

## **Definition der Ökologie**

Ökologie ist die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt, vom Stoffhaushalt und den Energieflüssen, die das Leben auf der Erde möglich machen und von den Anpassungen der Organismen an die Lebensbedingungen.

## **Gliederung der Ökologie**

- Nach den Organismen, die im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen: Tierökologie, Pflanzenökologie, Humanökologie, Ökologie der Mikroorganismen.
- Nach den Lebensräumen: Terrestrische Ökologie, Aquatische Ökologie, Marine Ökologie, Limnische Ökologie, Bodenökologie, Stadtökologie.
- Angewandte Ökologie: Agrarökologie, Forstökologie, Radioökologie, Ökotoxikologie, Naturschutz, Umweltschutz.
- Nach der Betrachtung anderer biologischer Disziplinen unter dem Gesichtspunkt ökologischer Auswirkungen: Ökologische Genetik, Verhaltensökologie, Paläoökologie.

## **Klassische Dreiteilung:**

- Autökologie: Beziehungen eines Individuums zu seiner Umwelt
- Synökologie: Beziehungen verschiedenartiger Organismen zu ihrer Umwelt.
- Demökologie oder Populationsökologie: ökologische Beziehungen eine Population zu ihrer Umwelt.

## **Konzepte der Ökologie**

- Organisation von Individuen in Populationen
- Ökologische Nische
- Evolution
- Arten als Reproduktionseinheit
- Biodiversität
- Trophische Struktur von Ökosystemen
- Gruppierung von Arten in Gilden

## **Schlüsselkategorien der Ökologie**

- Populationen
- Biocoenosen
- Ökosysteme

## **Ansätze zum Verständnis der ökologischen Komplexität**

1. Holistischer Ansatz (top-down): Geht vom Ökosystem aus und beschränkt sich auf die wesentlichen Zusammenhänge; arbeitet mit Messungen von zentralen Stoffflüssen konzentriert sich auf Schlüsselarten.
2. Reduktionistischer Ansatz (bottom-up): Geht von Individuen und Populationen aus, betont die Bedeutung der Interaktionen zwischen den Arten und analysiert sie in kontrollierten Experimenten.

## **Konzept der ökologischen Nische**

- Ausgehend von den genetisch fixierten autökologischen Ansprüchen kann eine Art nur dort existieren, wo diese Ansprüche durch die gegebene Kombination von Umweltfaktoren und Ressourcen erfüllt sind.
- N-dimensionale Räume, die durch einzelne Nischendimensionen (z. B. Nahrung, Brutplätze) aufgespannt werden. Die Fitness einer Art variiert entlang dieser Nischenachsen, so dass jede Art nur einen Teilbereich des verfügbaren Nischenraumes einnehmen kann. Diese **fundamentale Nische** wird durch die Lebensgemeinschaft eingeschränkt (**realisierte Nische**). Damit verschiebt sich die Nische einer Art von Lebensgemeinschaft zu Lebensgemeinschaft.

### **Aussagen:**

- Erklärung des Grades des Artenreichtums (Zahl der „Planstellen“)
- Aufwertung von Nischen durch Interaktionen im System (z. B. Phytophile, Parasiten)

## **Formen der Resistenz**

Resistenz ist die Fähigkeit von Organismen, sich erfolgreich mit widrigen Umweltbedingungen auseinander zu setzen

**Dormanz:** Der Organismus geht in eine Ruhephase über und übersteht so widrige Umweltbedingungen (z. B. Winterschlaf, Winterstarre, Samenruhe)

**Avoidance:** Der Organismus entzieht sich dem Zugriff des Umweltfaktors (z. B. Vogelzug, Isolierschichten)

**Toleranz:** Durch physiologische Mechanismen werden die Leistungen entsprechend der Intensität des Umweltfaktors optimiert (z. B. hitzeresistente Proteine, Gefrierschutzmittel in der Körperflüssigkeit, unterschiedliche Größe von Körperteilen zur Optimierung des Oberfläche-Volumen-Verhältnisses)

**Ökologische Valenz:** Quantitativer Bereich eines Umweltfaktors, mit dem die Organismen tatsächlich konfrontiert werden

**Ökologische Potenz:** Spanne eines Umweltfaktors, der für den Organismus (die Art) tolerabel ist

### **Beispiele**

- Stenök: nur in einem standörtlich engen Lebensraum vorkommend
- Euryök: in einem standörtlich weiten Lebensraum, d. h. in zahlreichen Ökosystem-Typen vorkommend
- Stenohalin: enge ökologische Amplitude bezüglich des Salzgehaltes
- Eurytherm: weite ökologische Amplitude bezüglich der Temperatur
- Homoiotherm: gleichwarm
- Poikilotherm: wechselwarm
- Thermophil: Wärme liebend
- Hydromorph: im Bauplan an das Wasserleben angepasst
- Halophob: Salz meidend

Bei Änderung der Standortbedingungen sind zwei Arten der Reaktion möglich:

**Physiologische Adaptation:** auf Ebene des Individuums, schnell bis mittelfristig, aber nur im Rahmen der genetischen Reaktionsnorm

**Evolutive Adaptation:** auf Ebene der Art oder der Population, langsam, durch Änderung der genetischen Reaktionsnorm

**Ökologische Nische:** Kombination sämtlicher Umweltbedingungen, Umweltfaktoren und Ressourcen, die von einer Art benötigt werden; Bereich, in dem andere Arten keinen übermäßigen Konkurrenzdruck darstellen

## **Strahlung und Wärme im Wasser**

**Dimiktische Seen:** Zweimal im Jahr durchmischt (z. B. tiefe mitteleuropäische Seen)

**Polymiktische Seen:** Ständig bzw. sehr häufig durchmischt (z. B. mitteleuropäische Flachseen, tropische Gebirgsseen)

**Oligomiktische Seen:** Sehr selten durchmischt (z. B. tiefe tropische Seen)

**Warm bzw. kalt monomiktische Seen:** nur einmal jährlich durchmischt (mediterrane bzw. subarktische Seen)

**Amiktische Seen:** Keine Durchmischung (tropische Ozeane, zugefrorene Seen)

**Meromiktische Seen:** Unvollständige Durchmischung durch große Tiefe oder durch chemische Schichtung (salzhaltiges Tiefenwasser)

