

## Wasserwirtschaft und Umwelt - Gewässerökologie

### *Gewässerökologie und praktische Anwendung*

1. **Limnologie**
2. **Aquatische Lebensgemeinschaften**
3. **Ökologische Gewässeruntersuchung**
4. **Untersuchungsmethoden**
5. **Gewässerbewertung**
6. **Gewässernutzungen**
7. **Praktische Übungen 1 (Fließgewässeruntersuchung)**
8. **Praktische Übungen 2 (Taxonomische Übungen)**

# 1. Gewässerökologie

---

## Konzepte des Ökosystems

Ökologie (griechisch) : oikos = "Haus" oder "ein Platz um zu leben"

Ökologie: 3 Definitionen

- Ökologie ist die Wissenschaft von den Lebewesen oder Gruppen von Lebewesen und ihrer Beziehung zur Umwelt.
- Ökologie ist das Studium von Struktur und Funktion der Natur.
- Ökologie ist die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur Außenwelt..

Alle lebenden Organismen und ihre unbelebte Umwelt sind untrennbar miteinander verbunden und beeinflussen sich gegenseitig.

Ökosystem:

- **biotische Gemeinschaft** von Organismen mit vielfältigen **funktionalen Abhängigkeiten** und ihren Beziehungen zur abiotischen Umwelt, in der ein **Energiefluss** zu klar **definierten biotischen Strukturen** und **Stoffkreisläufen** führt.

# 1. Gewässerökologie

---

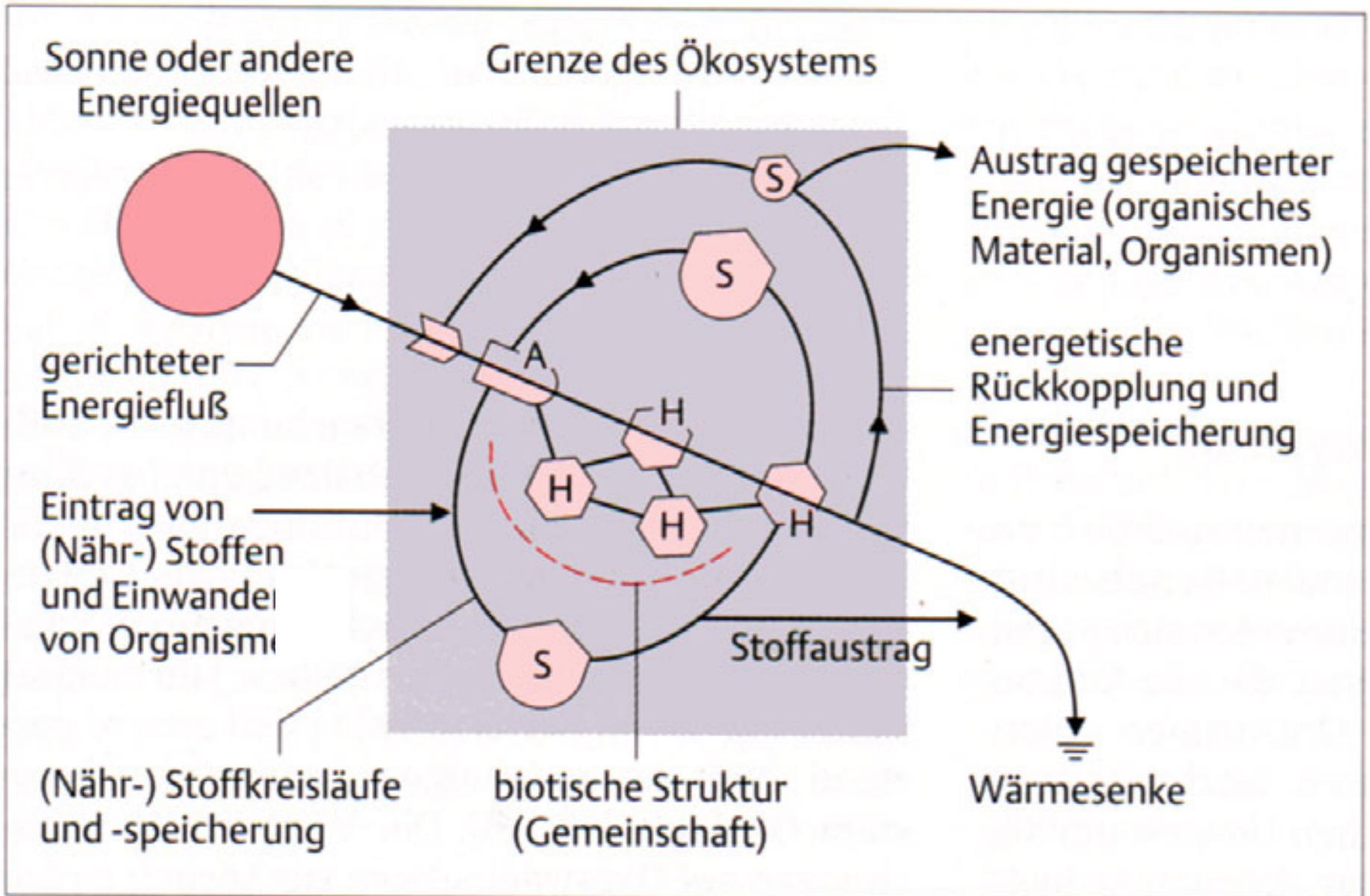
Der Begriff "Ökosystem" wurde vom britischen Ökologen *Tansley* 1935 vorgeschlagen.

Im späten 19. Jahrhundert entstand die Idee, die Natur als funktionales System aufzufassen.

