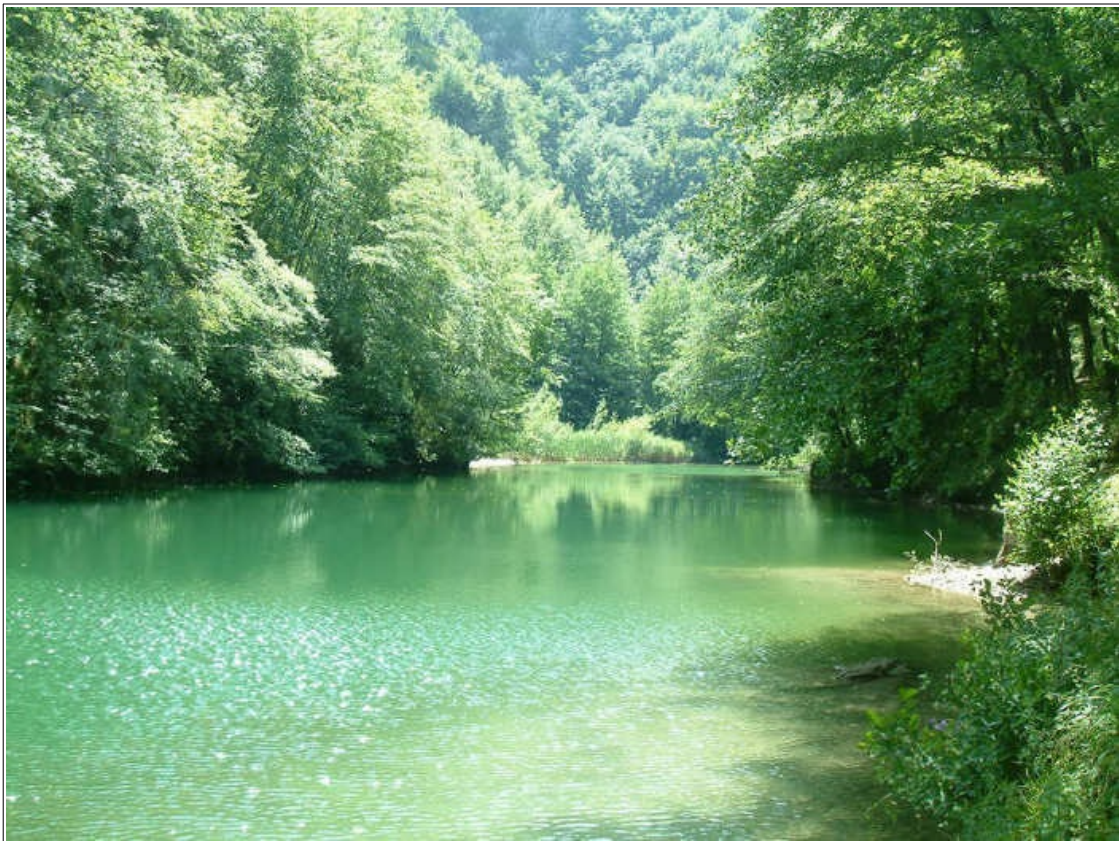


Kapitel 04.11: Ökosystem See und Weiher



Freies Lehrbuch der Biologie von H. Hoffmeister und C. Ziegler
(unter GNU Free Documentation License, Version 1.2 (GPL)).

