-im-trend>

© INSEKTENATLAS 2020 / RIES

Biodiversität & die planetaren Belastbarkeitsgrenzen



Hauptursachen für den Verlust der Biodiversität:

- Landnutzungsänderungen (z.B. Abholzung, intensive Monokulturen, Urbanisierung)
- direkte Ausbeutung der Ressourcen wie Jagd und Überfischung
- Klimawandel
- Umweltverschmutzung
- invasive Fremdarten

© Steffen et al. 2015, iLhanca 2017

Quelle: Richardson et al., Science Advances, 2023 (CC BY-NC 4.0)
<https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/schwindende-widerstandskraft-unseres-planeten-planetare-belastungsgrenzen-erstmalig-vollstaendig-beschrieben-sechs-von-neun-bereits-ueberschritten-1>

Warum ist die Biodiversität für uns wichtig?

funktionierende Ökosysteme erbringen lebenswichtige Leistungen, die wir als selbstverständlich erachten:

- Biomasseaufbau & Nahrungsketten
- Nährstoffkreisläufe
- Bestäubungsleistungen (Nahrungsmittelproduktion!)
- Wälder und Ozeane als Kohlenstoffspeicher (Kohlenstoffkreislauf!)
- Wasserkreislauf: stark von lebenden Organismen abhängig
- Sauerstoffproduktion, Luft- und Wasserreinigungsfunktion durch intakte Ökosysteme (Wälder, Böden)
- Qualitative Böden & Bodenleben – langfristige Fruchtbarkeit,...
- Reduktion der Auswirkungen von Naturgefahren
- Genetische Vielfalt bedeutend für die Ernährungssicherheit (z.B. Klimawandelanpassung durch Pflanzenzüchtungen,...)
- Etc....

Maßnahmen?

IPBES-Report 2019 - Artenvielfalt-Bericht: Wege aus der Krise

- „Dies erfordert die **schnelle, substanzielle Verringerung des Verbrauchs von Energie, Rohstoffen und Fläche**. Alle Akteure müssen hier beitragen: **Verbraucher, Entscheidungsträger, Wirtschaft**. Die dazu notwendigen Investitionen sind Investitionen in die Zukunft“ (Almuth Arneth, eine der Leitautorinnen des aktuellen IPBES-Reports und Umweltforscherin am Karlsruher Institut für Technologie)
- Für Europa notwendig hält Jetzkowitz etwa „kurzfristig eine **Neuausrichtung der Landwirtschaft** und eine **Trendwende bei der Flächeninanspruchnahme**. Mittelfristig sind unter anderem der **Welthandel und das Finanzsystem an Nachhaltigkeitskriterien** auszurichten und ökonomische Ungleichheit zu reduzieren. Mittel- bis längerfristig sind **Transparenzregeln in Macht- und Entscheidungsstrukturen**, in denen die Wechselbeziehungen zwischen Natur und Gesellschaft gestaltet werden, durchzusetzen.“
- „**Verbrauch und Abfall reduzieren und Verschwendung vermeiden**“, ergänzt Markus Fischer, ebenfalls IPBES-Experte und Pflanzenökologe an der Universität Bern. Weiters: „**Vorteile aus der Nutzung der Natur gerecht verteilen, Biodiversitäts-Auswirkungen in wirtschaftlicher Bilanzierung, Steuern, Subventionen und internationalen Geschäften berücksichtigen, Schutzgebiete vergrößern, vernetzen und angemessen managen**, naturfreundliche Technologien fördern, finanzielle Mittel bereitstellen, **Bewusstsein schaffen und Wissen vermitteln**.“ (Quelle: <https://science.orf.at/v2/stories/2979843/>, weitere Informationen: <https://ipbes.net/>)