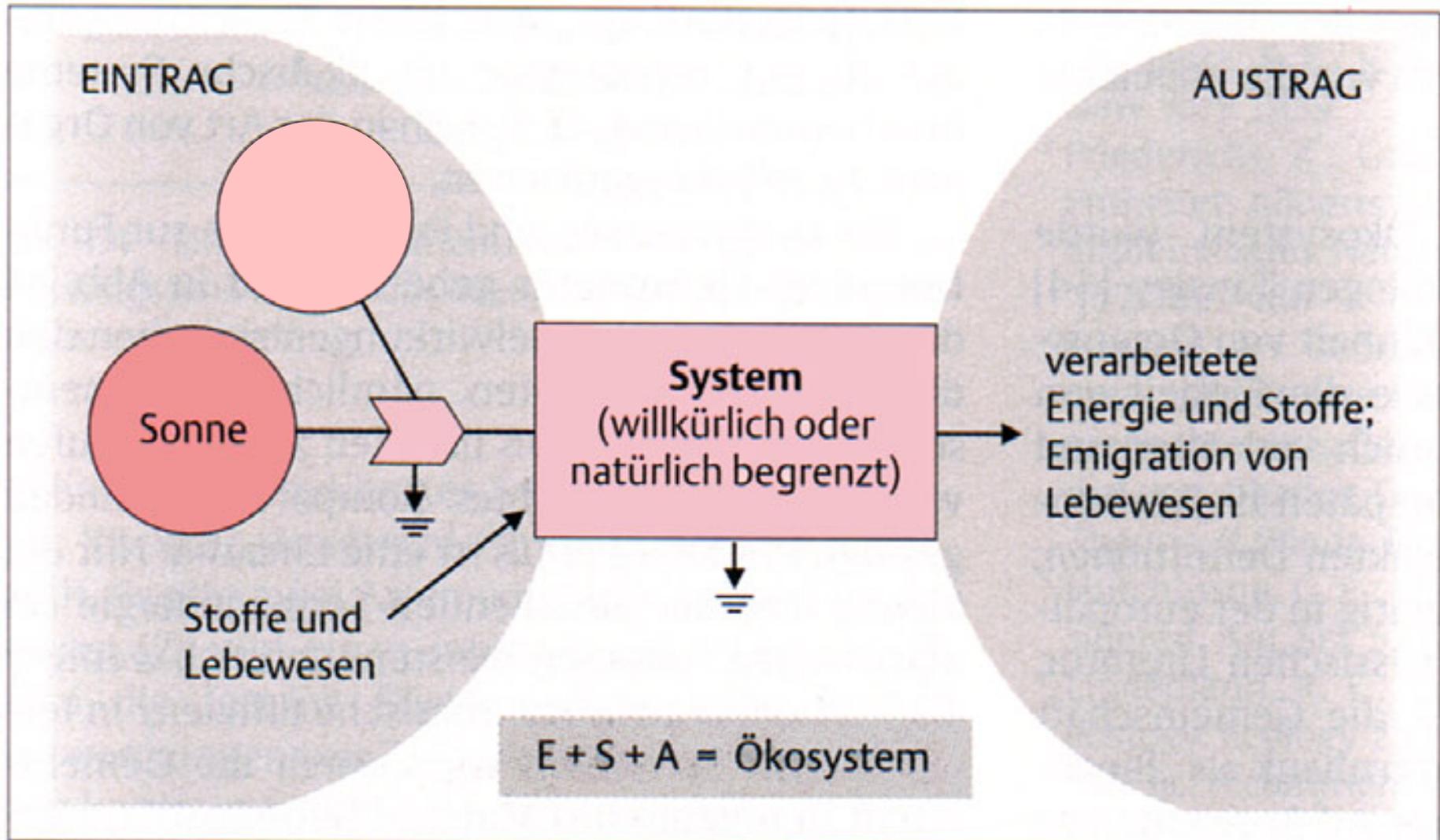
Definitionen wurden nahezu gleichzeitig in Europa, Russland und Amerika publiziert.

- Möbius 1877 (Biozönose), Junge (1885) (Der Dorfteich als Lebensgemeinschaft)
- Dokuchaev (1846-1903), Morozov (Ökologie des Waldes)
- Forbes 1887 (Der See als Mikrokosmos)

# 1. Gewässerökologie



# 1. Gewässerökologie



E: Eintrag; S: Speicherung; A: Austrag

# 1. Gewässerökologie

---

**Alle Ökosysteme sind offene Systeme**

**Ökosysteme haben einen Energieeintrag und einen Energieaustrag**

**Ökosysteme haben einen Ein- und Austrag von Stoffen und Organismen**

# 1. Gewässerökologie

---

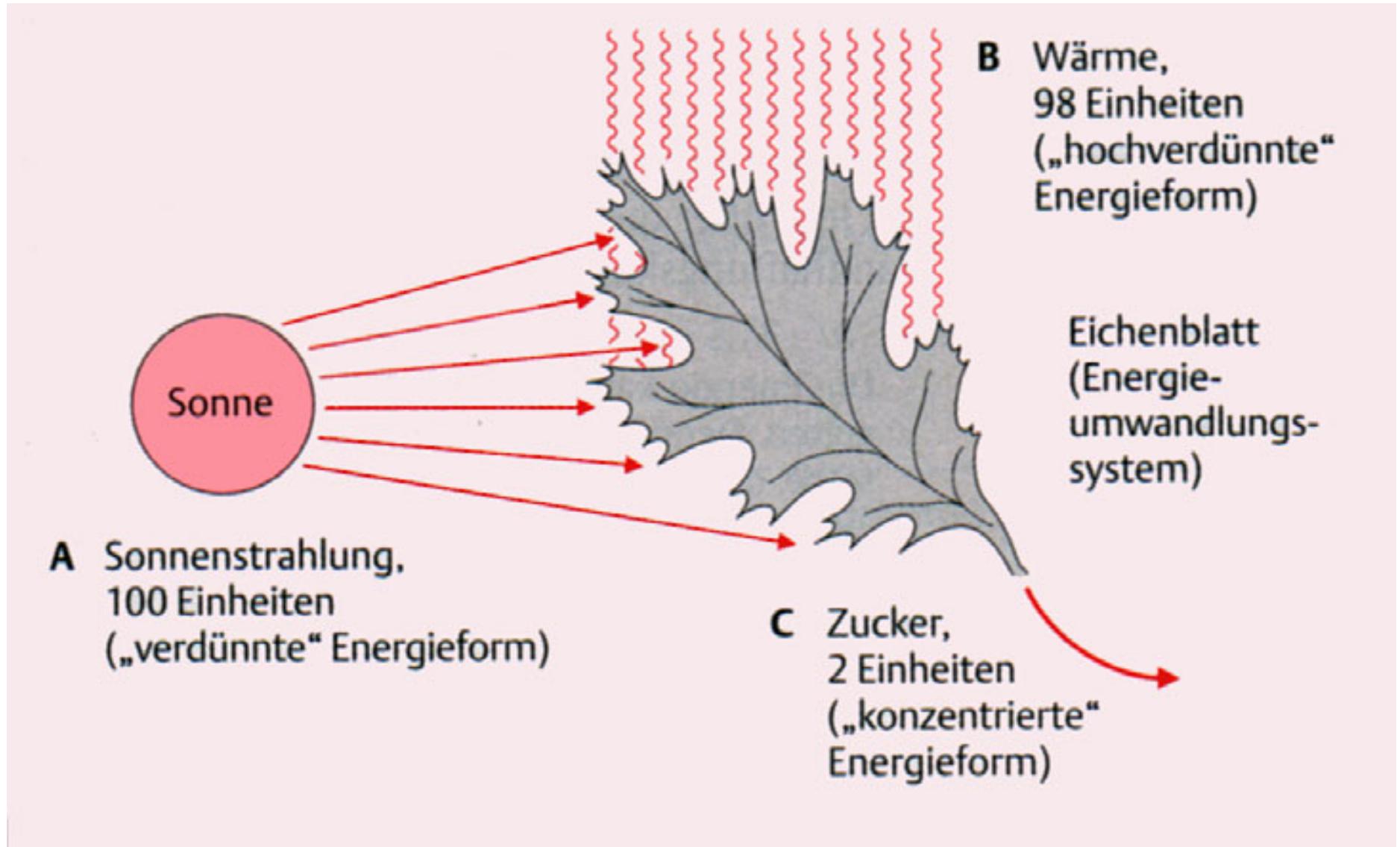
## Thermodynamik

- **Energie ist in ihren Erscheinungsformen austauschbar, kann aber nicht neu geschaffen oder vernichtet werden (Erstes Gesetz der Thermodynamik)**
- **Prozesse der Energieumwandlung verlaufen spontan nur in Richtung eines energieärmeren Zustandes (Zweites Gesetz der Thermodynamik)**
- **Die Umwandlung von Energie (Licht) in potentielle Energie (Protoplasma) erfolgt niemals zu 100%. Ein Teil der Energie geht stets als Wärme verloren (Entropie).**

**Entropie = (griechisch) en = in; tropie = Umformung)**

**Entropie ist ein Maß für den Ordnungsverlust beim Energieverfall**

# 1. Gewässerökologie



# 1. Gewässerökologie

---

## Ökosysteme und Organismen

- Organismen haben die Fähigkeit ein Höchstmaß interner Organisation zu schaffen und zu bewahren. (Zustand geringer Entropie)
- Fortwährende Umwandlung hochwertiger Energie (Licht, Nahrung) in geringerwertige Energie (z.B. Wärme) hält die Entropie auf niedrigem Niveau.
- Die Organisation eines Ökosystems, die Struktur komplexer Biomasse wird durch die Atmung (Respiration) der gesamten Gemeinschaft garantiert.