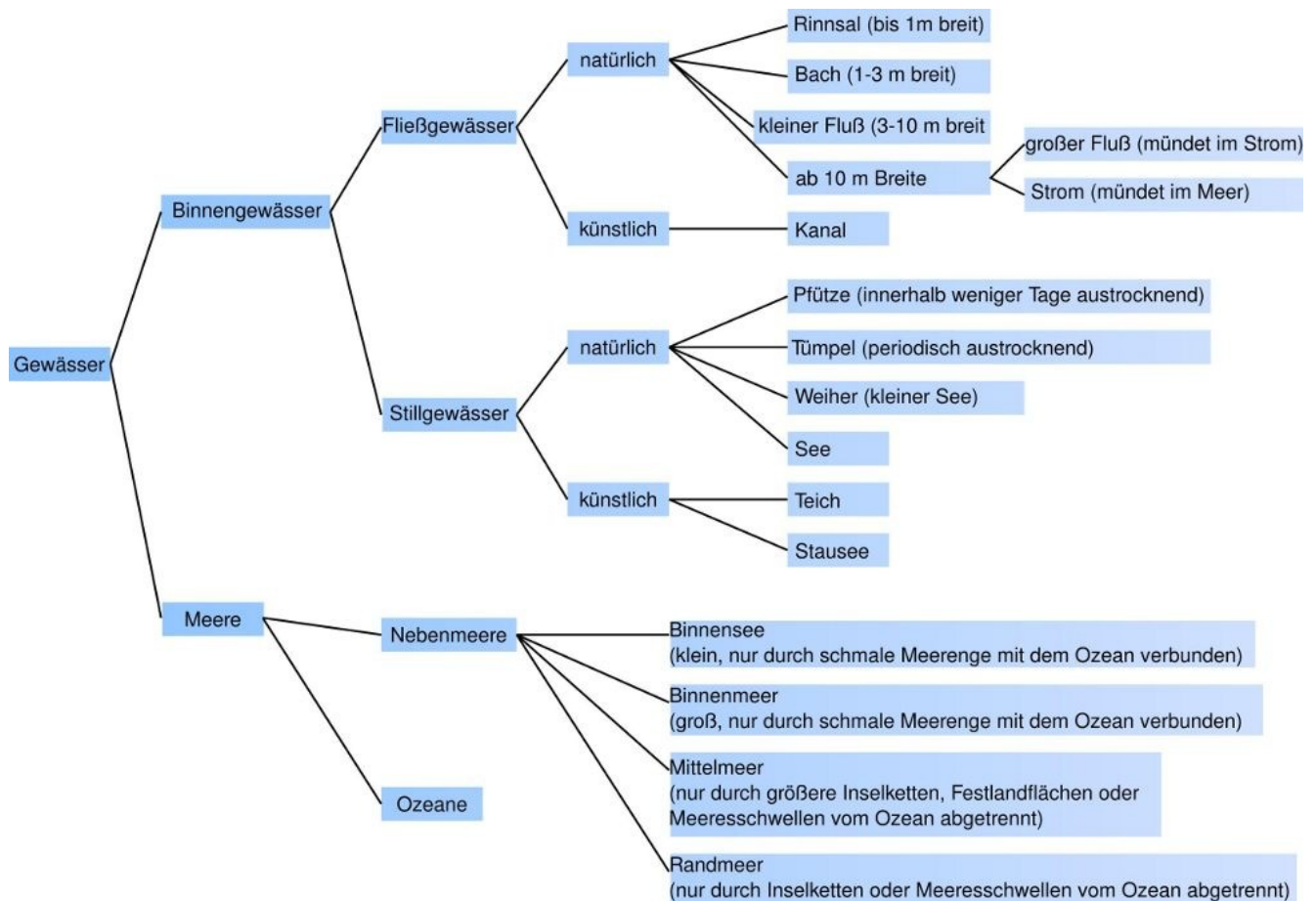
Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter: <https://hoffmeister.it/index.php/biologiebuch>

Inhalt

Kapitel 04.11: Ökosystem See und Weiher.....	1
Inhalt.....	2
Gliederung der verschiedenen Gewässertypen.....	3
Schichtung und Zonierung eines Sees.....	4
Die horizontale und vertikale Gliederung eines Sees.....	6
1. Gliederung des Benthals (des Gewässerbodens).....	6
2. Freiwasserzone (Pelagial).....	8
Seetypen.....	9
Spezielle Anpassungen an den Lebensbereich See.....	9
Detritus.....	10
Vergleich von Seen verschiedener Nährstoffgehalte.....	11
Eutropher und hypotropher See in Italien.....	12
Nährstoffgehalt.....	13
a) oligotropher See.....	13
b) mesotropher See.....	13
c) eutropher See.....	13
d) hypertropher See.....	13
Was ist Eutrophierung?.....	14
Umkippen eines Sees - Versagen der Phosphatfalle.....	14
Zusammenhänge der Eutrophierung.....	15
Vergleich von Biomasse im See in Abhängigkeit von der Wassertiefe.....	16
Tiere sind angepasst an den See.....	17
Libellen leben am und auf dem Wasser.....	17
Ein See in den vier Jahreszeiten.....	18
1. Abiotische Faktoren im See:.....	18
2. Thermische Schichtung des Sees in den vier Jahreszeiten.....	18
Die Abhängigkeit der Wasserdichte von der Temperatur.....	19
3. Zirkulation des Wassers im See im Verlauf der Jahreszeiten (dimiktisch).....	20
Zustand eines Sees im Wechsel der Jahreszeiten.....	21
4. Anzahl der Lebewesen und Mineralssalzgehalt.....	22
Gehalt verschiedener Stoffe im Oberflächenwasser (Epilimnion) des Bodensees im Jahr 1973.....	23
Gesamtübersicht über den jahreszeitlichen Verlauf.....	24
Betrachtung der Stoffkreisläufe im See.....	26
a) O ₂ -Haushalt.....	26
b) Phosphat-Haushalt.....	27
Vereinfachter Phosphatkreislauf im See.....	27

