

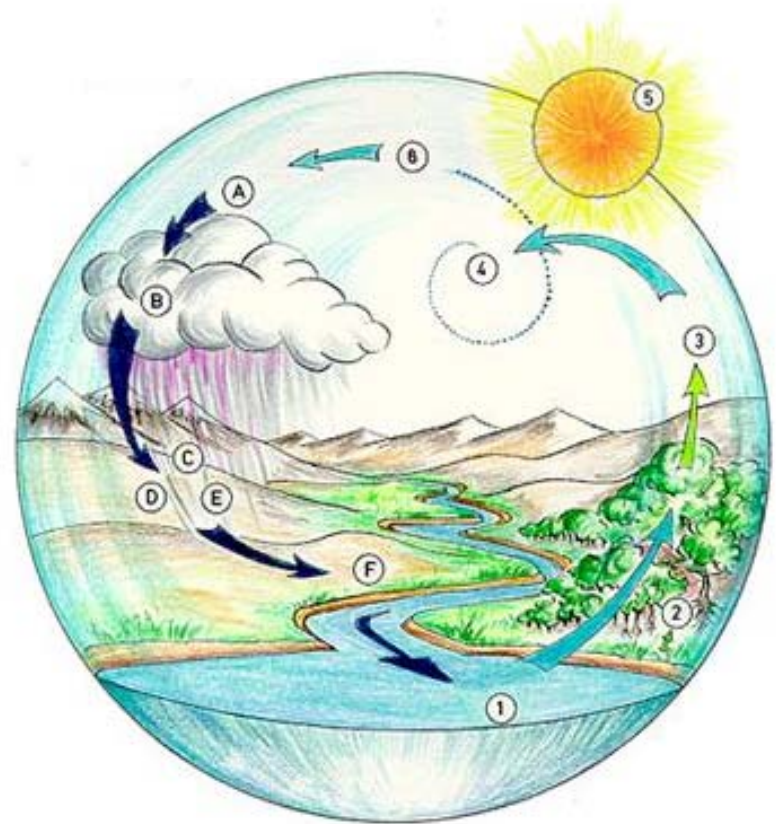
Nährstoffbilanzen aquatischer Lebensgemeinschaften

Ökologie VO 831.330

Otto Moog,
Inst. Hydrobiologie & Gewässermanagement

Wasserkreislauf

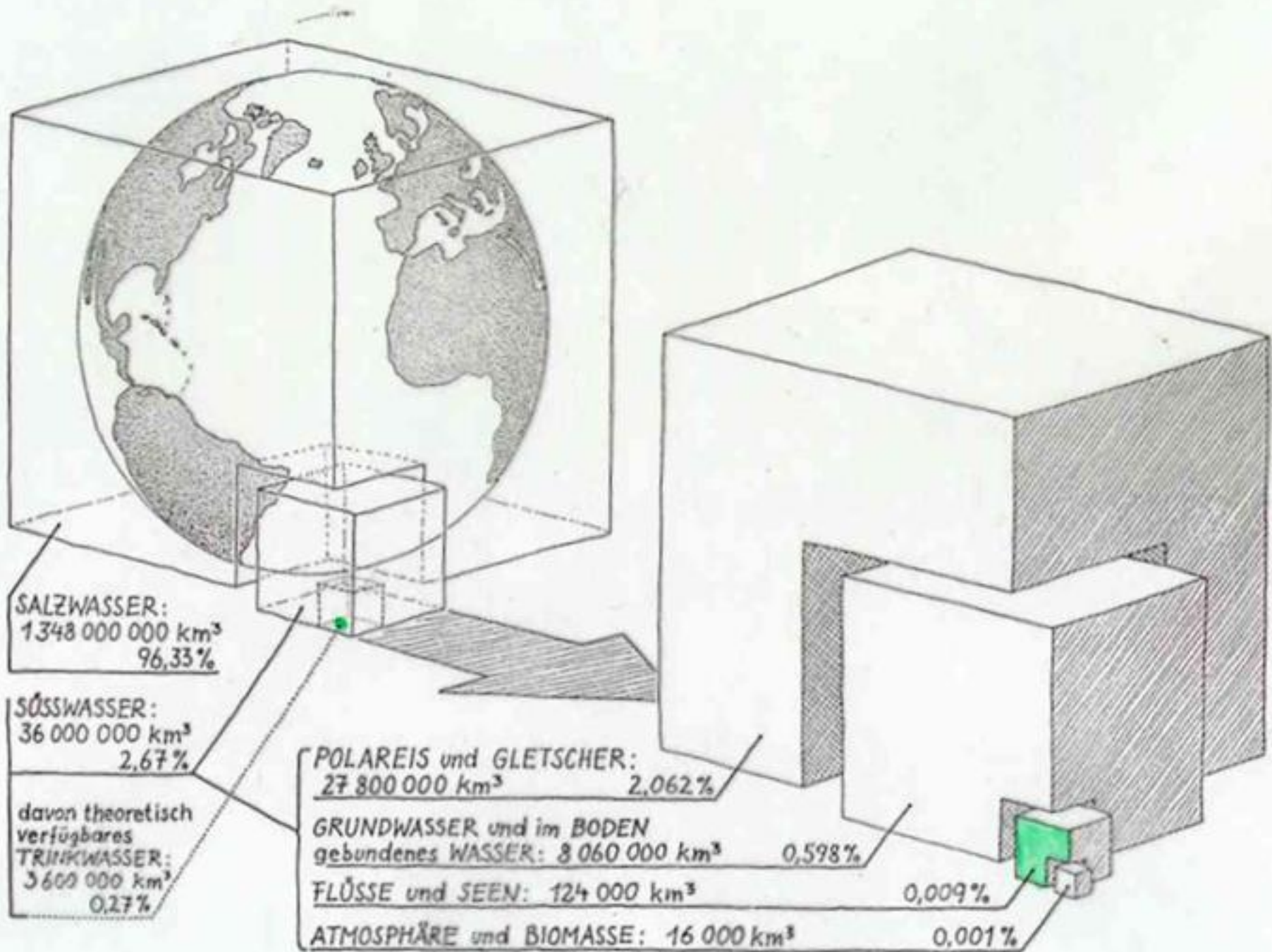
Für die Erstellung von **Nährstoffbilanzen** sowie eine verantwortungsvolle Nutzung der Ressource Wasser ist die **Kenntnis des Wasserkreislaufes** von grundlegender Bedeutung.



Der blaue Planet

Die Erde, der „blaue Planet“ enthält nur 2,7 % Süßwasser; **nur 0,27 %** stehen theoretisch als **Trinkwasser** zur Verfügung; davon 0,009% in Seen und **0,0001%** in **Flüssen**.

Süßwasserressourcen zählen zu unseren wertvollsten Gütern, sind unersetzbar und gefährdet (CIPRA 52/99).

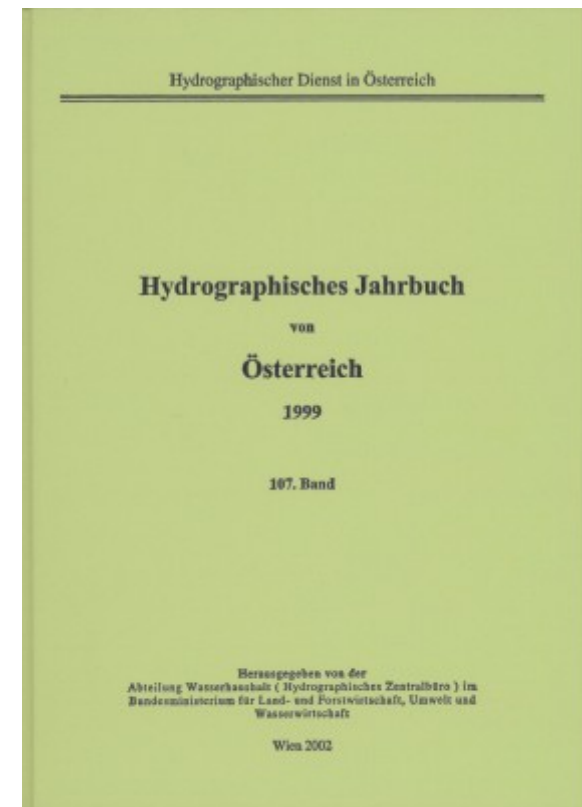


Kenntnis des Wasserkreislaufes in Österreich



- Seit **1893** erhebt der Hydrographische Dienst in Österreich die quantitativen Komponenten des Wasserkreislaufes in Österreich.