Respiration pumpt fortwährend die Unordnung aus dem System hinaus. (*Ilja R. Prigogine 1917-2003*)

## Ökosysteme und Organismen sind

- offene, nicht im Gleichgewicht stehende, thermodynamische Systeme;
- sie tauschen fortwährend Energie und Stoffe mit der Umgebung aus
- um interne Entropie zu minimieren und externe Entropie zu maximieren.

# 1. Gewässerökologie

---

## Wasserwirtschaft und Ökologie

- **Wasser ist das wichtigste Lösungsmittel und Transportmedium**
- **Der Wasserkreislauf ist mit allen lebenden Elementen verknüpft**
- **Sonnenenergie organisiert und ordnet die Wechselwirkungen zwischen aquatischen Organismen und der abiotischen Umwelt zu einer Lebenseinheit.**

## Menschliche Aktivitäten belasten aquatische Ökosysteme durch

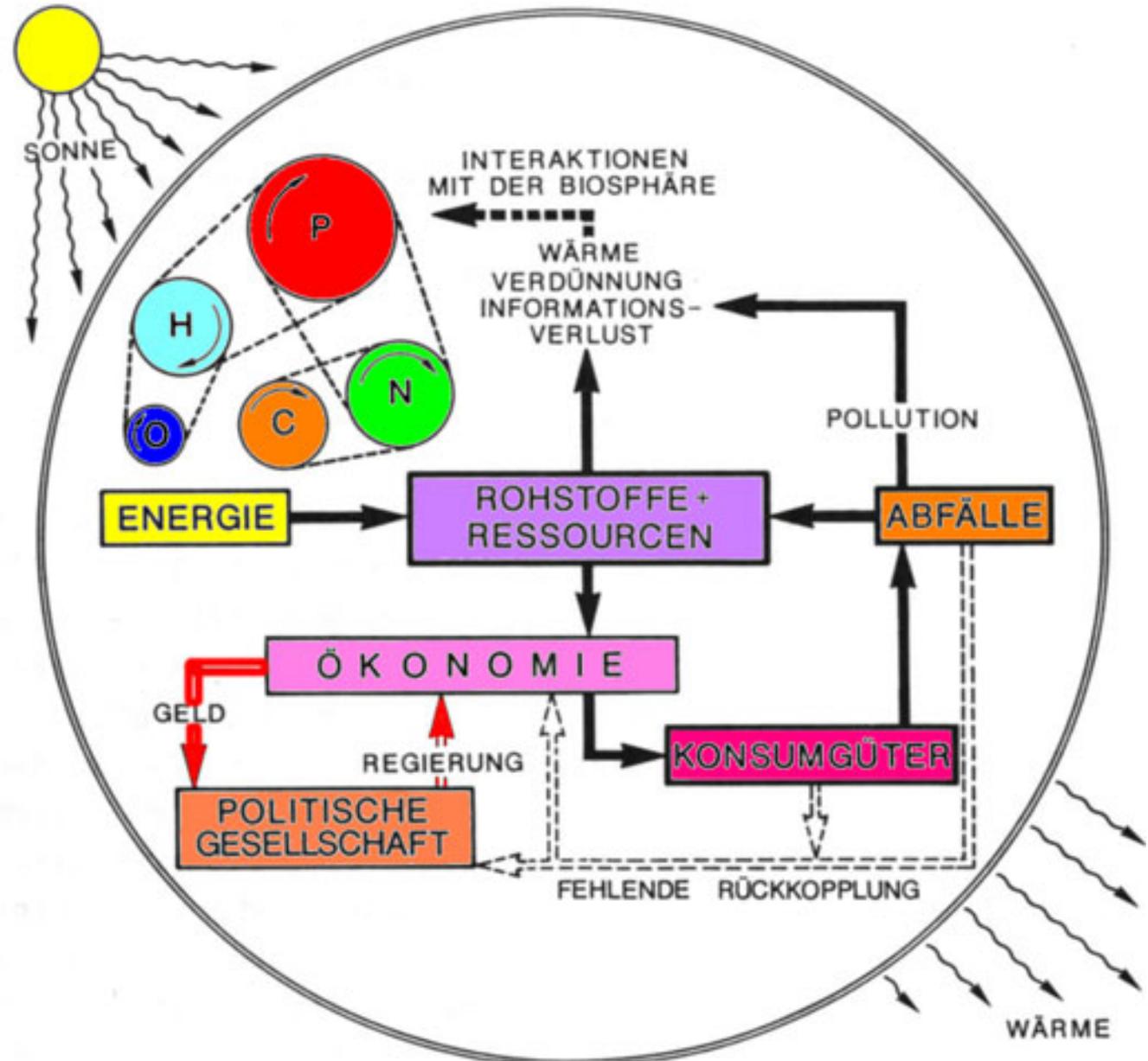
- **Abwasser, semi-toxische und toxische Substanzen (direkt)**
- **Eingriffe in hydrologische, hydrogeochemische Kreisläufe (indirekt)**

## Globale Experimente werden eingeleitet, ohne deren Folgen zu kennen:

- **Menschen benötigen externe Energien (fossile Brennstoffe) zum Erhalt der Zivilisation**
- **Erosionsraten verdreifachten sich durch menschliche Aktivitäten**
- **CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen progressiv an**
- **der Mensch fixiert etwa gleichviel Stickstoff wie die Natur**

# 1. Gewässerökologie

C = Carbon  
H = Hydrogen  
N = Nitrogen  
O = Oxygen  
P = Phosphor



Die Ökosphäre ist von der "Zivilisations-Maschine" überlagert.

# 1. Gewässerökologie

---

## Zivilisation in der Ökosphäre

**Menschliche Aktivitäten beinhalten:**

- **sammeln, umformen, umwandeln und transportieren von Rohstoffen**
- **bei (scheinbar) unbegrenzter Zufuhr von (fossilen Brennstoffen) Energie**

**Der Zwang zum Kapitalumschlag, die Produktionserweiterung und die Steigerung des Kapitalertrages**

- **führen zur autokatalytischen Beschleunigung des Ressourcenverbrauchs**
- **und der Umweltbelastung**

**Ökosysteme sind begrenzt und nur bis zu einem gewissen Grad belastbar.**

**Es braucht viel Aufklärung, Einsicht und Mut zur Anpassung des soziologisch-ökonomischen Systems an die ökologischen Rahmenbedingungen.**

# 1. Gewässerökologie

---

## Komplexe Wechselwirkungen

### Natur ist komplex

- **Man braucht Modelle um Ursache und Wirkungen zu beschreiben**
- **Modelle vereinfachen natürliche Prozesse durch Ausschluss zahlreicher Parameters**
- **Daten sammeln wurde im letzten Jahrzehnt einfacher** (computing wuchert)
- **Bewerten und analysieren von Daten wird schwieriger** (Quantität verhindert Durchblick)