## Strahlungsdargebot in Gewässern

- Wasser zeigt ein völlig anderes Absorbtiionsverhalten als Luft, d. h. Licht wird viel stärker absorbiert, aber kaum reflektiert.
- Rotes Licht ist schon in einer Tiefe von 1 m weitgehend absorbiert, grünes und blaues Licht dringen wesentlich weiter ein:  
Rotes Meer: 200 m  
Stechlinsee : 10 m  
Müggelsee : 2 m
- Die Wasserschicht, in der Nettophotosynthese stattfindet, nennt man **Euphotische Schicht**, sie ist etwa mit der Sichttiefe identisch
- In ungeschichteten Gewässern ist die Strahlungsschwächung (Absorption) eine Funktion der Tiefe und des Absorptionskoeffizienten, je mehr Algen im Gewässer leben, desto größer ist sie:

$$I = I_0 \cdot e^{-\varepsilon \cdot z}$$

$$I = I_0 \cdot \left( \frac{1 - e^{-\varepsilon \cdot z_{mix}}}{\varepsilon \cdot z_{mix}} \right)$$

- In geschichteten Gewässern wird diese Formel durch die Durchmischungstiefe modifiziert; in dimiktischen Gewässern sinkt diese Tiefe nach Einstellung der Schichtung oft auf ca. 10 % ab, dadurch steigt das Strahlungsdargebot für die Algen plötzlich stark an.

## Globaler Kohlenstoff-Kreislauf

### 1. Reservoirs:

- Böden: 66.000.000 Mrd. t
- Ozeane (incl. Methaneis): 40.000 Mrd. t
- Fossiler C (Kohle, Erdöl, Gas): 5.000 – 10.000 Mrd. t
- Biomasse: 3000 Mrd. t
- Atmosphäre: 750 Mrd. t

### 2. Prozesse (jährlich)

- Verbrauch durch Photosynthese (100 Mrd. t) und Festlegung im Meer (104 Mrd. t)
- Freisetzung durch Atmung und Verwesung (100 Mrd. t), Vulkanismus (100 Mrd. t) sowie Verbrauch fossiler Brennstoffe und Brandrodung (7 Mrd. t)

**Fazit:** Der C- Gehalt der Atmosphäre steigt jährlich um etwa 3 Mrd. t (ca. 0,5 %) an!

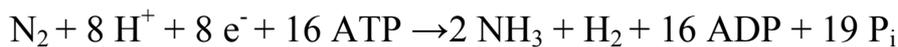
**Anthropogener Treibhauseffekt:** Zusätzliche Erderwärmung durch Emission von Treibhausgasen; Einflüsse des Energieverbrauchs (50 %), der Industrie (15 %), der Landwirtschaft und der Regenwaldzerstörung (15 %)

**Auswirkungen:** Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur der Erdatmosphäre, Verschiebung der Klima- und Vegetationszonen, Abschmelzen von Gletschern, Zunahme extremer Klima- und Wetterphänomene, steigender Wassermangel in vielen ariden Gebieten, evtl. „Versiegen“ des Golfstromes

## Biochemische Vorgänge des Stickstoffkreislaufes

### - Stickstoff-Fixierung

Die biologische Fixierung des Luftstickstoffs ist die wesentliche Reaktion, mit der terrestrischen und aquatischen Ökosystemen Stickstoff zugeführt wird:



Sie erfolgt besonders effektiv in Symbiosen von Prokaryoten und bestimmten Pflanzen.

### - Ammonifikation

Bei diesem Vorgang wird der in organischen Verbindungen (hier: Harnstoff) enthaltene Stickstoff wieder in Ammonium bzw. Ammoniak überführt:



### - Nitrifikation

Chemolithotrophe Bakterien (*Nitrosomonas*) oxidieren Ammonium zu Nitrit:



Weitere Bakterien (*Nitrobacter*) oxidieren Nitrit zu Nitrat:



### - Denitrifikation

Die Denitrifikation ist ein dissimilatorischer Prozess, bei dem verschiedene Bakterien (*Pseudomonas*, *Micrococcus*) den Nitratsauerstoff für ihre Atmung nutzen:





**Waldschäden sind in ihren Ursachen ein komplexes Phänomen, das v. a. durch Synergismen zu erklären ist!**

- Stickoxide: sind allein erst ab einer Konzentration von 350 Mikrogramm / m<sup>3</sup> toxisch, aber ab der Anwesenheit von SO<sub>2</sub> mit einer Konzentration von 150 Mikrogramm / m<sup>3</sup> schon ab 20 Mikrogramm / m<sup>3</sup>, da SO<sub>2</sub> die Nitritreduktase hemmt
- Ozon:  $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}^\cdot$   
 $\text{O}^\cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$   
 $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^\cdot + \text{OH}^\cdot + \text{O}_2$   
Ozon und OH-Radikale sind starke Oxidationsmittel, sie schädigen die Kutikula und den Zellstoffwechsel
- Schädigung der Mycorrhizza: „Pilzwurzel“ nimmt Wasser und Mineralstoffe auf, filtert Schadstoffe und pathogene Organismen, bei N-Überdüngung (Fichtenforst z. B. benötigt 5 kg N /ha a, bekommt aber 40 – 60 kg) verkümmert die Mycorrhizza, in der Folge werden weniger Kationen (Ca, Mg, K) aufgenommen, die Biomasse wird weicher und anfälliger für Parasiten, kurzlebige Sträucher wie Brombeere u. Holunder breiten sich aus, die Wälder vergrasen (*Calamagrostis epigeios*)

### **Verringerung der Biodiversität**

Auf überdüngten Böden und in überdüngten Gewässern ist ein massiver Artenschwund zu beobachten. Hohe Nährstoffkonzentrationen bedingen die Dominanz weniger nitrophiler Arten, während die meisten Arten, die natürlicherweise eher an Mangel angepasst sind, nicht konkurrenzfähig sind.