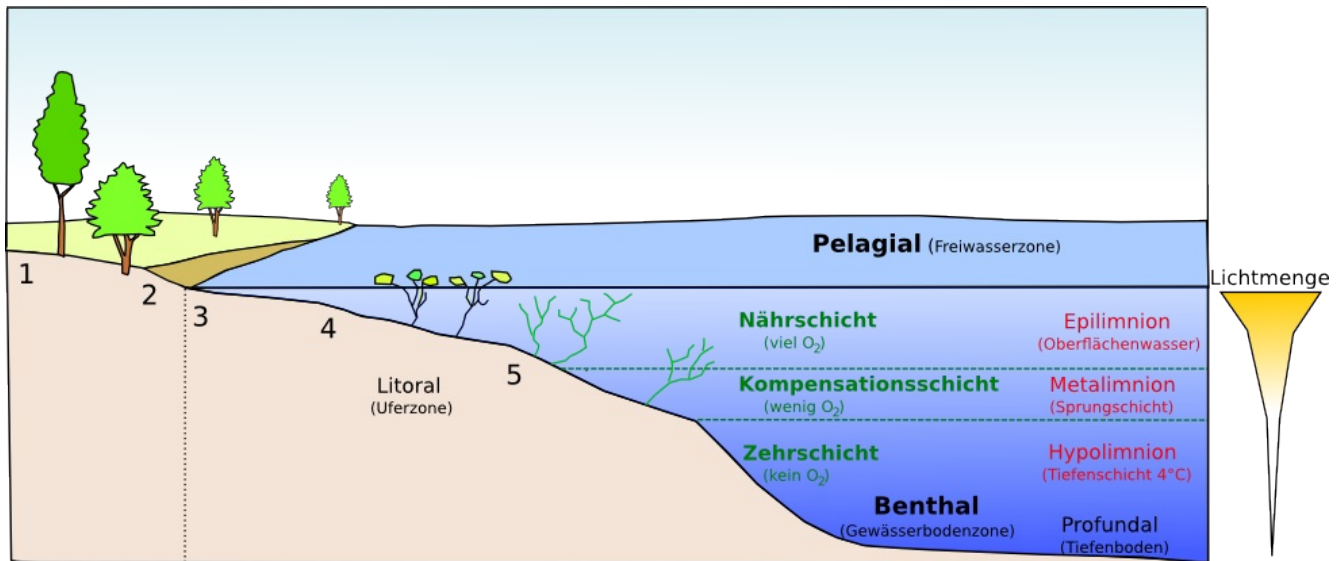
Gliederung der verschiedenen Gewässertypen

In diesem Kapitel geht es um Seen, Weiher, Teiche und Tümpel. Natürlich gibt es noch weitere Arten von Gewässern.



Quelle Bild: public domain by Wikipediauser latyt&david-heller; <https://de.wikipedia.org/wiki/Gewässerser#/media/File:Gewässerdiagramm.png>

Schichtung und Zonierung eines Sees



1. **Bruchwald:** Erle, Moorbirke, Weide
2. **Seggenried:** Seggen, Schwertlilien, Weidericharten
3. **Röhrichtzone:** Schilfrohr, Rohrkolben, Binsen, Froschlöffel, Pfeilkraut
4. **Schwimmblattzone:** Seerose, Teichrose, Schwimmendes Laichkraut
5. **Unterwasserblattzone:** Tausendblatt, Hornblatt, Algen

Der **Gewässerboden (Benthos)** unterteilt sich in **Litoral** und **Profundal**. Nur im Litoral kommen Pflanzen vor. In der Tiefe findet die Mineralisierung durch Destruenten und zum Teil sogar anaerobe Fäulnisvorgänge durch Bakterien statt.