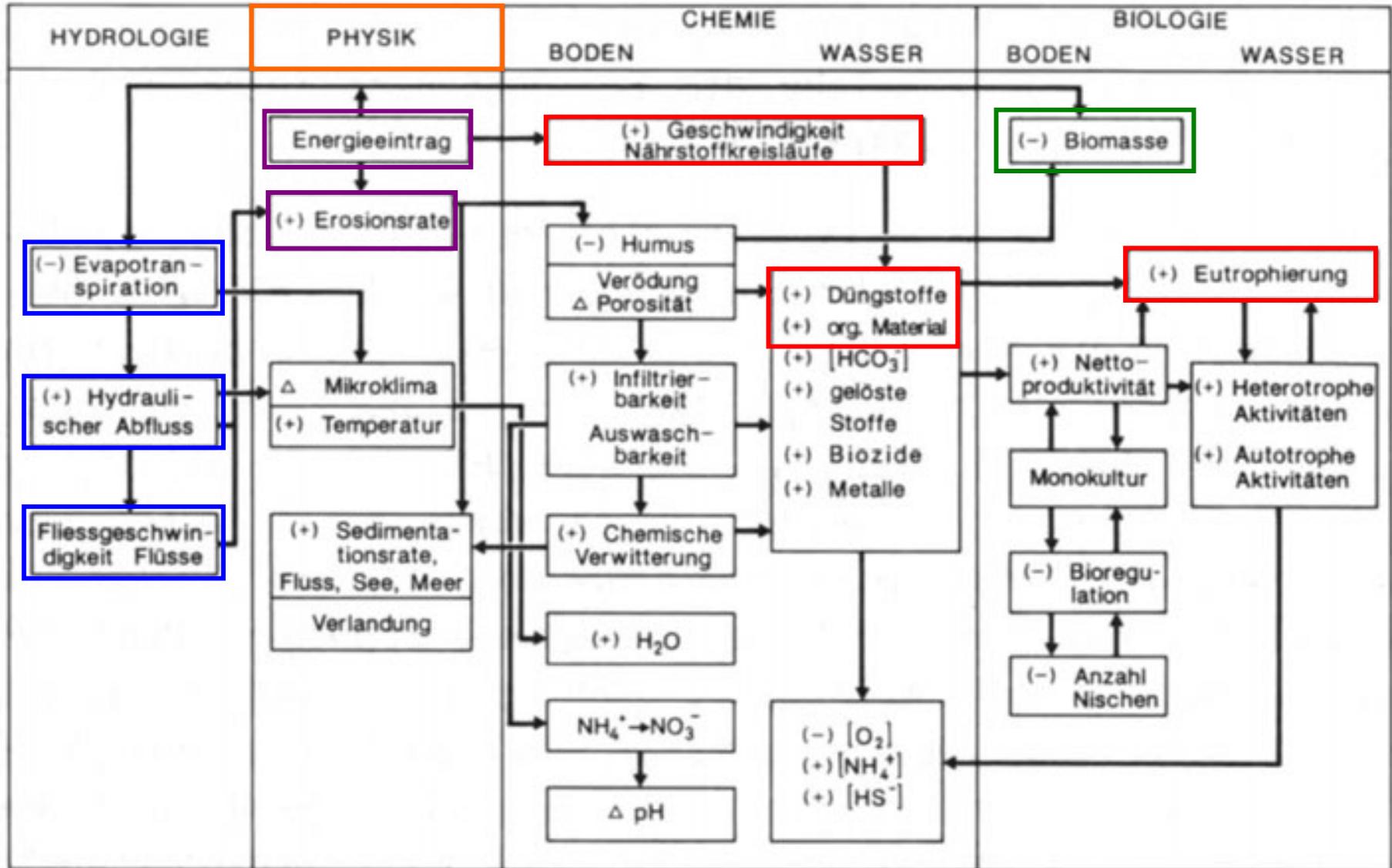
### Wie erklärt man es "Fremden"

- **Wiss. Daten müssen interpretiert und erklärt werden**, das ist die Basis für
- **Diskussionen mit Kollegen** (akademisch, wissenschaftlich)
- **Öffentlicher Dialog mit Laien, Politikern und engagierten Zeitgenossen**

### Bewertung von Natur / Ökosystemen / Biocönosen etc.

- **Erkläre die guten, die schlechten Flüsse, Seen, Moore und Sümpfe den Laien, Politikern und engagierten Zeitgenossen**

# 1. Gewässerökologie



(+) = Zunahme; (-) = Abnahme; (Δ) = Veränderung

# 1. Gewässerökologie

---

## Das "Flaschenexperiment"

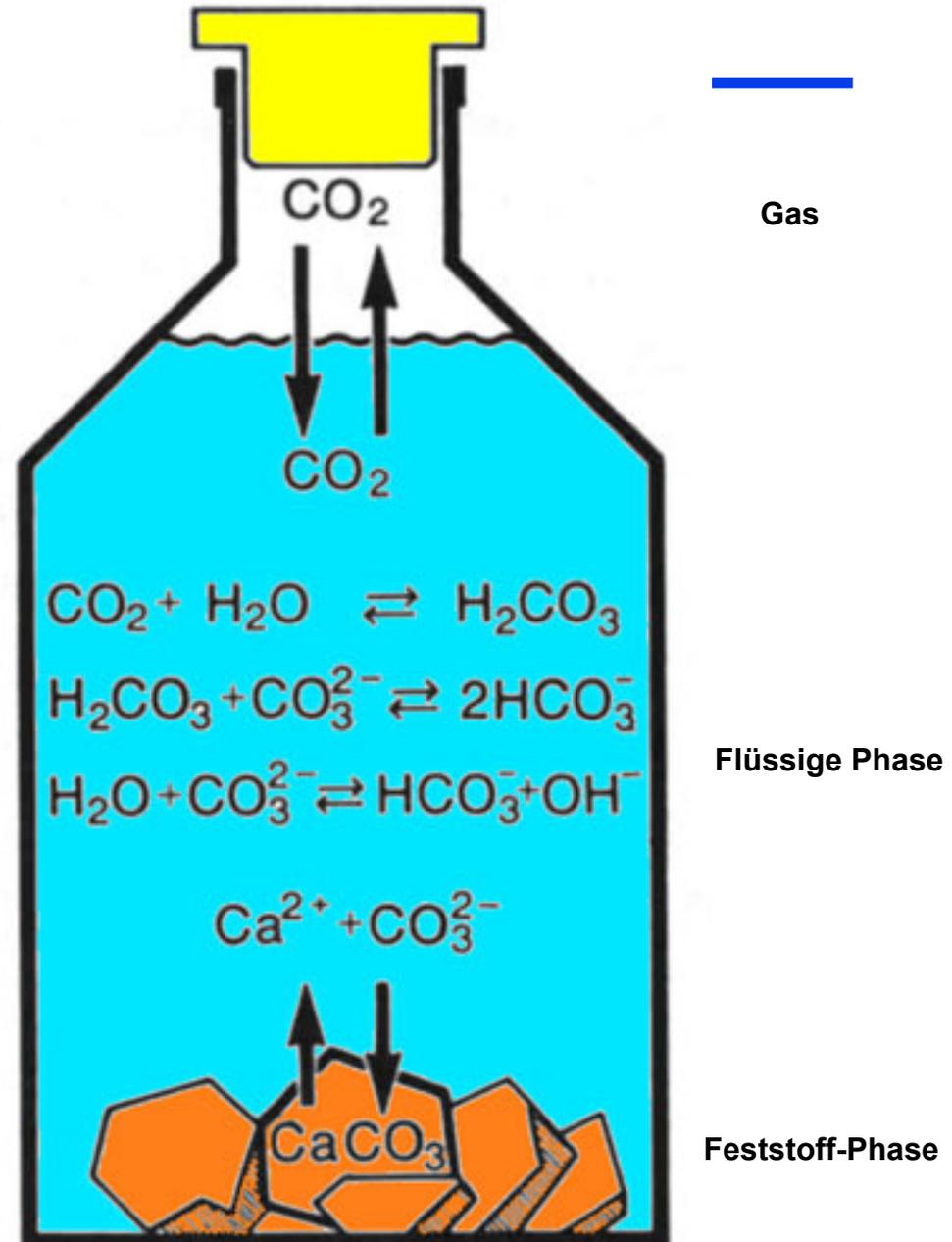
- Fülle eine Glasflasche mit Sand, Kies, Erde und Wasser
- Setze die Flasche dem Tages- und Sonnenlicht aus
- Warte einige Tage
- Die Flasche wird ein Aquarium
- Kleine Organismen werden darin leben, und sie müssen nicht gefüttert werden