## Sauerstoff als Umweltfaktor

- Sauerstoff ist ein für alle aeroben Organismen unabdingbarer Umweltfaktor. Seine meist auch nur kurzzeitige Abwesenheit führt zu schweren Schädigungen oder zum Tod dieser Lebewesen.
- Sauerstoff ist nötig für die Atmung, für die Aufrechterhaltung aller biogeochemischen Kreisläufe und die Stabilisierung von Böden und Gewässersedimenten
- Bei Mangel an freiem Sauerstoff schalten fakultativ anaerobe Pilze und Bakterien auf Gärungsprozesse um.
- Andere Anaerobier nutzen weitere Redoxprozesse bei unterschiedlichen Stufen des Redoxpotenzials:

$$E_h = E_o + R T / n F \times \ln a_{ox} / a_{red} \text{ (Volt)}$$

Folgende Prozesse laufen bei unterschiedlichen Potenzialen ab:

381 mV: Sauerstoff / Wasser

240 mV: Nitrat / Stickstoff (Denitrifikanten)

200 mV: ox. / red. Mangan (Manganbakterien)

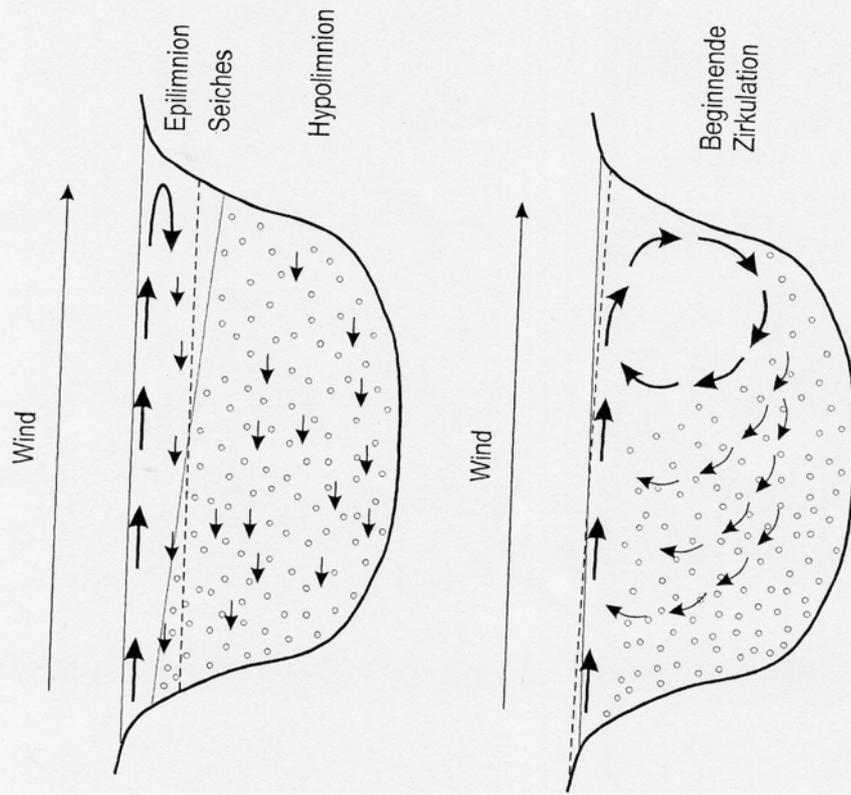
120 mV: ox. / red. Eisen (Eisenbakterien)

- 150 mV: Sulfat / Schwefelwasserstoff (Desulfurikanten)

- 250 mV: Kohlendioxid / Methan (Methanbakterien)

Gegen Sauerstoffmangel existieren bei angepassten Organismen morphologische und physiologische Anpassungsmechanismen, z. B.

- Aerenchyme (Luftgewebe)
- Entgiftung von Ethanol
- Verwendung von Lactat zur Gluconeogenese
- Aktivierung von biochemischen Sauerstofftransportmechanismen



**Abb. 116.** Windbedingte Strömungen in einem See. Oben = im Epilimnion zur Stagnationszeit; unten = beginnende Zirkulation mit Abkühlung des Wassers. (Nach MORTIMER 1974).

| Pflanzengruppe   | Existenzminimum<br>in % der absoluten<br>Lichtmenge |
|--|---|
| Schattengewächse der tropischen<br>Regenwälder                             | 0,3 %   |
| Farne  | 1 - 0,2 %   |
| Schattenmoose, viele Grünalgen   | 0,2 - 0,1 %   |
| Endolithische Algen (Algen in Gesteins-<br>spalten bzw. im Gestein selbst) | < 0,1 %   |

| Lichtgehölze                             | relativer Lichtgenuß |
|--|----------------------|
| Europ. Lärche ( <i>Larix decidua</i> )   | 20 %                 |
| Gem. Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) | 17 %                 |
| Vogelbeere ( <i>Sorbus aucuparia</i> )   | 12 %                 |
| Birke ( <i>Betula verrucosa</i> )        | 11 %                 |
| Waldkiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> )   | 10 %                 |
| Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> )      | 4 %                  |

| Schattengehölze                          | relativer Lichtgenuß |
|--|----------------------|
| Fichte ( <i>Picea abies</i> )            | 3,6 %                |
| Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> ) | 1,8 %                |
| Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> )    | 1,8 %                |
| Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )      | 1,6 %                |
| Buchs ( <i>Buxus sempervirens</i> )      | 0,9 %                |

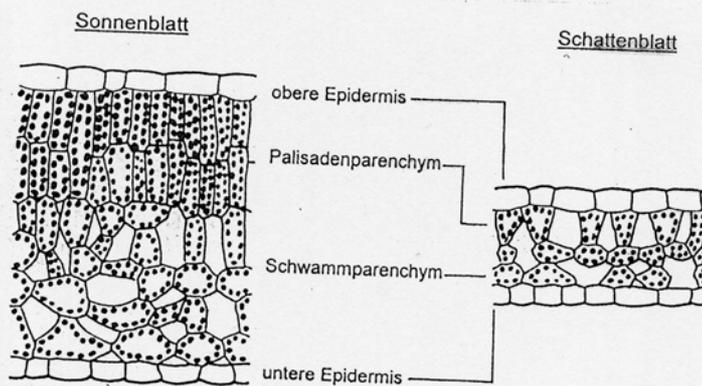


Abb. 11: Querschnitt durch ein Sonnen- oder Lichtblatt und ein Schattenblatt (jeweils Ausschnitte) einer Rotbuche (nach LÜTTGE u.a.).