- „Hydrographischer Dienst“ betreibt ein **Basisnetz** zur Beobachtung der wesentlichsten Komponenten des Wasserkreislaufes.
 - Hydrographisches Zentralbüro:
Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt,
im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt & Wasserwirtschaft (BMLFUW)
1030 Wien Marxergasse 2
- § 55k Abs. 2 WRG 2003: es ist eine **Aufgabe des BMLFUW** diese Daten zu sammeln und in geeigneter Form, insbesondere als Berichte oder im Internet zu veröffentlichen



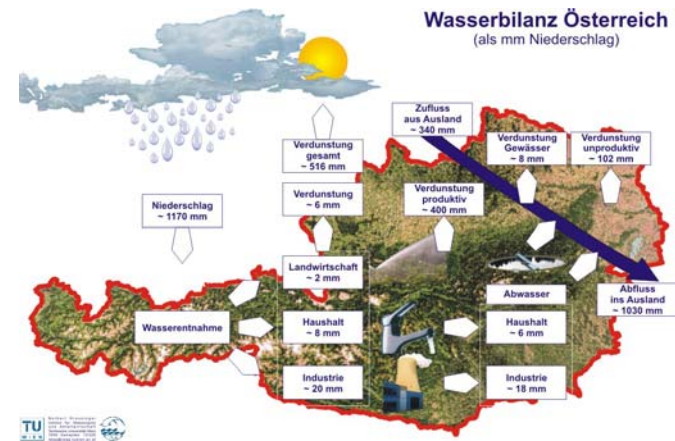
Wasserbilanz

- Hauptkomponenten zur Erstellung der Wasserbilanz

- Niederschlag
- Verdunstung
- Zu- und Abfluss
(Wasserstand und Abfluss, Flüsse, Seen, Grundwasser und Quellen)
- Luft- und Wassertemperatur,
- gesamte Fläche des österreichischen Bundesgebietes (83.853 km²)

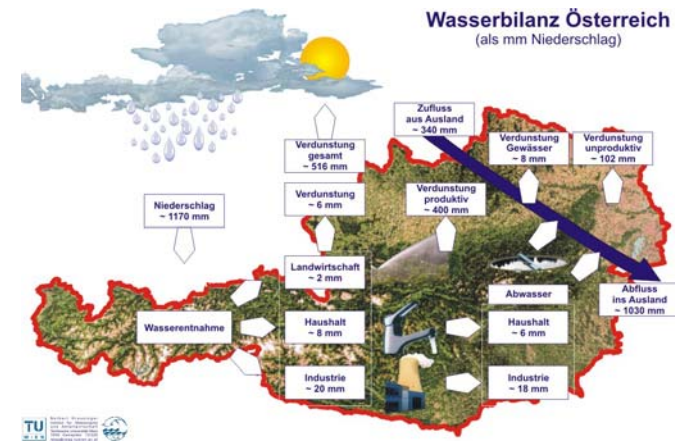


Wasserbilanz (Niederschlagshöhe)



- Die Mittelwerte über 30 Jahre betragen
 - für den Jahresniederschlag 1170 mm
 - für die jährliche Verdunstung 516 mm
 - für den Abfluss 654 mm
 - Zufluss vom umliegenden Ausland 340 mm
 - Gesamtabfluss aus Österreich ca. 1000 mm pro Jahr.

Wasserbilanz (volumetrisch)



- Wassermenge gesamtes Bundesgebiet: 98 Mrd. m³
- in den Oberflächengewässern fließen: 55 Mrd. m³
- durch Verdunstung gehen verloren: 43 Mrd. m³
- mittlerer Zufluss aus dem Ausland: 29 Mrd. m³

Das jährliche gesamt nutzbare Wasserdargebot durch Niederschläge und Zuflüsse (minus Verdunstung) beträgt somit rund **84 Mrd. m³**

Wasserverbrauch Österreich

- von den **84** Mrd. m³ werden **2,6** Mrd. m³ direkt genutzt (ohne Fluss-Kraftwerke und Kühlwasserbedarf der Wärmekraftwerke)

- entspricht **3 %**

bzw. einem Niederschlag von 30 mm pro Jahr

Wasserverbrauch/Dargebot Europa

- In Europa werden im Mittel **13** % des Wasserdarbotes genutzt,
- in Deutschland **28** %
- in Italien **32** %

- gesamter Wasserdurchsatz für die **Stromproduktion** aus Wasserkraft beträgt ca. 840 Mrd. m³ und entspricht etwa dem **15-fachen** des jährlichen oberirdischen Abflusses aus Österreich.
- = jeder Tropfen Wasser, der Österreich über die Flüsse verlässt, zuvor 15 mal durch eine Wasserturbine abgearbeitet wird.

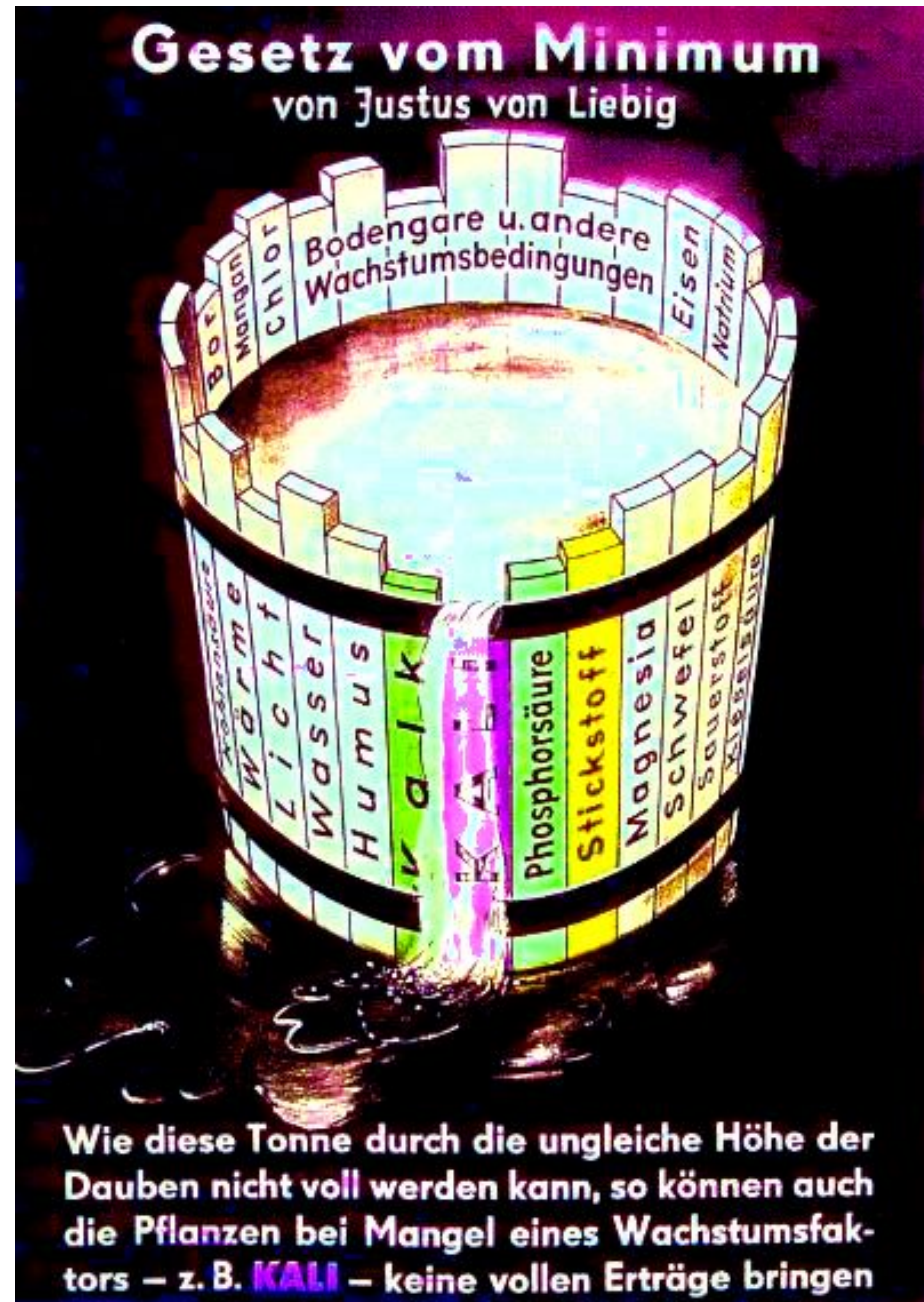
C:H:O:N:P - Verhältnis

- Das Pflanzenwachstum eines Gewässers wird begrenzt durch die relativen Anteile der Elemente der Biomasse im Wasser.
- Die Verhältnisse der Atommassen sind
 $C:H:O:N:P = 106:180:44:16:1$
- **N:P = 16:1**
- Im aquatischen Bereich ist der **Phosphor** häufig der **Minimumfaktor**
- Ausnahme Silizium

Liebig's Gesetz vom Minimum, 1855

- Der Faktor, der im Minimum vorhanden ist, begrenzt das Wachstum.
- Wenn ein Wachstumsfaktor fehlt, wird auch eine optimale Versorgung mit allen anderen Faktoren nicht das gewünschte Wuchsergebnis erbringen.