Was geschieht in der Flasche ?

# 1. Gewässerökologie

---

- Reaktion aller Komponenten zum
- Chemischen Gleichgewicht (thermodynamisches Gleichgewicht im geschlossenen System)





# 1. Gewässerökologie

---

## Dynamisches Gleichgewicht (thermodynamisches G.)

- Photosynthese wird nur von grünen Pflanzen beherrscht (algae)
- Produzenten (P) sammeln and speichern solare Energie
- Solare Energie wird an Konsumenten / Destruenten (K/D) als Biomasse (Nahrung) weitergegeben
- In der Flasche stellt sich ein "steady state" ein ( $P = D$ )
- Konstante Gehalte von Biomasse, Sauerstoff,  $\text{CO}_2$
- Das thermodynamische Fließgleichgewicht kann sich nur in einem offenen System ausbilden, mindestens ist Energieaustausch mit der Umgebung erforderlich.

# 1. Gewässerökologie

---

## Ergebnisse des "Flaschenexperimentes"

- **Erhaltung von Leben benötigt Sonnenlicht**
- **Energiefluss ermöglicht Kreisläufe von Atomen, Molekülen, Wasser, Mineralien, Nährstoffen und Lebenszyklen auf verschiedenen trophischen Niveaus**

**Ein Ökosystem ist eine Einheit der Umwelt, in welcher durch Energiefluss eine biologische Gemeinschaft (Produzenten, Konsumenten, Destruenten) mit trophischer Struktur and Kreisläufen der lebensnotwendigen Substanzen aufrechterhalten wird.**

**Das Ökosystem zeigt Eigenschaften und Verhaltensweisen, die nicht einfach aus den einzelnen Bestandteilen zusammengestezt sind.**

**Alle teile und Vorgänge innerhalb der Lebensgemeinschaft ordnen sich so, dass das System erhalten wird.**

**Das ist HOMÖOSTASE, aufrechterhalten durch negative Rückkoppelung.**

# 1. Gewässerökologie

---

## Nahrungsnetz und Ökologische Nische

- **Produzenten – Konsumenten – Destruenten bilden die Teile des Nahrungsnetzes**
- **Produktivität der Produzenten ist etwa zehnmal größer als die Konsumentenproduktivität**
- **Konsumenten-Biomasse kann Produzenten-Biomasse übersteigen**

## Energiefluss in aquatischen Systemen

- **Etwa 50% des verfügbaren Lichtes wird vom Phytoplankton absorbiert**
- **Der größere Anteil dieser Energie wird als Wärmeenergie an das Wasser abgegeben**
- **20% bis 50% der Bruttoproduktivität werden von Pflanzen für Atmung verbraucht**
- **Nettoprimärproduktivität beträgt ca. 1% der absorbierten Energie oder 0,5% der eingestrahnten Energie**
- **99% der übrigen Energie wird zum Erhalt der hydrogeologischen Kreisläufe und der Umwelttemperatur benötigt**

# 1. Gewässerökologie

---

## Energiefluss in aquatischen Systemen – Unterschiede Land und Wasser

- Der Hauptanteil pflanzlicher Biomasse wird zersetzt (Destruenten)
- Terrestrisch: bis zu 25% pflanzlicher Biomasse wird als Humus oder Holz gespeichert
- Aquatisch: praktisch keine Energie wird als Biomasse gespeichert; natürliche Sedimente enthalten wenig organische Material
- Umsatzraten pflanzlicher Biomasse sind in aquatischen Systemen sehr viel höher als in terrestrischen
- Aquatische Ökosysteme haben ein sehr viel geringeres "standing crop" als terrestrische Ökosysteme
- Stoff-Flüsse sind in Gewässern schnell, es besteht eine feine Balance zwischen Produktivität und Konsumption (Respiration)

**Aquatische Ökosysteme sind sehr viel störungsanfälliger als terrestrische Ökosysteme.**

# 1. Gewässerökologie

---

## Ökologische Nische

Die Kapazität eines aquatischen Ökosystems wird bestimmt von der Produktivität (Nährstoffverfügbarkeit) und dem Energiefluss