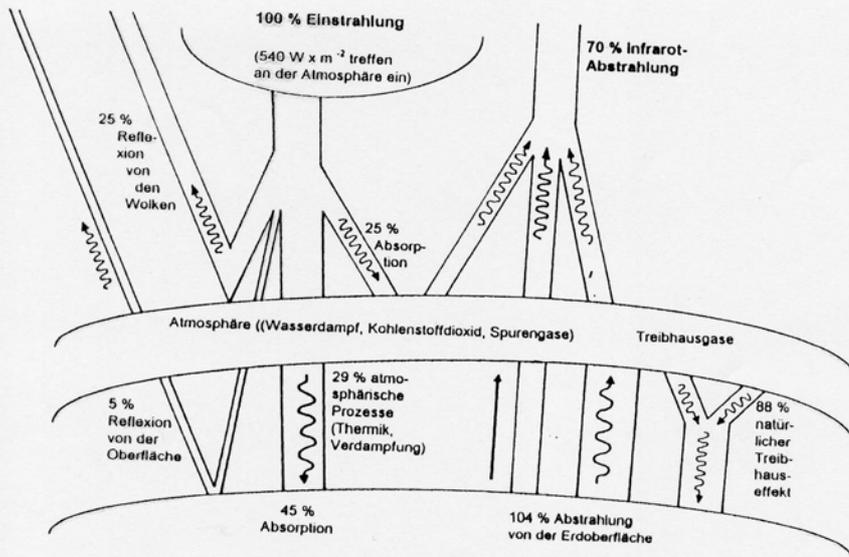


Abb. 82: Strahlungsbilanz der Erde (nach SCHNEIDER, 1989, verändert).

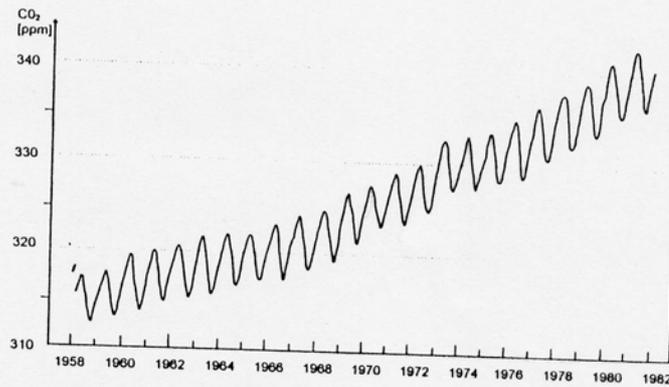


Abb. 84: Die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre, aufgezeichnet nach den Daten des Mauna Loa Observatoriums auf Hawaii, Hauptinsel (Kurve aus GRASSL u.a., 1984, verändert).