- Anschaulich wird das Gesetz vom Minimum durch das Bild einer Tonne, bei der eine Daube kürzer ist als die anderen.
- Man kann noch so viel Wasser in diese Tonne gießen, es wird immer nur so hoch stehen, wie die niedrigste Daube es erlaubt.



N:P-Verhältnis in der Realität

- Das theoretische Verhältnis von Stickstoff- zu Phosphorbedarf Protoplasma einer Zelle beträgt **16:1**
- ökophysiologische Untersuchungen zeigen, dass die optimalen N:P - Verhältnisse artspezifisch verschieden und daher von erheblicher Bedeutung für die Konkurrenzfähigkeit der Wasserpflanzen sind.

N:P-Verhältnisse in der Realität

Melosira binderana 7:1

Microcystis sp. 9:1

Ankistrodesmus falcatus 21:1

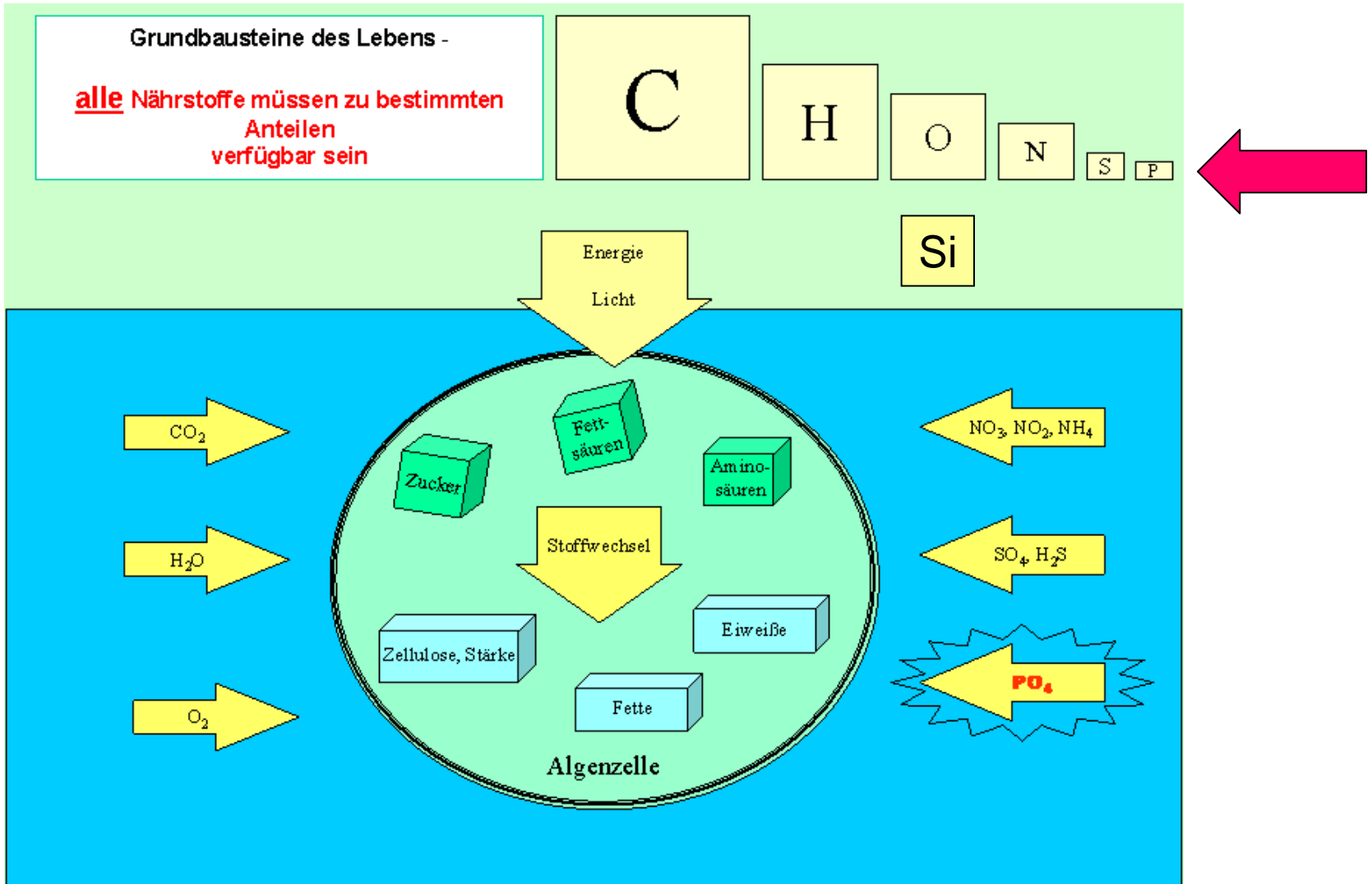
Fragillaria crotonensis 25:1



Oscillatoria redekei 43:1

Oscillatoria agardhii 67:1

Alle Nährstoffe müssen zu bestimmten Anteilen verfügbar sein





Phosphor - ein Schlüsselelement lebender Organismen

Phosphor ist ein für alle
Lebensvorgänge in der Biosphäre
unersetzliches Element.

Phosphor



- **Hennig Brand** entdeckte 1669 den Phosphor, als er auf der Suche nach dem Stein der Weisen eingedampften Harn stark erhitzte
- Phosphoros = Lichtträger.



Phosphor



- Phosphor ist das wichtigste wachstumslimitierende Element des Ökosystems.
- In den Kreislauf wird Phosphor in Form des Phosphat-Ions (PO_4^{3-}) gebracht.
- Herkunft der Phosphate
 - Auswaschung aus dem Muttergestein
 - bergmännisch abgebaut
 - organische Phosphorquellen (Guano)

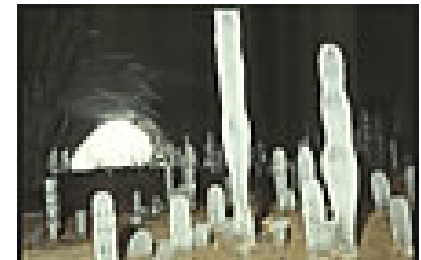
- Phosphor liegt in der unbelebten Natur primär in der Form des wasserunlöslichen Calciumphosphats **Apatit** vor.

Phosphormineralien

- *Phosphormineralien* sind beispielsweise
 - Fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$,
 - Phosphorit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$,
 - Vivianit (Blaueisenerz) $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$,
 - Pyromorphit (Buntbleierz) $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$
 - Türkis $\text{CuAl}_6[(\text{OH})_2\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
 - Phosphosiderit
 - Rockbridgeit
 - P-haltige Eisenerze (Minette, Magnetit).