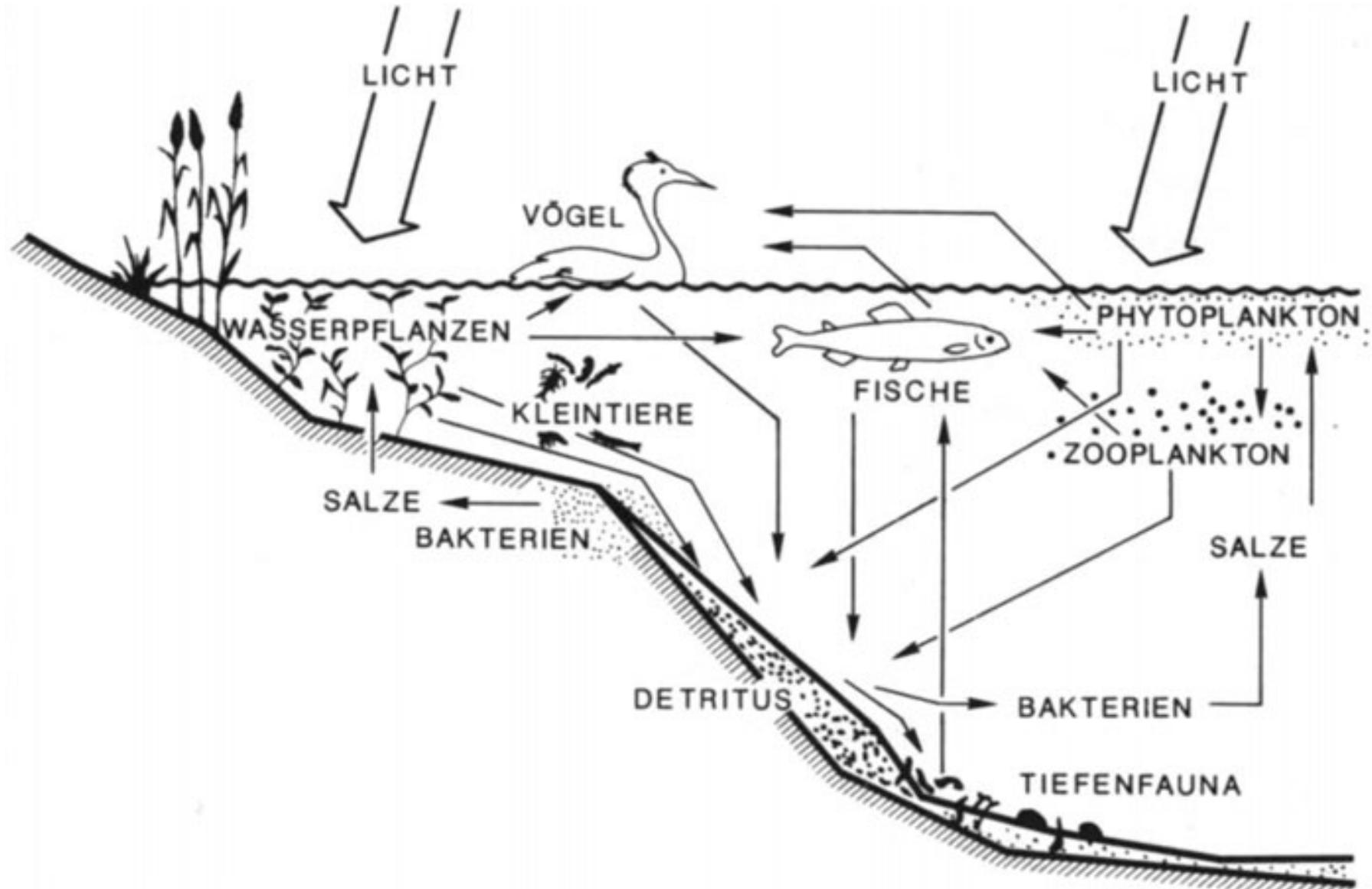
- Wechselwirkungen aquatischer Organismen: Wettbewerb der Arten, Räuber-Beute-Systeme, Parasitismus, Kommensalismus, Symbiosen
- Wettbewerb um Nährstoffe, Licht, Verstecke, Brutplätze, etc. führt zu Spezialisierungen
- Spezialisierung entwickelt sich räumlich und zeitlich

Die ökologische Nische ist eine Funktion in der räumlich, zeitlichen und physico-chemischen Struktur eines Ökosystems.

*E. Odum* (1980) vergleicht die Nische mit dem "Beruf" eines Organismus.

Bei vielfältigen Lebensbedingungen entwickelt ein Ökosystem eine hohe Artendichte mit geringer Individuenzahl. Dieses System ist stabil gegenüber Beeinträchtigungen. Die System-Regulierung geschieht durch die Populationen, die Homöostase funktioniert optimal.

# 1. Gewässerökologie



Nahrungsnetz in einem Gewässer (nach Reichelt 1974)

# 1. Gewässerökologie

---

## Gliederung der Binnengewässer

### Unterirdische Gewässer

- Grundwasser
- Höhlengewässer

### Oberflächengewässer (Fließgewässer)

- Quellen, Gebirgsbäche, Bergbäche, Flüsse, Ströme

### Oberflächengewässer (Stehende Gewässer)

- Seen, Weiher, Teiche

### Oberflächengewässer (periodisch trockenfallend)

- Sümpfe, Moore, Marschgewässer

Niederschlag wird in Fließgewässern transportiert und in stehenden Gewässern gespeichert.

# 1. Gewässerökologie

---

## Kennzeichen der Seen

Seen bedecken ca. 1,8% des Festlandes (2,5 million km<sup>2</sup>) und beinhalten ca.  $2,8 * 10^5$  km<sup>3</sup> Wasser.

Flächengrößter See ist das *Kaspische Meer* (436.400 km<sup>2</sup>), gefolgt vom *Tanganyika-See* (34.000 km<sup>2</sup>, Tiefe: 1.470 m) und dem *Baikalsee* (31.500 km<sup>2</sup>, Tiefe: 1.620 m).

Größte Süßwassermenge sind die Nordamerikanischen Seen (Great Lakes), 242.000 km<sup>2</sup>.

### Entstehung:

- Tektonische Seen
- Damm-Seen (glaziale Serie)
- Ausräumungs-Seen (glaziale Serie)

# 1. Gewässerökologie

---

## **Tektonische Seen (endogene Entstehung)**

**Tektonische Senken: (z.B.) Tanganjika, Baikal, Ochrid, Neusiedler See**

**Vulkanische Aktivitäten: Kraterseen, Maare (Explosionskrater)**

## **Damm-Seen (exogene Entstehung)**

**Moränen-Seen (Gletscher): Seen in Nordeuropa und Nordamerika**

## **Ausräumungs-Seen (exogene Entstehung)**

**Kar-Seen (Gletscher): Seen in vergletscherten Gebirgen**

**Seen glazialen Ursprungs sind nicht älter als ca. 10.000 Jahre (junge Seen)**

# 1. Gewässerökologie

---

## **Weiher**

**"See ohne Tiefe" (Forel); Tiefe: < 2 m; oft von Makrophyten bedeckt;  
Verlandungsstadium eines Sees, artenreich**

## **Teich**

**Ähnlich wie Weiher, aber künstlich**

## **Tümpel**

**periodischer Wasserkörper; geringe Tiefe (Regenwasser, Schmelzwasser,  
Veränderungen des Grundwasserspiegels)**

**Entwicklung und Beständigkeit geben die Rahmenbedingungen für die  
Entwicklungszyklen der aquatischen Organismen vor.**

# 1. Gewässerökologie

---

## **Kennzeichen der Fließgewässer (1)**

**Fließgewässer sind die natürliche Oberflächenentwässerung**

**Entstehung:**

- **Ursprung aus Quellen oder Seen**

**Quell-Typen (Grundwasser-Abfluss):**

- **Limnokrene (Tümpelquelle)**
- **Helokrene (Sumpfquelle)**
- **Rheokrene (Sturz- oder Sprudelquelle)**