Stickstoff in der Atmosphäre: 78 Vol% = 3.971.000 Milliarden t

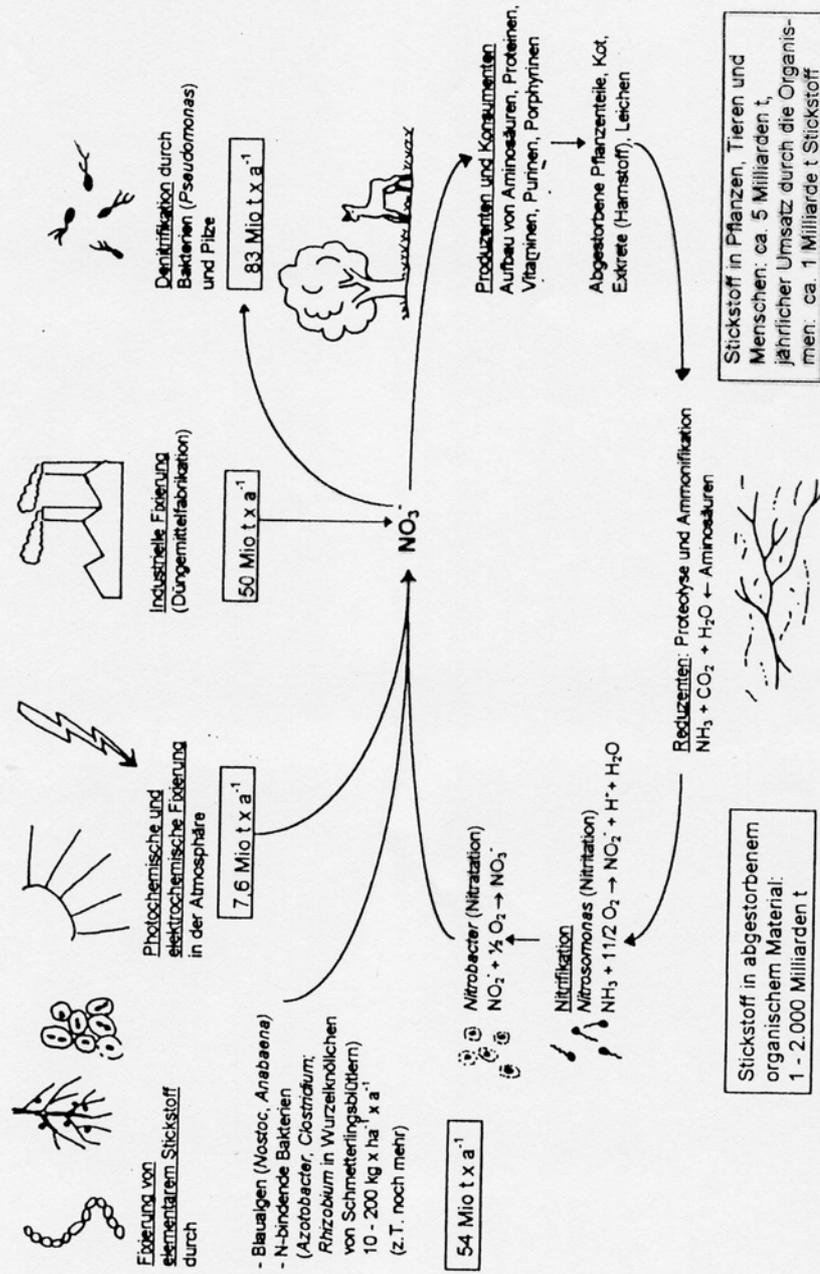
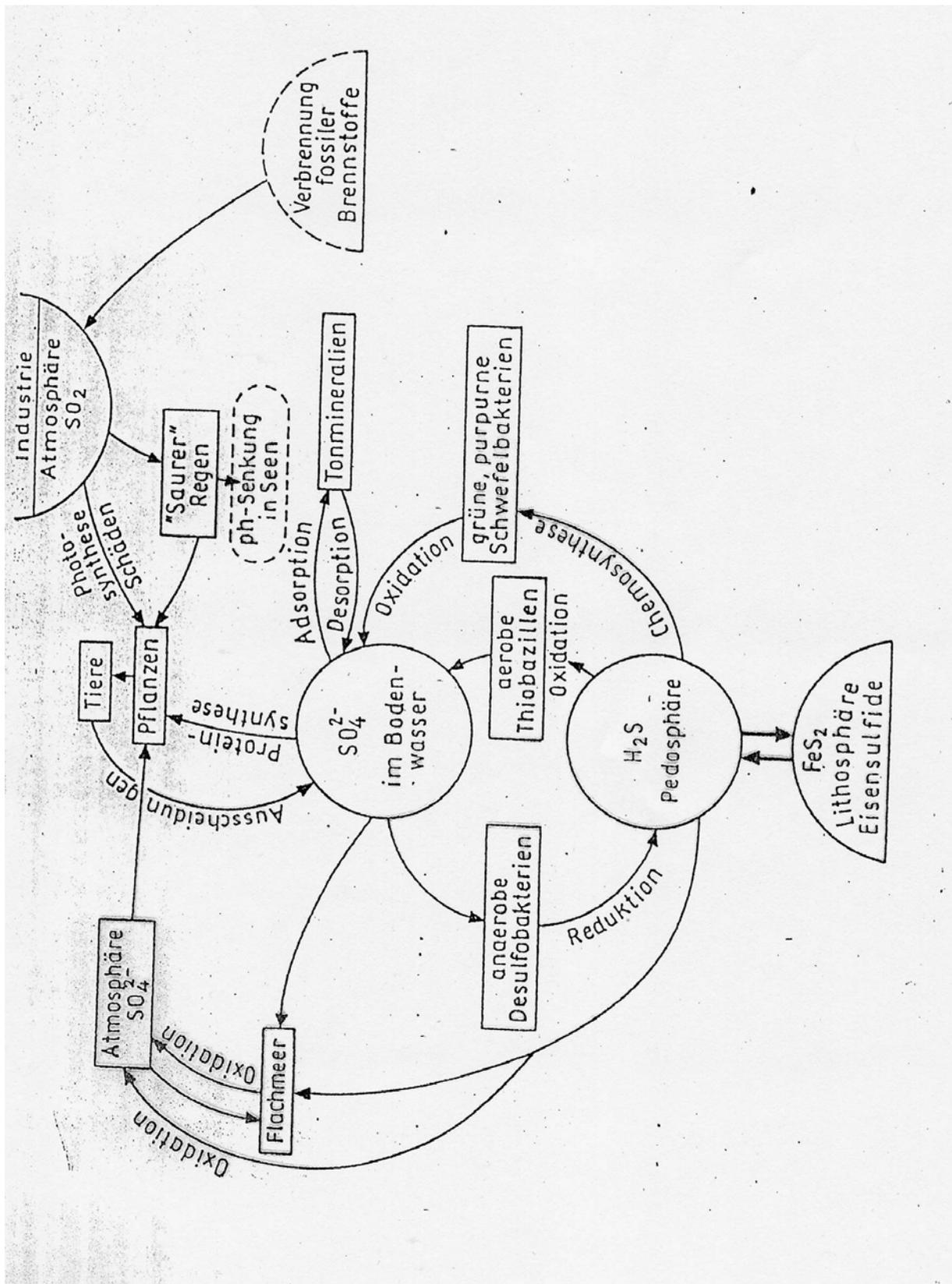
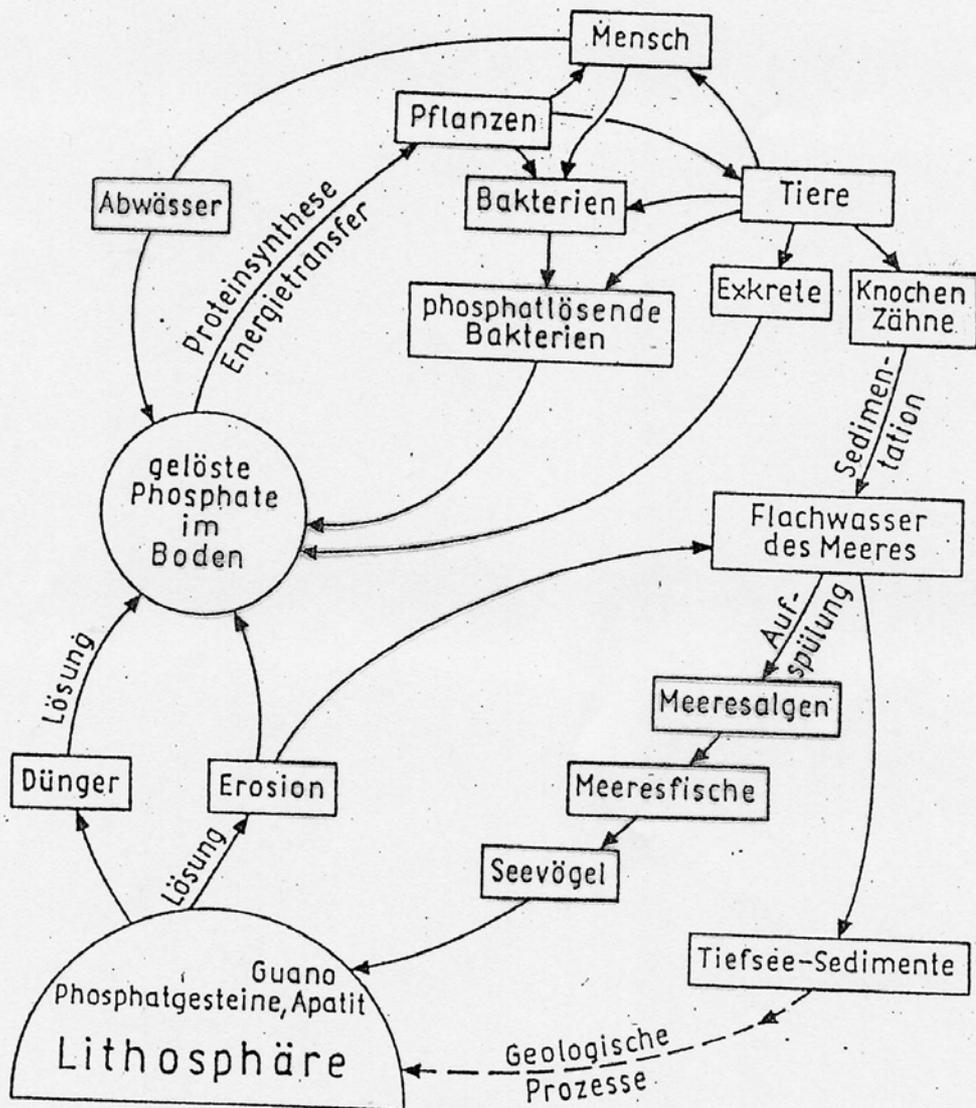