Phosphorvorkommen

- Die Hauptvorkommen liegen in
 - Peru
 - Marokko
 - USA
 - SU
- Die Welt-Rohphosphatförderung liegt bei etwa 170 Mill. t/a
- Österreich: ehemals Guanoabbau (Fledermauskot) in der Drachenhöhle bei Mixnitz



Bedeutung des Phosphors für Organismen

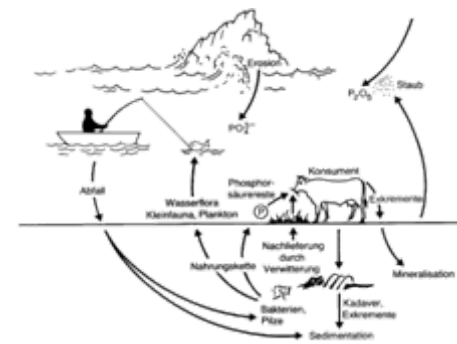
Bedeutung des Phosphors für Organismen

- Phosphate spielen eine wichtige Rolle in der Biochemie.
- beteiligt am Aufbau biologisch höchst bedeutsamer Moleküle, etwa der Desoxyribonukleinsäure (DNA) und des Adenosintriophosphats (ATP).
- ATP: chemischer Energie-Speicher
- Für alle chemischen Prozesse, die den Stoffwechsel von Pflanzen und Tieren bewirken, wird Energie benötigt.

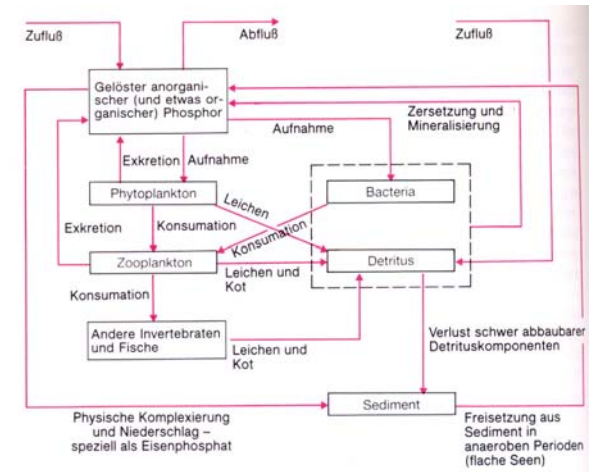
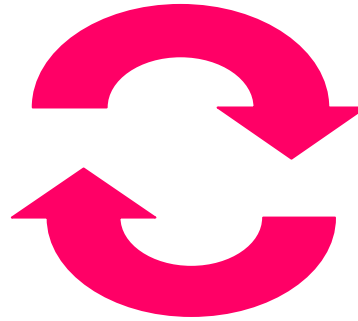
Bedeutung des Phosphors für Organismen

- **Pflanzen** nehmen den Phosphor vor allem als primäres Phosphat (HPO_4^{2-} Hydrogenphosphat, H_2PO_4^- , Dihydrogenphosphat) auf.
- Die heterotrophen Lebewesen nehmen das pflanzliche Phosphat mit der Nahrung auf. Sie benötigen es z.B. für den Energiestoffwechsel und als Calciumphosphat für den Knochenaufbau.
- Beim **mikrobiellen Abbau** organischer Reststoffe (Pflanzenreste, Exkremente von Tieren und Kadaver) wird der Phosphor zu pflanzenverfügbaren Phosphaten umgewandelt

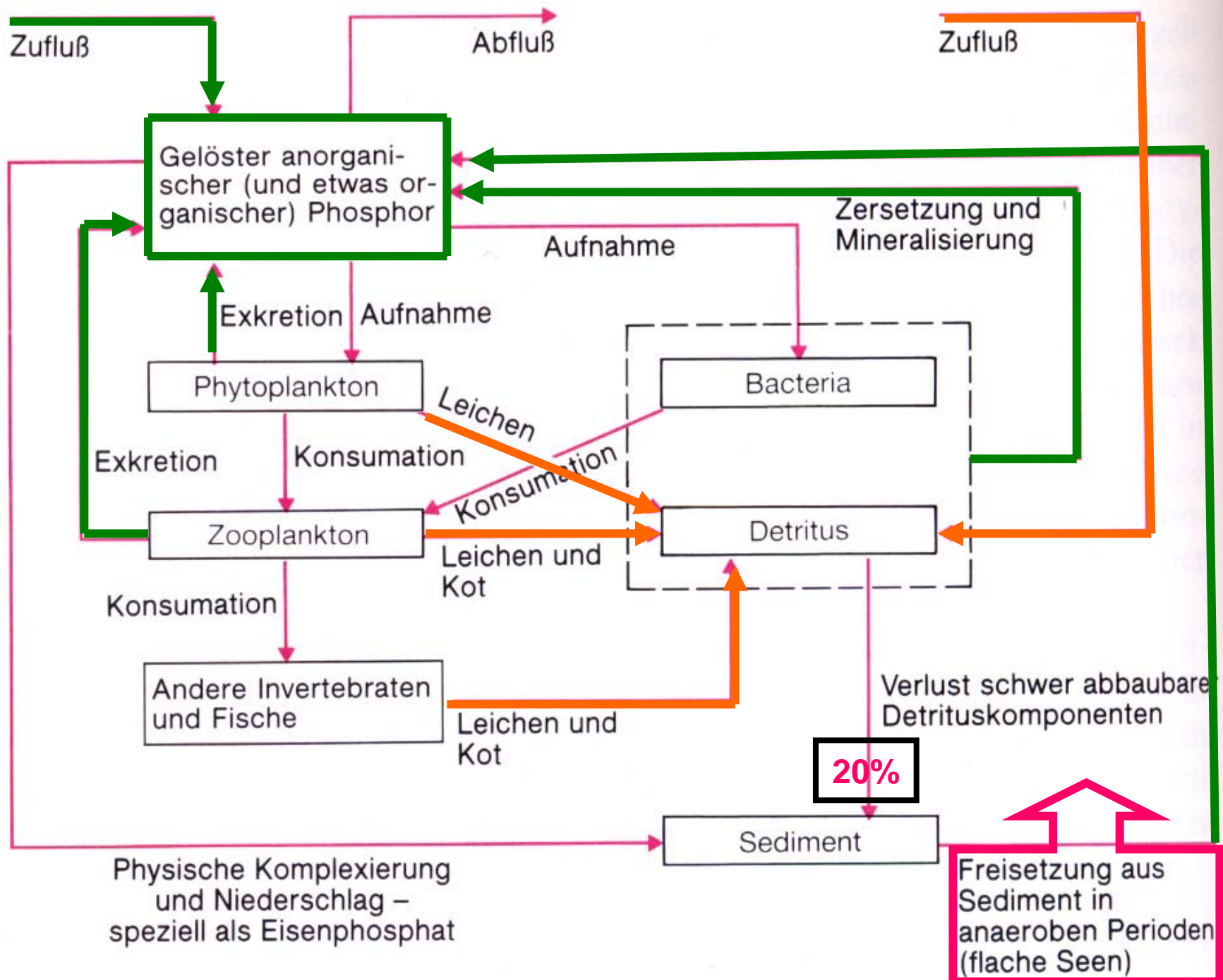
Phosphorkreislauf



- Phosphor wird in Form des Phosphat-Ions in den Kreislauf gebracht
- Pflanzen nehmen Phosphat auf, und geben Phosphor an den Boden ab, wo dieses durch Bakterien wieder zu Phosphaten umgewandelt wird.
- Durch Auswaschung gelangt das Phosphat über Flüsse und das Grundwasser in Seen und Meere (aus natürlichen, unbehandelten Böden gelangen Phosphate kaum zum Abfluss).
- Im Seen und Meeren werden die Phosphate von **Phytoplankton** verstoffwechselt, und Phosphor und Phosphate an das Wasser (bzw. an das Zooplankton) abgegeben. Fische sind in den Kreislauf mit eingebunden, da diese das Zooplankton aufnehmen.
- Der Kreislauf wird durch die Entnahme von See- oder Meereslebewesen wieder geschlossen.