**Im Gegensatz zu natürlichen Quellen sind Brunnen künstliche Grundwasseraufschlüsse.**

# 1. Gewässerökologie

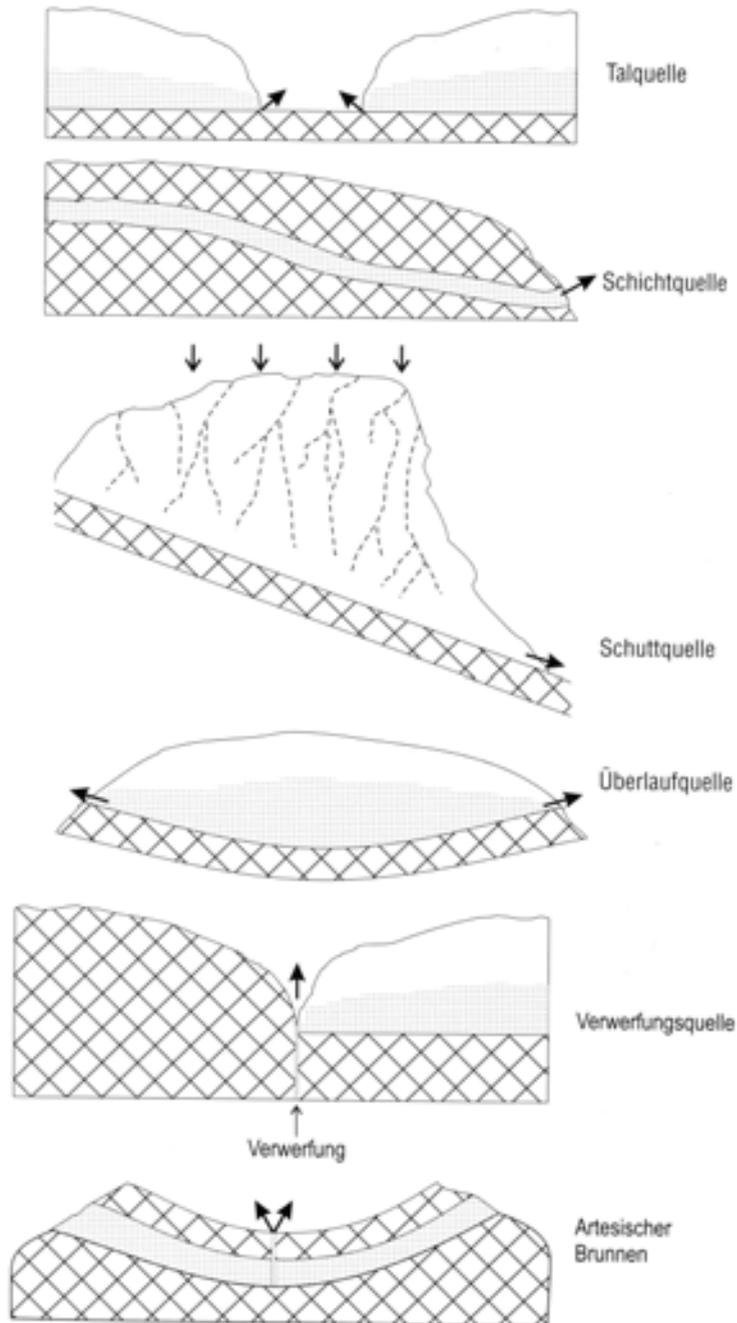
---

## Auslaufquellen:

- Talquelle
- Schichtquelle
- Schuttquelle
- Überlaufquelle

## Aufsteigende Quellen:

- Verwerfungsquelle
- Artesischer Brunnen



# 1. Gewässerökologie

---

## Kennzeichen der Fließgewässer (2)

Wasserbewegung ist turbulent, in Abhängigkeit von der Geländeneigung, dem Abfluss, dem Gerinneprofil und der Rauigkeit

Kinetische Energie der Fließgewässer verursacht

- Erosion und
- Materialtransport
- Sedimentation in arealen minimalen Gefälles und geringer Fließgeschwindigkeit.
- Materialtransport als Geschiebe und Schwebstoffe (Schwebstoffe reicher in Mittel- und Unterläufen).
- Schwebstoffe beeinflussen Lichtexposition und Primärproduktion.

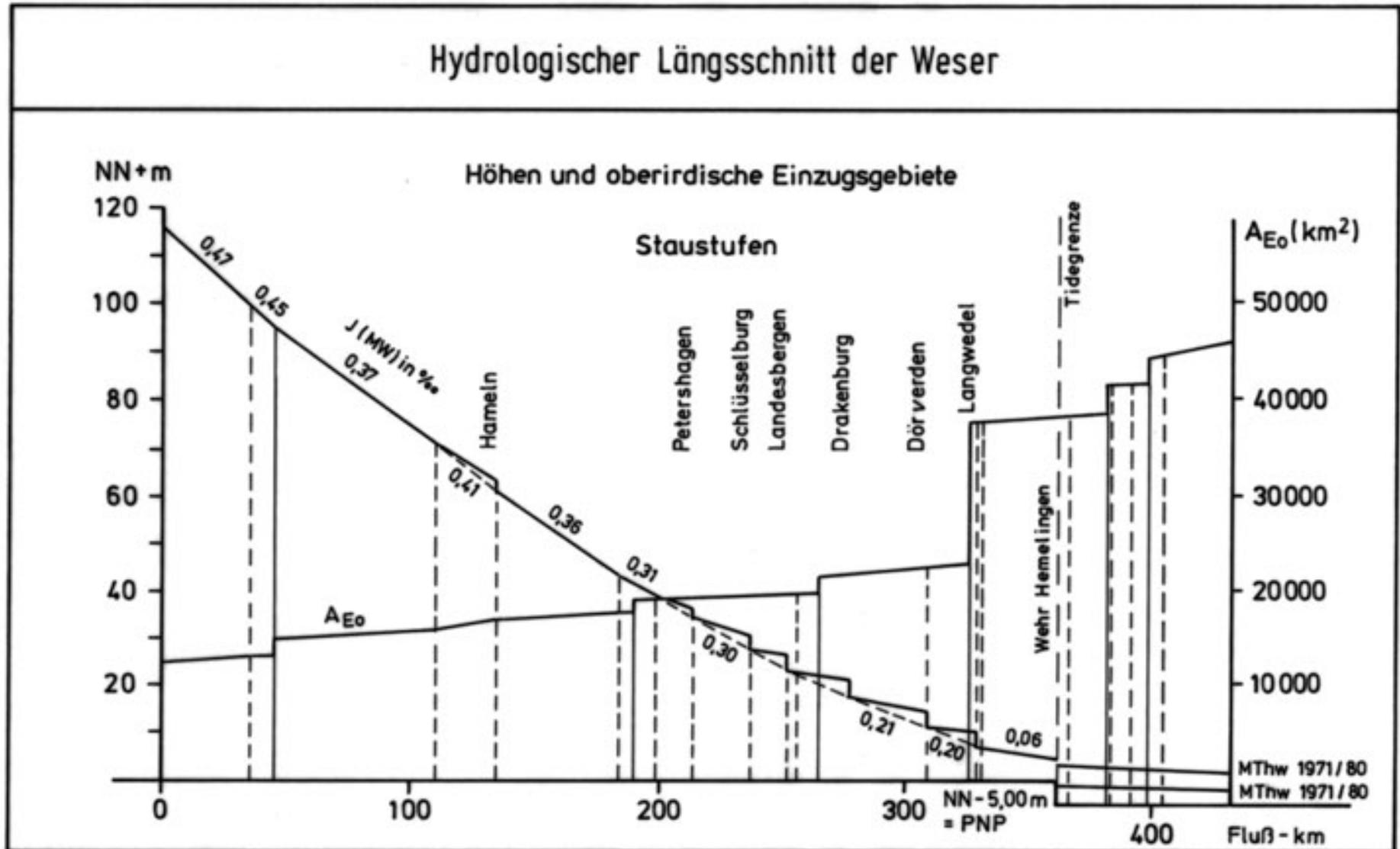
Fließgewässer sind dynamische Landschaftsgestalter und hochgradig durch allochthone Prozess beeinflusst.

In Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluss, zeigen Fließgewässer pulsierende Ausdehnungen.

Dieser Vorgang ist einmalig für ein Ökosystem.



# 1. Gewässerökologie



# 1. Gewässerökologie

---

## Eigenschaften des Wassers

### Temperatur, Dichte und spez. Volumen des Wassers

Temperatur °C	Dichte kg/l	spez. Volumen l/kg
0 (Eis)	0,91860	1,08861
0 (H <sub>2</sub> O)	0,99987	1,00013
<b>4</b>	<b>1,00000</b>	<b>1,00000</b>
5	0,99999	1,00001
10	0,99973	1,00027
15	0,99913	1,00087
18	0,99862	1,00138
20	0,99823	1,00177
25	0,99707	1,00293
30	0,99568	1,00434
35	0,99406	1,00598

Max. Dichte bei 3,940 °C und 101.325 Pa (= 1 atm),  
kühleres oder wärmeres Wasser ist leichter und hat gegenüber Wasser von 4 °C beträchtlichen  
Auftrieb.