Abb. 79: Stickstoffkreislauf (nach DELWICHE, verändert).

Tab. 13-2. Systeme der Stickstoffbindung zwischen Bakterien und Pflanzen.

| Bakterien   | Pflanze                                 | Fixierungsrate<br>(kg N · ha <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> ) |
|---|---|--|
| <b>Assoziative Symbiosen mit Gräsern</b>                          |   |  |
| <i>Azospirillum lipoferum</i>                                     | <i>Digitaria decumbens</i>              | 20–50  |
| <i>Azorhizophilus paspali</i>                                     | <i>Paspalum notatum</i>                 | 19–50  |
| <i>Azoarcus</i> sp.   | <i>Leptochloa fusca</i><br>(Kallargras) |  |
| <b>Endo-Symbiosen mit Leguminosen</b>                             |   |  |
| <i>Rhizobium leguminosarum</i><br>bv. <i>viceae</i>               | Erbse                                   | 100–200  |
| <i>Rhizobium leguminosarum</i><br>bv. <i>trifolii</i>             | Klee                                    | 100–200  |
| <i>Bradyrhizobium japonicum</i>                                   | Sojabohne                               | 50–200   |
| <i>Azorhizobium caulinodans</i>                                   | <i>Sesbania</i> (Trop. Baum)            | 100  |
| <b>Endo-Symbiosen von Actinomyceten mit Bäumen und Sträuchern</b> |   |  |
| <i>Frankia alni</i>   | <i>Alnus</i> (Erle)                     |  |
|   | <i>Eleagnus</i> (Ölweide)               |  |
|   | <i>Hippophae</i> (Sanddorn)             |  |
|   | <i>Casuaria</i> (Australischer Baum)    |  |
| <b>Cyanobakterien-Symbiosen mit Cyanobakterien</b>                |   |  |
| <i>Anabaena azollae</i>   | <i>Azolla</i> (Wasserfarn)              | 80–250   |





Schema des Phosphor-Kreislaufs.

# Funktionale Gilden bei Gewässerorganismen

## 1. Längszonale Verteilung

Epikrenal (Quelle)

Hypokrenal (quellnaher Bach, Feuersalamanderregion)

Epirhithral (obere Forellenregion)

Metarhithral (untere Forellenregion)

Hyporhithral (Äschenregion)

Epipotamal (Barbenregion)

Mesopotamal (Brachsenregion)

Hypopotamal (Flunderregion)

## 2. Strömungspräferenz

rheobiont (obligat auf hohe Strömungsgeschwindigkeiten angewiesen)

rheophil (strömungsliebend)

rheo-limnophil

limnophil

limnobiont

strömungsindifferent

## 3. Habitatpräferenz

Lithal (Steine)

Akal (Kies)

Psammal (Sand)

Pelal (Schlamm)

Xylal (Totholz)

Phytal (Makrophyten)

## 4. Ernährungstypen

Zerkleinerer

Weidegänger

Holzfresser

Sedimentfresser

Filtrierer  
Zellstecher  
Räuber

## **Populationen und Wachstum**

Die Populationsökologie untersucht pflanzliche und tierische sowie menschliche Populationen. Hierbei spielen Altersaufbau, Geschlechterverhältnisse und dynamische Veränderungen wie Wachstum, Fluktuation, Bestandsrückgang sowie numerische Wechselwirkungen mit anderen Organismengruppen eine Rolle.

**Populationen** sind Gruppen von Individuen, die eine tatsächliche oder potenzielle Fortpflanzungsgemeinschaft bilden und ein definiertes Gebiet besiedeln.

Bei klonalen und modular aufgebauten Organismen ist der Populationsbegriff nur eingeschränkt anwendbar.

Populationen sind zugleich die Grundeinheiten der Evolution.

Die Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen erfolgt über den genetischen und den modifikativen Weg.

**Populationsgröße:** Grundlage jeder Messung einer Populationsgröße ist die Kenntnis über die zugrunde liegende Verteilung oder Dispersion: Die Individuen können zufällig, regelmäßig oder gehäuft auftreten.

**Populationsdichte:** Unter Populationsdichte oder Abundanz versteht man die Anzahl der Individuen pro Flächen- oder pro Volumeneinheit.

## **Populationsdynamik**

$$dN / dt = r \times N$$

$$r = b - m$$

b: Geburtenrate

m: Mortalitätsrate

N: Individuenzahl

R: spezifische Zuwachsrate

t: Zeit

Unter idealen Bedingungen (Ernährung, physikalische Faktoren) wachsen Populationen exponentiell:

$$N_t = N_0 \times e^{r \times t}$$

Beispiel: Ein Bakterium mit einem Volumen von 1 Mikrometer, das sich alle 20 Minuten teilt, hätte nach 12 Stunden etwa die Größe einer Fliege, nach 24 Stunden die eines Mehrfamilienhauses. Nach 44 Stunden wäre das Bakterienvolumen bereits so groß wie das der Erde ( $10^{12} \text{ km}^3$ ).