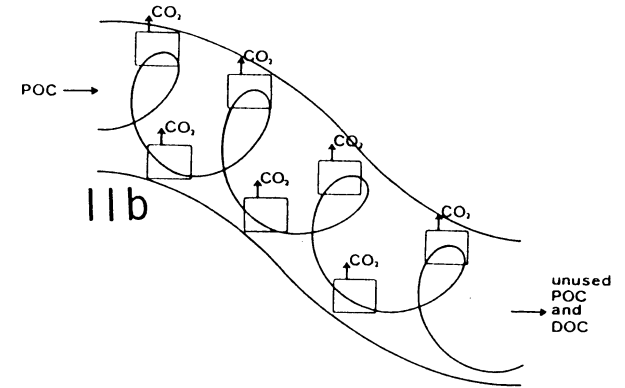
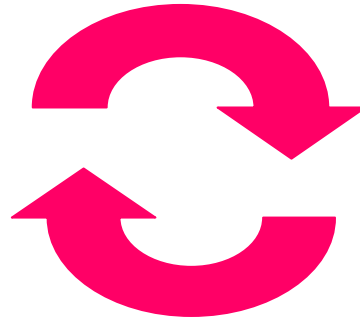


Phosphorkreislauf im See



Freisetzung des P aus den See-Sedimenten

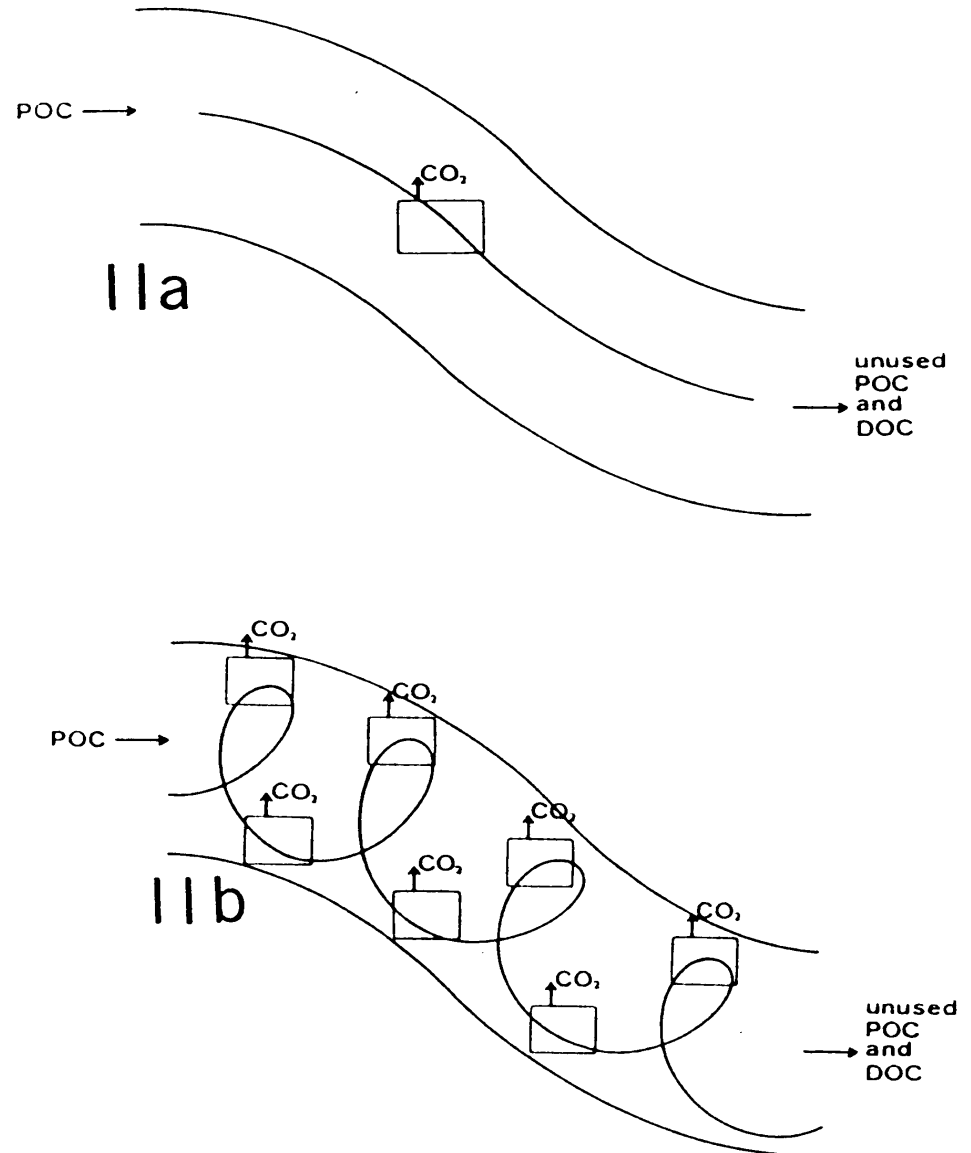
- Aerobe Bedingungen
 - Adsorption an Sedimentteilchen
 - Adsorption an Eisenhydroxid
 - $\text{Fe}(\text{OOH}) + \text{H}^2\text{PO}_4 \rightarrow \text{Fe}(\text{O}-\text{HPO}_4) + \text{OH}^-$
ergibt: Eisen(III)Hydroxophosphat
unlöslich bei aeroben Bedingungen
 - Rücklösung bei Sauerstoffschwund
 - Reduktion von Eisen (III) zu Eisen (II)



Phosphorkreislauf im Fluss

Nutrient Spiralling Concept

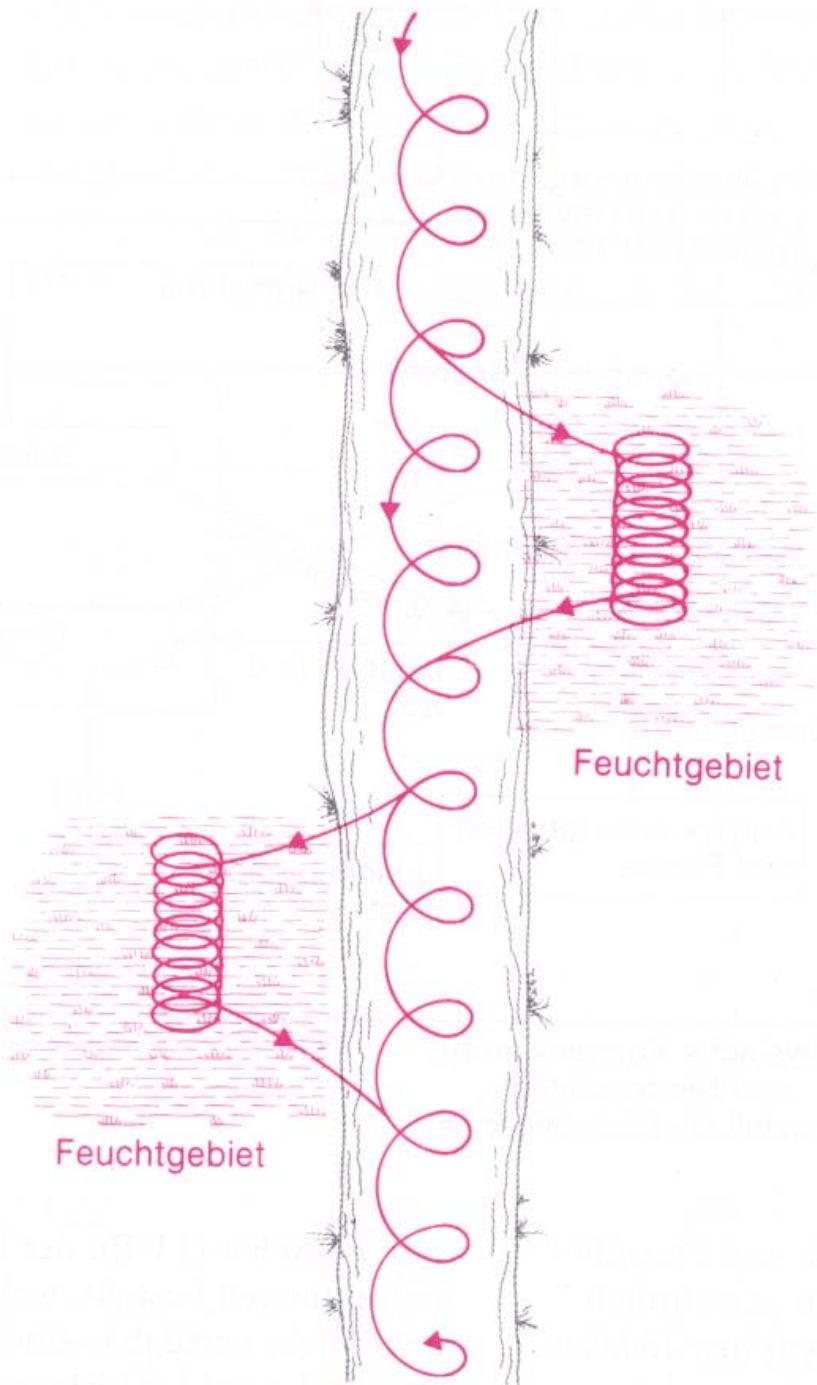
- The nutrient (resource)-spiralling concept states that resources do not flow continuously downstream but are stored periodically in biological packages.