# 1. Gewässerökologie

---

Temperatur °C	Auftrieb g/m <sup>3</sup>
0 (Ice)	85,1 * 10 <sup>3</sup>
0 (H <sub>2</sub> O)	132
4	0
5	8
10	273
20	1870
25	2929

- Dichteänderung nimmt mit steigender Temperatur stark zu.
- zwischen 24 °C und 25 °C ist die Dichtedifferenz 26 mal größer als zwischen 4 °C an 5 °C. Darauf beruht die Stabilität thermisch geschichteter Tropenseen.
- Dichte steigt mit dem Anteil gelöster Stoffe nahezu linear.
- Konzentration gelöster Stoffe in Süßwasser: < 1mg/l.

# 1. Gewässerökologie

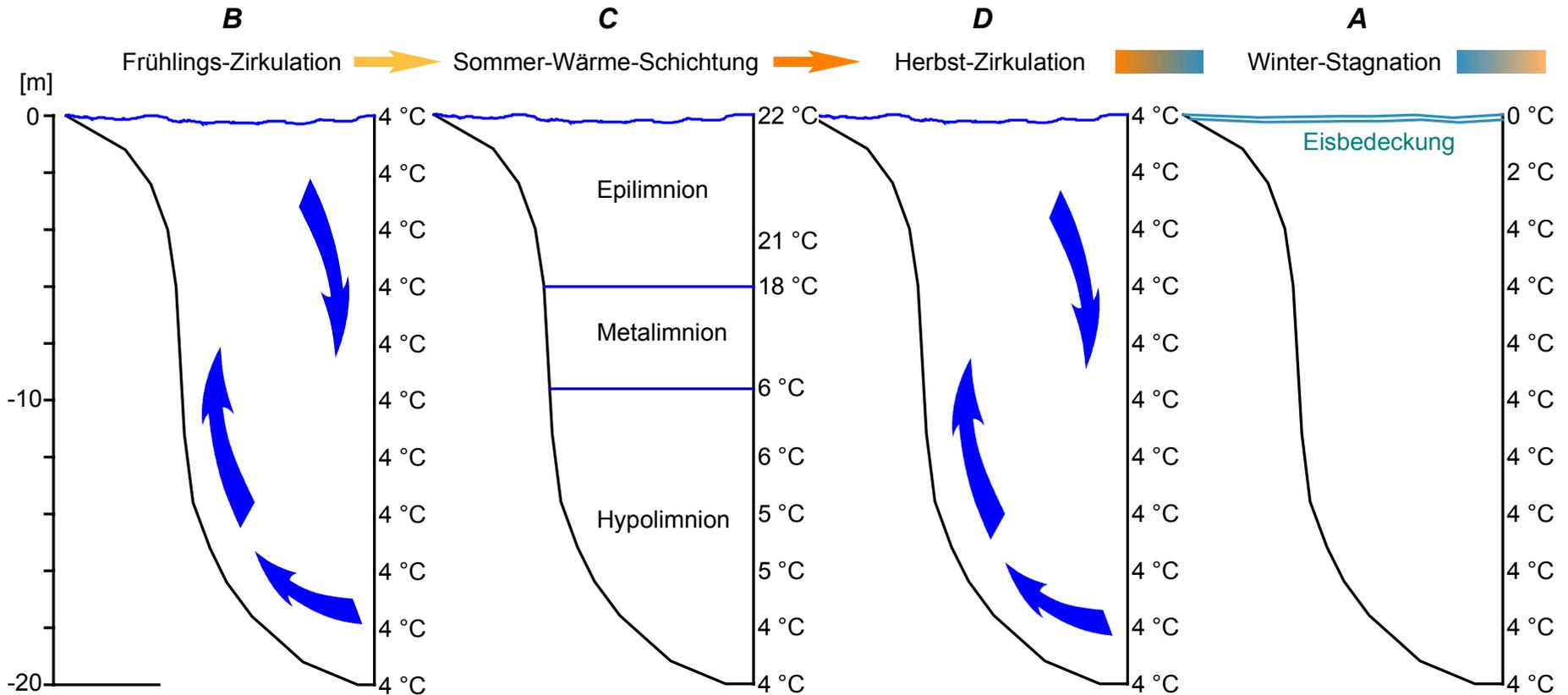
---

## Dichtanomalie des Wassers

- **Das Tiefenwasser der Seen kann nicht kälter sein als Wasser beim Dichtemaximum, also = 4 °C !**
- **Gewässer frieren von der Oberfläche her zu**
- **Die Eisdecke schützt die tieferen Zonen vor dem Zufrieren**
- Würde das Gewässer vom Grunde her gefrieren, so würde wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit des Wassers die sommerliche Wärmezufuhr nicht ausreichen, das Eis in den Gewässern aufzutauen.
- Das ist ein höchst bedeutsames Ereignis für das aquatische Leben (und für das Leben überhaupt... )
- **Thermische Leitfähigkeit erlaubt nur ein Minimum molekularen Wärmetransportes.**
- Wärmetransport basiert auf Wasserbewegung (mechanisch)

# 1. Gewässerökologie

## Jährliche Zirkulation eines dimiktischen, holomiktischen Sees



# 1. Gewässerökologie

---

## Mixis stehender Gewässer

- **amiktisch:** polare und alpine Seen (permanente Eisbedeckung)
- **kalt monomiktisch:** polare, subpolare Seen mit 1 kompletten Zirkulation/Jahr
- **dimiktisch:** temperierte Seen in Nordamerika und Eurasien mit 2 vollständigen jährliche Durchmischungen
- **warm monomiktisch:** subtropischer Typ mit abkühlendem Oberflächenwasser während der Wintermonate und 1 vollständigen jährlichen Durchmischung
- **oligomiktisch:** tropische Seen mit seltenen, unregelmäßigen Vollzirkulationen
- **warm polymiktisch:** tropische Seen mit häufigen Vollzirkulationen bei stärkerer nächtlicher Abkühlung
- **kalt polymiktisch:** tropische Hochgebirgsseen mit fast ständiger Vollzirkulation (z.B. Titicaca-See)
- **meromiktisch:** fehlende Zirkulation am Seegrund (Profundal) aufgrund geringer Oberfläche und großer Tiefe (morphologisch bedingte Meromixis), windgeschützter Lage (topografisch bedingte Meromixis), erhöhte Salinität im Hypolimnion (chemisch bedingte Meromixis)

# 1. Gewässerökologie

---

## Wärmehaushalt der Fließgewässer

- Tägliche Temperaturschwankungen in der fließenden Welle sind umso größer, je geringer die Quelltemperaturen im Vergleich zur Lufttemperatur sind
- Quelltemperaturen entsprechen der mittleren Lufttemperatur

## Temperaturklassifikation der Fließgewässer

Kaltbäche (sommerkalt)	0 - 17 °C
Temperierte Bäche (sommerwarm)	17 - 29 °C
Warmbäche	29 - 40 °C
heiße Quellen und Bäche	> 40 °C