Ideale Bedingungen treten aber nur selten und kurzzeitig auf. Tatsächlich existiert für jeden Lebensraum eine maximale Individuenzahl jeder Art, die dieser aufzunehmen imstande ist. Diese wird als Umweltkapazität K bezeichnet. Die Formel des exponentiellen Wachstums verändert sich dadurch:

$$dN / dt = rN \times (K - N) / K$$

Organismen haben aber Strategien entwickelt, um diesen Umweltwiderstand so weit wie möglich zu überwinden:

- Vermehrungsstrategien (r – und K – Strategen)
- Verbreitungsstrategien (Kosmopoliten)
- Strategien der Ressourcennutzung (Generalisten, Spezialisten)

## **Abundanzschwankungen**

Durch die Inkonstanz der Umweltkapazität  $K$  in den meisten Biotopen treten zwangsläufig auch Änderungen der Abundanzen auf:

- Kurzfristige Oszillationen
- Fluktuationen über längere Zeiträume (oft kurzfristig von Oszillationen überdeckt)
- Gradationen, d. h. Massenentwicklungen von oft schädlichen Organismen, wenn  $K \gg !$

## **Areale**

Areale sind die Lebensräume einer Art auf der Erde. Die Arealtheorie fußt auf der Tatsache, dass die Organismen nicht gleichmäßig über die Erde verteilt sind und jede Art mit ihren Populationen nur einen begrenzten Lebensraum bewohnt.

Areale sind zu differenzieren nach Wohn- und Wandergebieten.

Sie werden in sog. Arealkarten erfasst, in die alle Kartierungsergebnisse quantitativ oder halbquantitativ (häufig, verbreitet, zerstreut, selten, fehlend) eingetragen werden.

### **Arealformen:**

- Kontinuierliches Areal: Vorkommen sind so verteilt, dass die Umgrenzung eine geschlossene Fläche ergibt
- Disjunktes Areal: Zwei oder mehrere Teilareale( z. B. Bison / Wisent, indische und afrikanische Löwen, Luchse)
- Diskontinuierliches Areal: versprengte Vorkommen, manchmal natürlich (Glazialrelikte), oft aber durch anthropogene Arealzerstörung

### **Arealgrößen:**

- Eurychore Arten: bewohnen ausgedehnte Gebiete, extrem: Kosmopoliten
- Stenochore Arten: bewohnen nur kleine Räume

### **Arealgrenzen:**

Areale enden, wo ökologische Potenzen und Valenzen nicht mehr übereinstimmen (z. B. Salzgehalt, Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert, Prädatoren).

### **Arealveränderungen:**

- Erweiterungen: durch Wanderverhalten, Neubesiedlung nach Katastrophen, heute oft anthropogen verursacht (Neozoen, Neophyten)
- Einschränkungen: lebende Fossilien (Quastenflosser, Ginkgo, Mammutbäume, Nautilus), Glazialrelikte (Walnuss, Rosskastanie, Flieder, Buchsbaum)
- Anthropogene Einschränkungen und Zerstörungen: dadurch ausgestorben z. B. Mammut, Auerochse, Wandertaube, Riesenalk, Dronte, Stellersche Seekuh, Berberlöwe, Kaplöwe, starke Einschränkungen für Beuteltiere, Braunbären etc.
- Heute sterben täglich mehrere Arten aus!

## **Biozönotische Beziehungen**

Biozöosen sind Gemeinschaften von Organismen unterschiedlicher Arten in einem gemeinsamen Lebensraum.

Nahrungsketten entstehen durch das hierarchische Fraßverhalten von Herbivoren und Karnivoren, wobei die verschiedenen Ebenen der Nahrungskette jeweils etwa um den Faktor 10 an Gesamtbiomasse verlieren.

Beispiele sind die herbivore, die algivore und die detritivore Kette.

*Algivore Kette: Chlorella vulgaris – Keratella quadrata-Asplancha priodonta-Polyphemus sp. – Abramis brama – Esox esox – Homo sapiens*

In ungestörten Ökosystemen gelten für Nahrungsketten die drei Volterra – Regeln:

1. Die Individuenzahlen von Räubern und Beutetieren schwanken zeitlich versetzt.
2. Die Mittelwerte der Populationsgrößen bleiben konstant.

3. Katastrophen treffen Räuber stärker als Beutetiere.

Symbiosen oder Mutualismus sind Beziehungen zum beiderseitigen Nutzen.

Evolutiv sind sie oft abgewandelte Nahrungsketten und Konkurrenzen.

Konkurrenzen bestehen zwischen Organismen mit ähnlichen

Ressourcenansprüchen, z. B. die verschiedenen Grasfresser oder Mäusejäger.

Kommensalismus besteht, wenn Organismen z. B. Nahrungsreste anderer verwerten (z. B. Escherichia coli im menschlichen Darm, Geier, Hyänen).

Parasitismus liegt vor, wenn eine Art ihren Lebensunterhalt auf Kosten der anderen ganz oder teilweise bestreitet (Ekto- und Endoparasitismus, Voll- und Teilparasitismus, Brutparasitismus).

## **Biodiversität**

**Biodiversität** bezeichnet die totale Variabilität des Lebens auf der Erde. Sie schließt alle Gene, Arten und Ökosysteme sowie die Prozesse, deren Teil sie sind, ein. Aspekte der Biodiversität sind z. B. die Artendichte (Artenzahl pro Fläche), die alpha – Diversität (Artenreichtum eines Bestandes), die beta – Diversität (Wechsel von Artenzusammensetzungen entlang eines ökologischen Gradienten) sowie die genetische Vielfalt (Vielfalt von Allelen an einem Genort innerhalb einer Population bzw. von Unterarten innerhalb einer Art).

Die Biodiversität lässt sich mit Hilfe zahlreicher Diversitätsindizes quantifizieren. Der häufig verwendete Index nach Shannon und Wiener ist z. B. sowohl ein Maß für die Artenzahl als auch für die relative Gleichverteilung der Arten.