- Fallholz in
einem
Flyschbach

(Lainzerbach)

Nahrungsspirale in Unterläufen mit intakter Vernetzung zur Au



Problemstoff Phosphat

Problemstoff Phosphat

- In **natürlichen Ökosystemen** erfolgt die Nachlieferung von Phosphor in die Biosphäre im wesentlichen im Zuge der **Verwitterung** von phosphathaltigen Gesteinen.
- Da diese Nachlieferung in nur sehr eingeschränktem Umfang erfolgt, stellt das natürliche Phosphat-Angebot oft den **begrenzenden Faktor** für das Pflanzenwachstum in Gewässern dar.

Problemstoff Phosphor

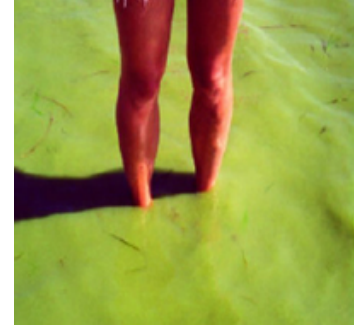
- Der für alle Lebewesen unersetzliche Phosphor wird zum **Problemstoff**, wenn er als Phosphat in die Ökosysteme in so großen Mengen eingetragen wird, dass es den "eingespielten" Kreislauf des Phosphors empfindlich stört.

Eutrophie

- ein vollkommen natürlicher Vorgang
- kann allerdings durch menschliche Einflüsse dramatisch verstärkt werden

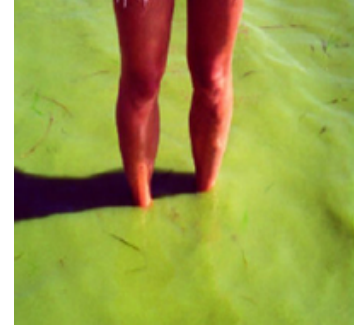
Algenblüten

Eutrophie



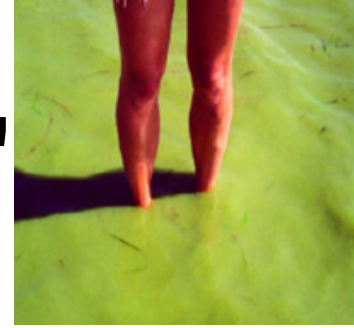
- Die Symptome einer eutrophen Phase sind auch für den Laien leicht erkennbar.
 - Das Gewässer macht drastische Veränderungen durch
 - die ökologische Balance zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten ist erheblich gestört bzw. bricht vollkommen zusammen

Wenn das Wasser "umkippt"



- Unter **Eutrophierung** versteht man **Überdüngung**
 - übermäßige Belastung von Gewässern mit Pflanzennährstoffen und
 - die daraus resultierende Verschlechterung der Wasserqualität
- Große Mengen an Nährstoffen verursachen
 - starke Vermehrung von Algen und anderen Wasserpflanzen
 - abgestorbene Pflanzen sinken auf den Boden und werden dort von Bakterien unter Sauerstoffverbrauch abgebaut
 - Dadurch wird der biologische Abbau der organischen Abfälle verändert

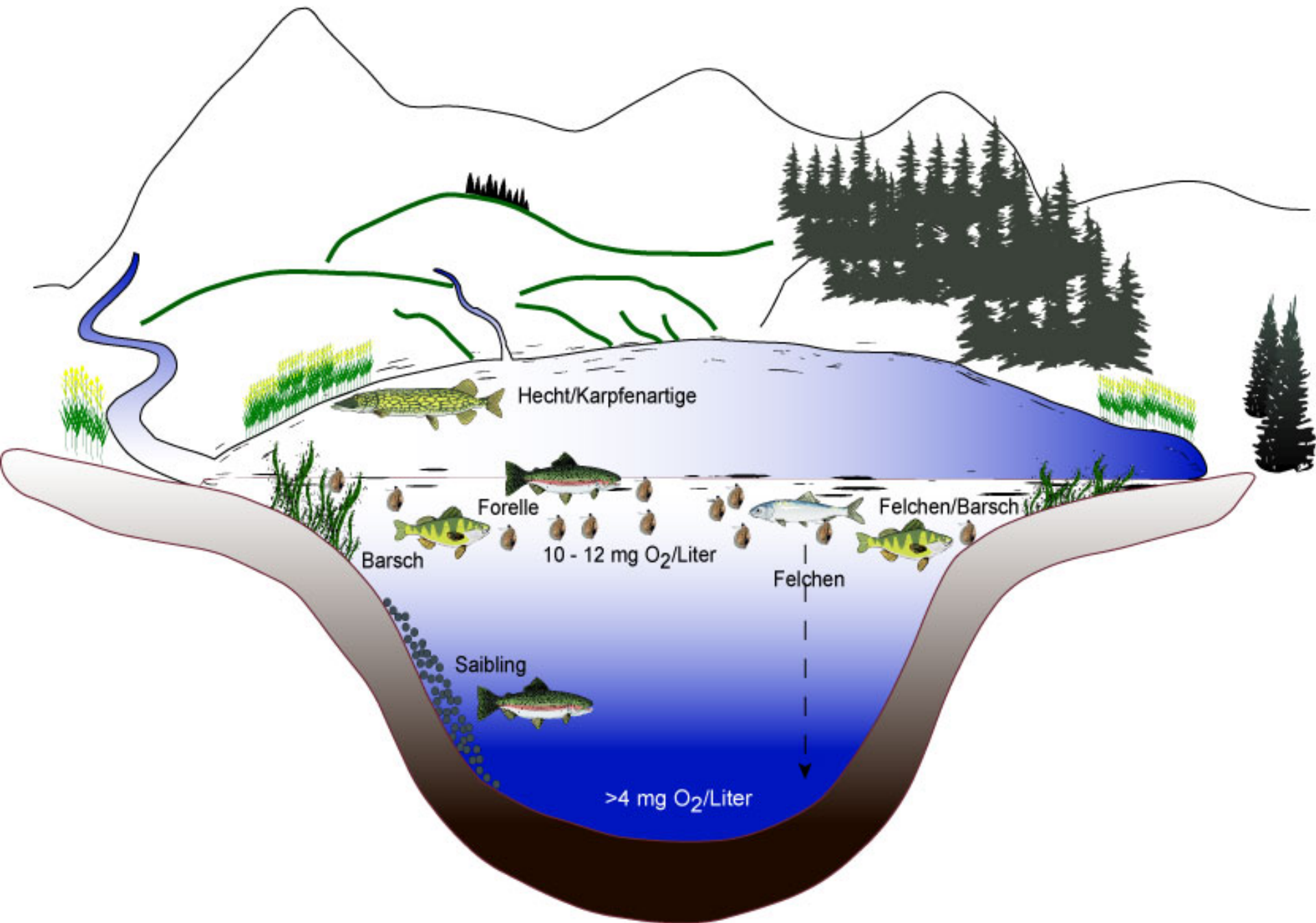
Wenn das Wasser "umkippt"