**Der See wird in Pelagial und Benthos unterteilt.
Im Benthos wiederum unterteilt man in Litoral und (nur bei tiefen Seen) das Profundal.**

Gliederung nach abiotischen Faktoren:

Epilimnion (Deckschicht):

- hohe Temperaturschwankung
- hoher Sauerstoffgehalt
- lichtdurchflutet
- erwärmte und stark bewegte Wasserschicht

Metalimnion (Sprungschicht):

- Übergangs-Wasserschicht
- Temperaturabnahme von 1°C/m bis auf minimal 4°C
- Sauerstoffabnahme mit zunehmender Tiefe
- Lichtabnahme mit zunehmender Tiefe
- In kleineren Seen reicht das Metalimnion bis zum Seeboden!

Hypolimnion (Tiefenschicht):

- gleichmäßig 4°C
- meist kein Sauerstoff
- lichtlos
- nur durch interne Wellen und Ausgleichsströmungen bewegte Wasserschicht

Gliederung nach biotischen Faktoren:

Trophogene Zone (=Nährschicht):

- Photosynthese durch Primärproduzenten
- Biomasse und Sauerstoff
- lichtdurchflutet

Kompensationsschicht:

- Sauerstoffproduktion und Verbrauch gleichen sich hier aus.

Tropholytische Zone (=Zehrschicht):

- Verbrauch von Biomasse und Sauerstoff durch Destruenten

Die horizontale und vertikale Gliederung eines Sees

Ein See kann räumlich in die zwei Gewässerbereiche bzw. Gewässerzonen Benthos und Pelagial unterteilt werden:

1. Gliederung des Benthals (des Gewässerbodens)

Der gesamte Gewässerboden wird als Benthos genannt (griechisch: Benthos=Tiefsee). Es wird in zwei Bereiche unterteilt, wobei die Grenze durch die Helligkeit des eindringenden Sonnenlichts und somit durch die Photosynthesebedingungen gekennzeichnet ist:

a) Litoral (=Uferzone des Gewässerbodens)

Das Litoral(lat. litoralis = zum Strand gehörig) ist noch gut vom Sonnenlicht durchflutet und somit dicht bewachsen. Das Litoral reicht von der Nährschicht bis zur Kompensationsebene.

Das Litoral ist in Unterzonen unterteilt, welche nach oft dort vorkommenden Pflanzen benannt sind:

1. **Eulitoral** - Bereich, in dem die Wasserpflanzen noch über den Wasserspiegel hinausragen:

- a) Bruchwaldzone - typisch sind Erlen und Weiden.
- b) Schilfrohrzone - typisch sind Seggen, Rohrkolben, Schilfrohr und Schwertlilie.

2. **Sublitoral** - Bereich, in dem die Pflanzen untergetaucht sind.

- a) Schwimmblattpflanzenzone - typisch sind Wasserknöterich, weißer Seerose
- b) Unterwasserpflanzenzone - typisch sind Laichkräuter, Wasserpest, Hornkraut, Armleuchteralge

Tiere des Litorals: Insektenlarven, Wasserschnecken, Frösche, Teichhuhn, Rohrsänger oder Zwergdommeln usw.

Es gilt: Je klarer das Wasser und je weniger Schatten auf den See fällt (z.B. durch Berge!), desto tiefer liegt die Grenze des Litorals! Maximal liegt sie bei ca. 30m.

Das hin und wieder erwähnte Epilitoral zählt nicht zum Gewässerboden, da es nur zeitweise überflutet ist. Dies stellt übrigens für die dort lebenden Pflanzen eine große Herausforderung dar, da die Nässe im Boden den Sauerstoff verdrängt. Mit dieser Sauerstoffarmut kommen besonders Nässe tolerante Arten zurecht (Erlen, Weiden, Moorbirken, Moose, Farne, einige Gräser sowie Brennesseln).

b) Profundal (=Tiefenzone des Gewässerbodens)

Profundis (lat.) tief. Im Profundal ist es dunkel. Keine Pflanzen wachsen hier. Es beginnt unterhalb der Kompensationsebene und reicht bis in der Zehrschicht.