Die (noch) sehr hohe Biodiversität auf der Erde ist ein Resultat der wechselnden Erdgeschichte sowie der klimatischen, höhenzonalen und chemischen Vielfalt der Lebensräume.

Die Biodiversität ist v. a. durch Habitatzerstörung (z. B. tropischer Regenwald), durch übermäßige Ausbeutung (z. B. Ausdehnung der Wüsten in der Sahelzone) sowie durch Einführung fremder Arten bedroht.

## **Naturschutz**

Unter Naturschutz versteht man alle Maßnahmen zum Schutz der natürlichen Ressourcen, insbesondere aber zum Schutz der Biodiversität.

Ein wirksamer Naturschutz ist nur möglich, wenn er bestimmte Regeln und Prinzipien beachtet:

### **Systemökologische Prinzipien und Regeln im Naturschutz**

#### **Stoffkreislauf (Ökozirkulation)**

Als Stoffkreislauf bezeichnen wir den Transfer von Materie über die einzelnen Kompartimente eines Ökosystems. Die Hauptkomponenten sind: Grüne Pflanzen – Pflanzenfresser – Prädatoren – Zersetzer – Reduzenten.

- Streunutzung in Wäldern
- Vernichtung von tropischen Regenwäldern
- Eutrophierung von Gewässern

#### **Energiefluss (Ökoenergetik)**

Beim Energiefluss handelt es sich um einen Energietransfer, der kaskadenartig und gerichtet über die Kompartimente des Ökosystems läuft, wobei beim Übergang von einer Stufe zur nächstfolgenden ein Teil der Energie umgewandelt (Arbeit, Wärme) wird.

- Länge der Nahrungskette und Artenvielfalt
- Akkumulation von Schadstoffen
- Dosierung des Lichtinputs in Ökosysteme (Fließgewässer, Wälder) zur Förderung der Artenvielfalt
- Überdüngung als Deformation der Energiekaskade

#### **Ökologische Nische (Ökostruktur)**

Ökologische Nischen kommen aus räumlichen und zeitlichen Wechselwirkungen heraus zustande.

- Populationssteuerungen gefährdeter Arten
- Wertung von Naturschutzobjekten als Ausstrahlungs- oder Refugialgebiete

- Schaffung von neuen Biotopen

### **Eigenregulation**

Eigenregulation ist die Gesamtheit der innerhalb des Ökosystems wirkenden Informations- und Rückkopplungsvorgänge, durch die das ökologische System Adaptationsfähigkeit und relative Autarkie erhält (Gratiskräfte der Natur).

- Erkenntnisgewinn durch natürliche Sukzession
- Vermeidung negativer Rückkopplungen
- Einsparung von Aufwendungen
- höhere Leistungen im Sinne des Artenschutzes

### **Verhalten im Raum (Arealverhalten)**

Das räumliche Verhalten von Arten, Biocoenosen und Ökosystemen hängt von begrenzenden biotischen und abiotischen Faktoren ab.

- anthropogene Arealverluste
- Optimalgrößen von Schutzgebieten
- Artenhilfsprogramme

### **Verhalten in der Zeit (Ökosukzession)**

Die Ökosukzession ist die gesetzmäßige, in bestimmter Richtung ablaufende und damit vorhersagbare zeitliche Aufeinanderfolge von Strukturwandlungen in Ökosystemen, die auch alternierend (zyklisch) sein kann.

- Mosaikzyklustheorie
- aufwandsarme Behandlungstechnologien
- Inhalt von Schutzgebietsverordnungen
- Bewertung erwünschter und störender Sukzessionen

**Diese Gesetzmäßigkeiten sind immer mehr oder minder gleichzeitig wirksam.**

**Durch Kombination der Wirkprinzipien können gezielt Strategien und Konzepte entwickelt und umgesetzt werden.**

**In der natürlichen Dynamik können immer wieder Entwicklungen auftreten, die mit den bekannten Gesetzmäßigkeiten nicht erklärbar sind.**

## **Naturschutzstrategien durch Nutzung systemökologischer Gesetzmäßigkeiten**

- Proportionierung von Ökosystemkompartimenten
- Stoffkreislaufkopplung und –trennung
- Substitution und Kompensation
- Stadiale Anpassung
- Rhythmikanpassung
- Steuerung
- Zieltypenkonzept
- Mehrfachnutzungskonzept
- Wechselwirkungskonzept
- Fächerungskonzept

## **Schutzgebiete**

Schutzgebiete dienen dem besonderen Schutz bestimmter Biotope, Arten und Prozesse. In ihnen gelten besondere Verbote, Gebote und Bewirtschaftungsrichtlinien.

**Nationalparke:** dienen der ungehinderten großflächigen Naturentwicklung ohne aktive Einflussnahme des Menschen und ohne kommerzielle Nutzung.

**Naturschutzgebiete (NSG):** schützen (meist relativ kleinflächig) bestimmte Biotope und Arten; Nutzungen sind zulässig, sofern sie das Schutzziel nicht gefährden.

**Landschaftsschutzgebiete (LSG):** dienen dem Schutz bestimmter Landschaften; landschaftsverändernde Maßnahmen stehen unter Genehmigungsvorbehalt, ansonsten sind Nutzungen nicht oder kaum eingeschränkt

**Biosphärenreservate:** bestehen überwiegend aus NSG und LSG, dienen dem großflächigen Schutz eines vielfältigen Mosaiks von Natur- und Kulturlandschaften sowie der nachhaltigen, umweltverträglichen Regionalentwicklung; bedürfen einer internationalen Anerkennung durch die UNESCO

**Naturparke:** ähneln in ihrem Ziel inzwischen stark den Biosphärenreservaten, haben aber einen starken Bezug zum Tourismus und bedürfen keiner internationalen Anerkennung.

**Fauna-, Flora-, Habitat – Gebiete (FFH):** sind eine Schutzkategorie des europäischen Rechts; in FFH-Gebieten, d. h. europaweit gefährdeten Ökosystemen, sind Verschlechterungen nicht oder nur nach einer umfangreichen Prioritätenprüfung möglich.