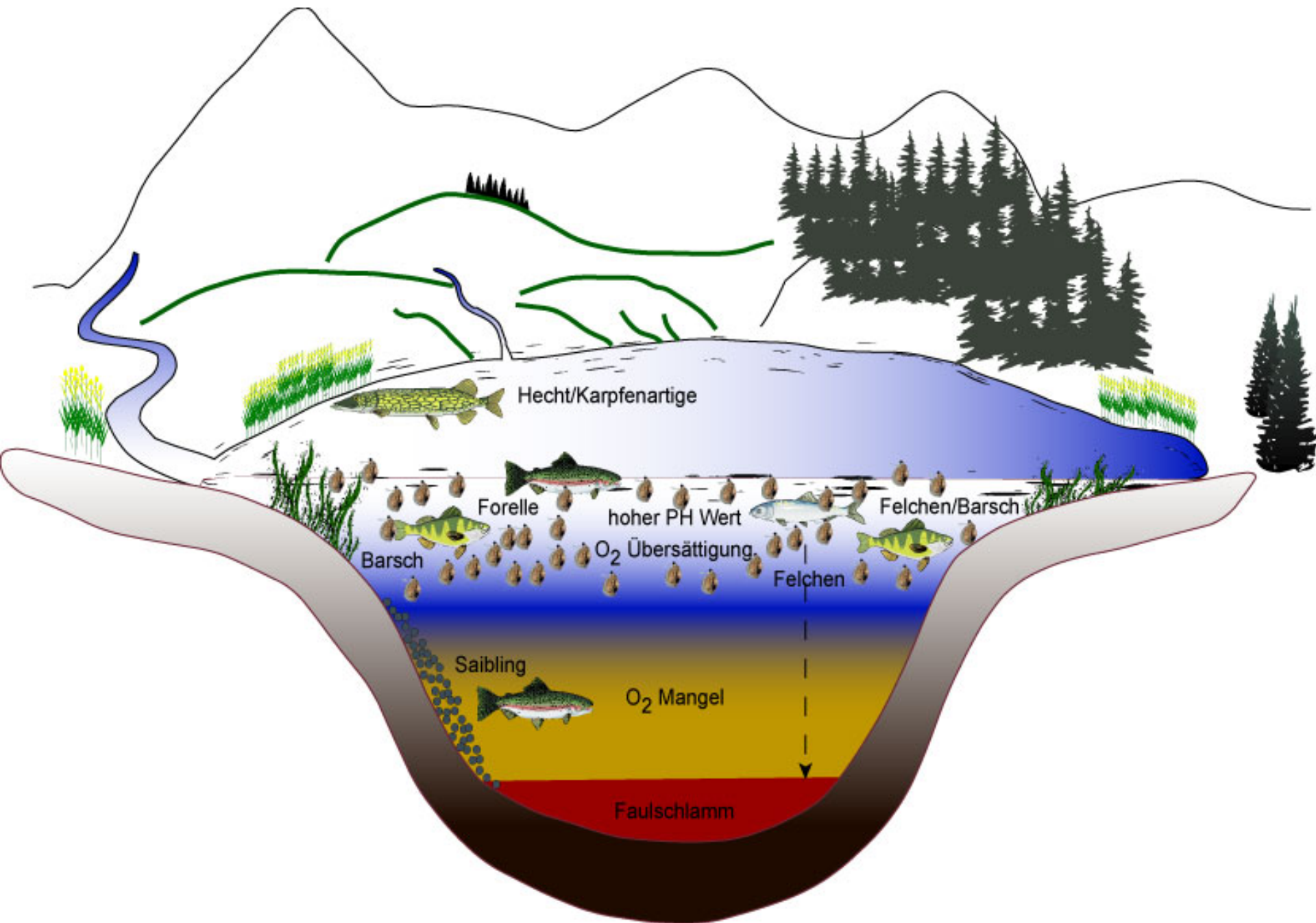


- Der normale Abbau mit Hilfe von Sauerstoff ist nicht mehr möglich
- **anaerob** arbeitende Bakterien werden tätig, Fäulnisprozesse gewinnen die Oberhand und verwandeln den Boden des Gewässers in einen übel riechendes Lebensraum
 - Schuld an diesem Geruch ist vor allem das giftige Schwefelwasserstoffgas, das neben Methan bei solchen Fäulnisprozessen gebildet wird
- im Extremfall wird der Sauerstoff vollständig verbraucht
- dadurch wird Fischen und anderen Wassertieren die Lebensgrundlage entzogen. Das Gewässer "kippt um", wird zum toten Gewässer

Folge der Eutrophierung in Bächen:

...Grünalgenwatten im Sommer





Wasserwirtschaftliche Aspekte

Klassifikation von Gewässern
auf Basis der P-Konzentration

TROPHISCHE Einstufung
von Gewässern

- **Oligotroph**
- **Mesotroph**
- **Eutroph**

- **Ultra-Oligotroph**
- **Oligotroph**
- **Mesotroph**
- **Eutroph**
- **Hypertroph**

Chemische Güteinstufung von Fließgewässern

Gesamtphosphor ($\mu\text{g/l}$)

Güte- klasse	BMLF 1982*)	Immissions- richtlinie 1987	Immissions- verordnung**)		M 6250 Trinkwasser	M 6230 Bade- wasser
			Bergland	Flachland		
I	< 35					
II	36-81	200	70	150	33	100
II-III	82-196					
III	196-261					
III-IV	262-327					
IV	>327					

Beispiel Fuschlsee

P_{total}	oligotroph	mesotroph	eutroph
Mittelwert	8,0	26,7	84,4
Mittelwert +/- SD	4,85-13,3	14,5-49,0	38,0-189

- P_{total} – Konzentrationen Fuschlsee ($\mu\text{g/l}$)
1978/79/80/81 54 – 44 – 20 - 13

Beispiel Mondsee

P_{total}	oligotroph	mesotroph	eutroph
Mittelwert	8,0	26,7	84,4
Mittelwert +/- SD	4,85-13,3	14,5-49,0	38,0-189

- P_{total} – Konzentrationen Mondsee ($\mu\text{g/l}$)

1978/79/80/81 25 – 31 – 18 - 18

Beispiel Attersee

P_{total}	oligotroph	mesotroph	eutroph
Mittelwert	8,0	26,7	84,4
Mittelwert +/- SD	4,85-13,3	14,5-49,0	38,0-189

- P_{total} – Konzentrationen Attersee ($\mu\text{g/l}$)

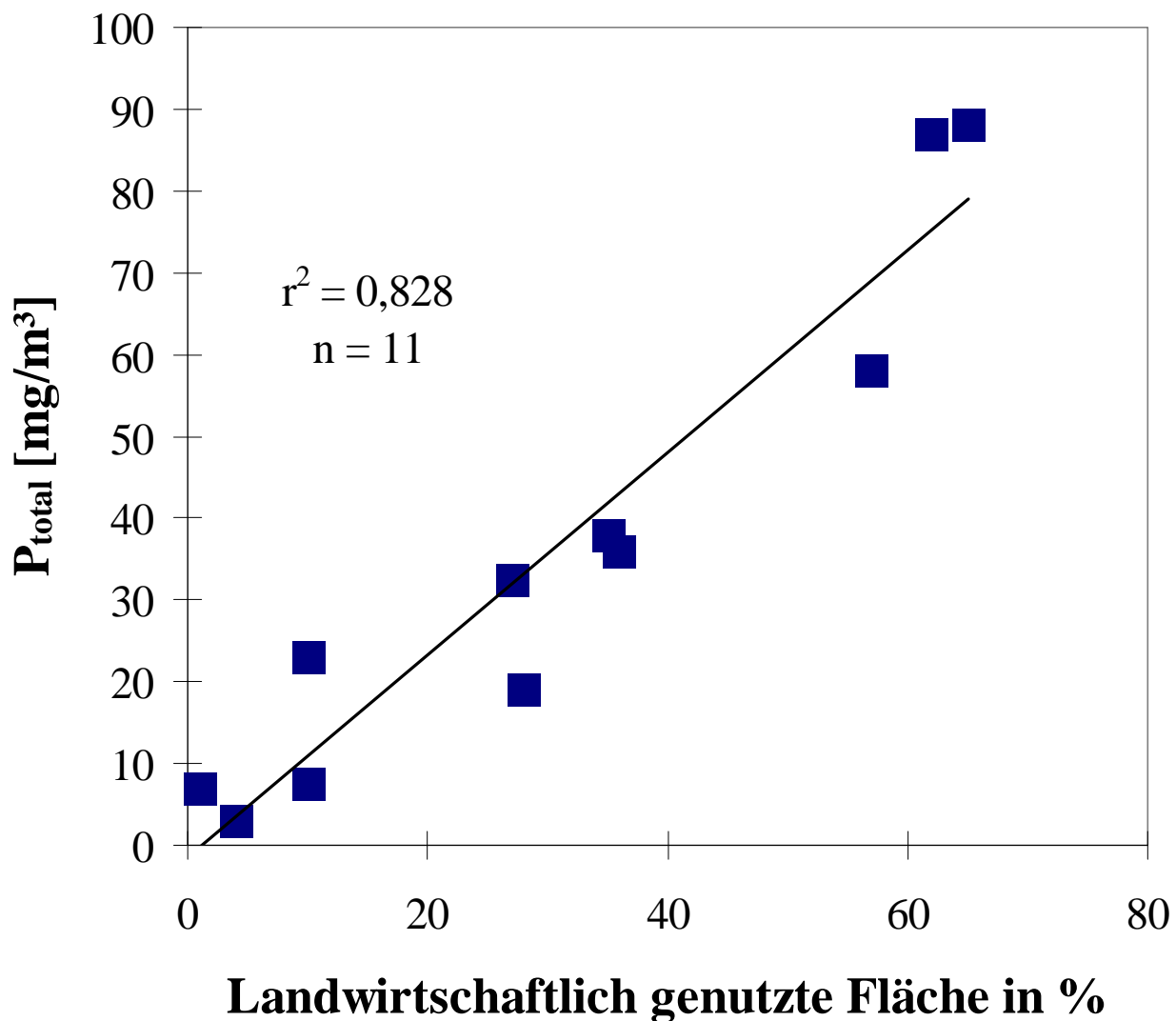
1978/79/80/81 5,6– 6,4 – 6,3 – 5,7

Beispiele für Nährstoffbilanzen

Grundfrachten des Nährstoffaustrages

- Beispiele aus dem Attersee-Einzugsgebiet
- Kalk: $5 \text{ mg P}_{\text{total}}/\text{m}^3$
- Flysch/Sandstein $20 \text{ mg P}_{\text{total}}/\text{m}^3$