Im Profundal wachsen aufgrund der Dunkelheit keine Pflanzen mehr. Hier gibt es nur heterotrophe Organismen. Neben Bakterien und Pilzen findet man vor allem Tiere, welche sich als Konsumenten hauptsächlich als Destruenten vom organischen Abfalls (=Detritus) ernähren.

Tiere des Profundals: Schlammröhrenwürmer, Zuckmückenlarven, Muscheln, Rädertiere, Wasserasseln, tierische Einzeller usw.

Diese Einteilung entspricht also im Grunde der Zonierung des Pelagials in Nährschicht und Zehrschicht. Weiher verfügen in der Regel aufgrund ihres flachen Wassers über kein Profundal! Teiche sind künstlich angelegte Gewässer. Sie können über ein Profundal verfügen. Tümpel trocken hin und wieder aus und verfügen nur sehr selten über ein Profundal.

**Die Grenze zwischen Litoral und Benthos liegt dort,
wo durch das eindringende Licht gerade noch Photosynthese möglich ist.**

2. Freiwasserzone (Pelagial)

Das Pelagial (griechisch für Meer) (bzw. Limnion von griech. Teich) ist die gesamte Freiwasserzone eines Sees. Es kann anhand der Eindringtiefe des Lichts in die folgenden drei Zonen unterteilt werden:

1. Trophogene Schicht - entspricht zum Großteil dem Epilimnion

Die trophogene Schicht (genesis = Erzeugung) ist die nahrungserzeugende Zone, weswegen sie auch Nährschicht genannt wird. Sie ist lichtdurchflutet und Algen produzieren hier durch die Photosynthese Biomasse und Sauerstoff. Pflanzenwachstum am Boden ist ebenfalls möglich. Abhängig vom Reinheitsgrad des Wassers kann Licht bis zu 25m tief in den See eindringen (z.B. bei klaren Bergseen). Ist das Wasser verschmutzter oder stark mit Algen besiedelt, so ist die trophogene Schicht nur wenige Meter tief.

Man findet als typische Lebewesen hier v.a. Phytoplankton, Bodenpflanzen, Zooplankton und viele Fischarten.

In der trophogenen Schicht wird mehr Sauerstoff produziert, als er von den Konsumenten verbraucht wird!

2. Kompensationsschicht (entspricht zum Großteil der Sprungschicht)

Durch die zunehmende Tiefe und die damit verbundene Absorption des Sonnenlichtes durch das Wasser, gelangt immer weniger Licht zu den Algen, sodass in dieser Schicht kaum noch Photosynthese möglich ist. Da hier dennoch Konsumenten leben, wird Sauerstoff weiterhin verbraucht.

Der für die Zellatmung benötigte Sauerstoff hält sich in der Kompensationsschicht die Waage mit dem durch die Photosynthese produzierten Sauerstoff.

Die Kompensationsschicht trennt also die obere von der unteren Schicht und stellt somit den Übergangsbereich zwischen Nähr- und Zehrschicht dar.

Produktion und Konsum halten sich hier gerade noch die Waage!

Die Tiefe der Kompensationsschicht ist wieder von der Reinheit des Wassers abhängig. Man kann davon ausgehen, dass sie dort beginnt, wo nur noch 1% des einfallenden Sonnenlichts ankommt.

3. Tropholytische Schicht - entspricht zum Großteil dem Hypolimnion (griech. hypo = unterhalb).

Je tiefer man nun im See hinab taucht, desto dunkler wird es. In dieser Schicht findet keine Photosynthese mehr statt. Sie ist komplett dunkel. Stattdessen verbrauchen/verzehren die hier lebenden Tiere und die Destruenten am Boden den Sauerstoff. Deshalb wird die tropholytische Schicht auch Zehrschicht genannt.

Zusatzinformationen:

https://de.wikipedia.org/wiki/See_%28Gewässer%29

https://de.wikipedia.org/wiki/Ökosystem_See

<https://de.wikipedia.org/wiki/Epilimnion>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Metalimnion>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Hypolimnion>

https://de.wikipedia.org/wiki/Trophogene_Zone

https://de.wikipedia.org/wiki/Tropholytische_Zone

Seetypen

- Hochgebirgssee:

- schmale Uferzone
- ca. 10m tief
- klares und kaltes Wasser
- sehr niedriger Nährstoffgehalt

- Vorgebirgssee:

- steil abfallende Uferzone
- oft über 40m tief
- klares und kühles Wasser
- geringer Nährstoffgehalt

- Tiefer Flachlandsee:

- breite Uferzone
- Tiefe > 20m
- trübes aber kühles Wasser
- mittlerer bis hoher Nährstoffgehalt

- Flacher Flachlandsee:

- breite und flache Uferzone
- ca. 5-10m tief
- eher trübes und warmes Wasser
- sehr hoher Nährstoffgehalt

Spezielle Anpassungen an den Lebensbereich See

Sicher kennst Du den Begriff „Plankton“. Aber weißt Du genau, was er bedeutet?