Landwirtschaftliche Nutzung und Phosphorausstrag im Attersee EZG



Nährstoffbilanzen

- **Berechnung/Prognose**
- **Messungen**
 - Zubringer
 - See(Ausrinn)
- Austragskoeffizienten
 - Grundlast
 - Gebietsnutzung
 - GVE
 - EWG



Gemessene Phosphorbelastung (kg P_{total}/Jahr)

• Parschallenbach	• 520
• Dixelbach	• 85
• Nußdorferbach	• 150
• Mühlbach	• 340
• Hainingerbach	• 200
• Weyreggerbach	• 1110
• Alexenauerbach	• 440
• Kienbach	• 480
• Steinbach	• 690
• Weißenbach	• 450
• Loidlbach	• 40
• Burggrabenbach	• 130
• Stockwinkelbach	• 75
• Restfläche	• 2260
• Regen	• 1470
• SUMME gemessen	• 8440



Phosphorausträge aus kommunalem Bereich



9213 ständige Einwohne a 3 ^{*)} g P/d minus 54% ARA	4170 kg P/Jahr
781000 Übernachtungen minus ARA	999 kg P/Jahr
5000 Zweitwohnsitze minus ARA	180 kg P/Jahr
<hr/>	
Summe kommunale Einträge	5349 kg P/Jahr

*) heute 1,6 g P/d

Abwässer aus Gewerbe/Industrie

- Gerberei mit Tagesproduktion von 700 kg Häuten
- Durchschnittlicher Wasserverbrauch von 40 m³ pro Tag
- P-Gehalt von 10 mg pro Liter Abwasser
- 146 kg P/Jahr
- Abwässer werden außerhalb EZ geklärt.

P-Eintrag durch Niederschläge auf die Seefläche



- **Messungen** im Salzkammergut
- **Konzentration**
 - 1981: 22 µg/l
 - 1982: 24 µg/l
- **Summe Seefläche:** 1470 kg P/Jahr
- **Fracht:** 32 kg/m²/Jahr

- **Literatur** (Reckhow et al. 1980):
 - Über Waldgebieten: 27 kg/m²/Jahr
 - Über LW Gebiete: 45 kg/m²/Jahr

P-Einträge aus dem Einzugsgebiet

Austragskoeffizienten

- Grünland: 0,3 kg/ha/Jahr
- Ackerland: 0,7 kg/ha/Jahr
- Wald, Ödland: 0,01 kg/ha/Jahr
- Versiegelte Fl.: 1,0 kg/ha/Jahr

- Beispiel Attersee mit
- 2546 ha Grünland,
- 647 ha Ackerflächen
- 12905 ha Wald

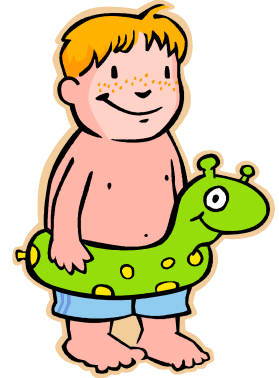
P-Einträge aus dem Einzugsgebiet

- Grünland: 764 kg P/Jahr
- Ackerland: 453 kg P/Jahr
- Wald, Ödland: 127 kg P/Jahr
- Versiegelte Fl.: 241 kg P/Jahr
- Summe Landnutzung 1585 kg P/Jahr

- Beispiel Attersee mit
- 2546 ha Grünland,
- 647 ha Ackerflächen
- 12905 ha Wald

P-Einträge aus dem Badebetrieb

- 0,1 g Totalphosphor pro Badegast
- Attersee: 100 kg P_{total} pro Jahr

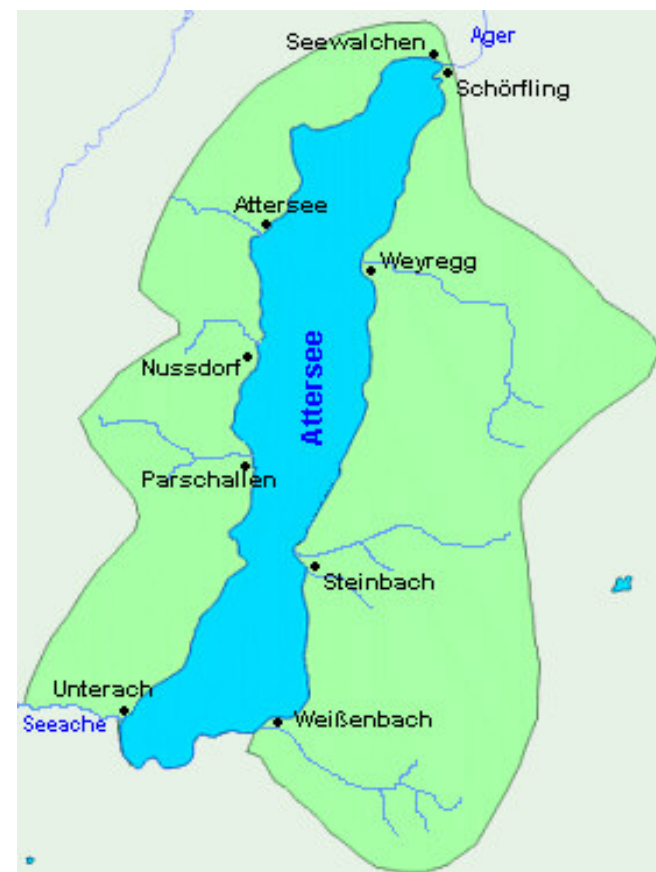


Berechnete Phosphorbelastung Attersee 1981 (kg P_{total}/Jahr)

- Abwässer kommunaler Bereich • 5349
 - Badegäste • 100
 - Austrag Land- & Forstwirtschaft • 1324
 - Austrag versiegelte Fläche • 241
 - Niederschlag auf Seeoberfläche • 1468
-
- **SUMME berechnet** • **8482**

Gemessene Phosphorbelastung (kg P_{total}/Jahr)

• Parschallenbach	• 520
• Dixelbach	• 85
• Nußdorferbach	• 150
• Mühlbach	• 340
• Hainingerbach	• 200
• Weyreggerbach	• 1110
• Alexenauerbach	• 440
• Kienbach	• 480
• Steinbach	• 690
• Weißenbach	• 450
• Loidlbach	• 40
• Burggrabenbach	• 130
• Stockwinkelbach	• 75
• Restfläche	• 2260
• Regen	• 1470
• SUMME gemessen	• 8440



Berechnete Phosphorbelastung Attersee 1981 (kg P_{total}/Jahr)

• Abwässer kommunaler Bereich	5349
• Badegäste	100
• Austrag Land- & Forstwirtschaft	1324
• Austrag versiegelte Fläche	241
• Niederschlag auf Seeoberfläche	1468
• SUMME berechnet	8482
• SUMME gemessen	8440

Wasserwirtschaftliche Schlüsse

- Nährstoffbilanzen sind wichtige Werkzeuge für wasserwirtschaftliche Entscheidungen
- Rückschluss auf Nährstoff-Quellen
- dadurch Maßnahmen ableitbar
 - Rückhalt (z. B. im EZG, hangparalleles Düngen)
 - Entfernung (z. B. Reinhaltungsmaßnahmen, ARA)
 - Vermeidung (z.B. Waschmittel)