- **Plankton:** Kleinlebewesen der Freiwasserzone. Sie schweben im Wasser, ohne aktiv zu gegen die Wasserströmung zu schwimmen. Man unterscheidet Phytoplankton (autotrophe Blau-, Grün- oder Kieselalgen) und Zooplankton (heterotrophe Kleinkrebse, Wasserflöhe, Rädertierchen).
- **Nekton:** Kleinlebewesen des Freiwassersbereichs, welche aktiv gegen die Wasserbewegung schwimmen können (vor allem Fische).
- **Pleuston** (=Schwimmlebensgemeinschaft): Lebewesen, welche auf der Wasseroberfläche schwimmen - z.B. Enten, Wasserlinsen, Wasserhyacinthen
- **Neuston:** Lebewesen, welche auf der Wasseroberfläche leben (oder genau darunter!), ohne zu schwimmen. Sie bewegen sich auf dem Wasser, welches sie durch seine Oberflächenspannung trägt - z.B. Wasserläufer Insektenlarven, einzellige Zooflagellaten (an die Wasserunterseite!).

Detritus

Unter dem Begriff „Detritus“ (lat. „Abreiben“) versteht man den organischen Abfall im See, welcher nach unten sinkt. Er wird am Boden zersetzt und somit humifiziert.

Lebewesen => Protodetritus => Detritus => Humus

Je stärker Mikroorganismen Detritus am Boden abbauen, desto mehr Sauerstoff wird durch diese Lebewesen verbraucht und desto mehr Mineralsalze werden freigesetzt. Dies begünstigt ein starkes Produzentenwachstum (Phytoplankton).

Sterben im Sommer viele Algen ab, so kommt es zum Sauerstoffmangel. Organische Reste werden nun anaerob abgebaut (=Fäulnis).

[https://de.wikipedia.org/wiki/Detritus_\(Biologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Detritus_(Biologie))

Vergleich von Seen verschiedener Nährstoffgehalte

Oligotropher See im Harz



Mesotrophe Seen in Italien, der Schweiz und im Harz

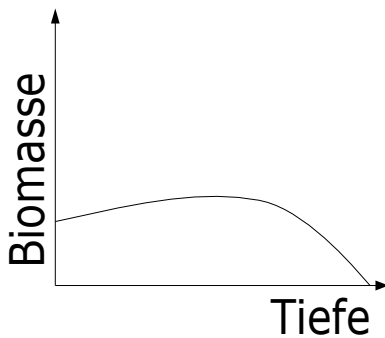


Eutropher und hypotropher See in Italien



Nährstoffgehalt

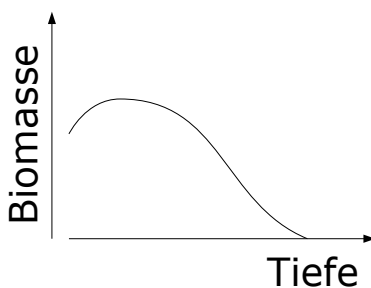
a) oligotropher See



oligotroph

- wenig Nährsalze vorhanden => wenig Phytoplankton
- => wenig Phyto- und Zooplankton => hohe Sichttiefe (bis zu 10m)
- Sauerstoff in allen Tiefen
- schnelle Umsetzung von organischem Material
- schmale Uferzone
- „ungestörte“ Seen
- hohe Artenvielfalt, aber geringe Anzahl an Tieren insgesamt
- oft im Gebirge, da dort kein Nährsalzeintrag aus Dünger der Landwirtschaft vorliegt.

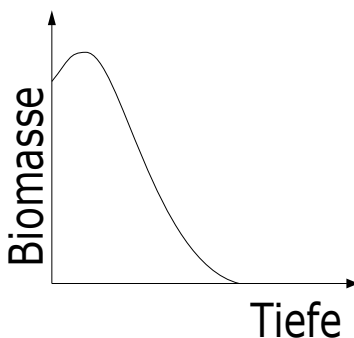
b) mesotropher See



mesotroph

- mehr Nährsalze vorhanden (z.B. durch Landwirtschaftliche Düngung)
- dadurch mehr Produzenten und Konsumenten
=> geringere Sichttiefe (1 bis max. 5m)
- Während der Sommerstagnation ist weniger Sauerstoff im Hypolimnion!

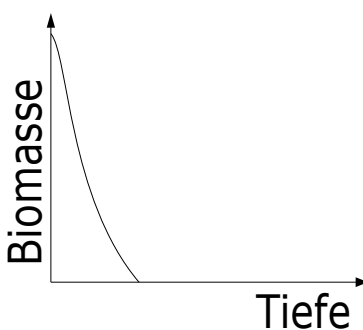
c) eutropher See



eutroph

- viele Nährsalze im Wasser vorhanden
=> im Herbst und Frühling viel Phytoplankton
- im Sommer Absterben vieler Algen
=> Faulschicht am Boden durch Sauerstoffmangel
- geringere Artenvielfalt, jedoch hohe Anzahl
- viel Vegetation am Ufer
- kaum Sichttiefe
- viele mitteleuropäische Seen

d) hypertropher See



hypertroph

- „umgekippter See“
- mehrere Meter dicke Faulschicht am Boden
- anaerob zersetzende Bakterien produzieren giftige Gase wie Methan, Ammoniak, Schwefelwasserstoff
- lebensfeindliches Gewässer
- solche Seen verlanden vom Ufer aus

Was ist Eutrophierung?

Eutrophierung ist die Überdüngung eines Gewässers durch Abwässer und Düngemiteleintrag (z.B. aus der Landwirtschaft).

Die Mineralsalze des Düngers führen v.a. im Sommer (durch die Wärme des Wassers! RGT-Regel!) zu einer erhöhten Produktion organischer Substanzen durch die „guten“ Bedingungen. Sterben diese ab, so bildet sich viel organischer Abfall, welcher zu starker Mikroorganismenbildung führt.

=> Verschlammung des Bodens

Durch die Vielzahl der Mikroorganismen nimmt die Konzentration an Sauerstoff am Boden stark ab. Bis schließlich kein Sauerstoff mehr vorhanden ist. Zuerst sterben die Fische, dann alle anderen Lebewesen. Das Gewässer „kippt um“!

Besonders der Eintrag von Nitrat und Phosphat führt zur Überdüngung der Gewässer!

1kg Phosphat ermöglicht die Produktion von 3000kg Algen!
3000kg Algen benötigen 140 000 kg O₂.

Die Rolle des Phosphat:

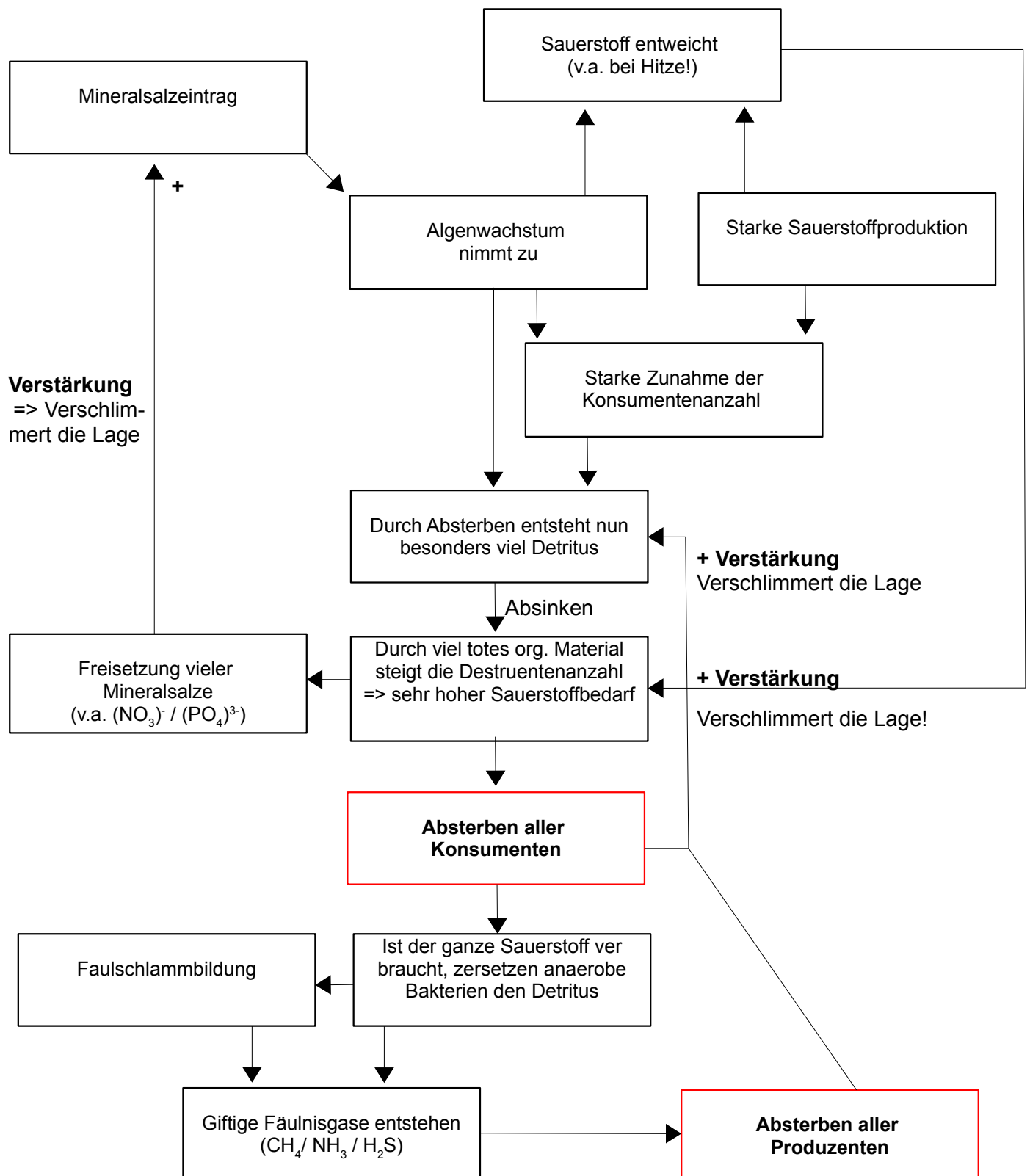
Phosphat wird von Algen gebunden und bei deren Absterben sinkt es nach unten (Phosphatlift). Am Boden wird es von Destruenten wieder freigesetzt und reagiert dort oft sofort mit freiem Eisenionen zu FePO₄ (Eisenphosphat). So wird es im Boden langfristig gebunden (Phosphatfalle), da dieses Salz schwerlöslich ist.

Der Mensch kann, sofern der See noch lebt, einige Maßnahmen gegen das Umkippen treffen:

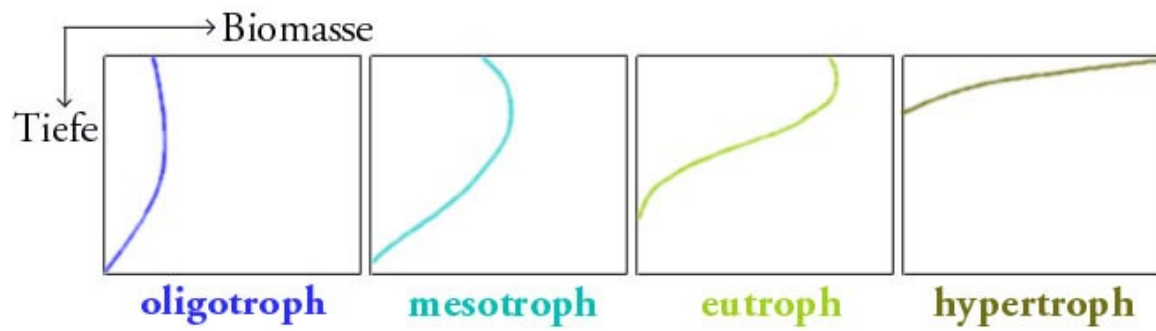
- Abwasserreinigung und Ausfällen von Phosphaten!
- nur eingeschränkte Nitrat- und Phosphatdüngung zulassen.
- Verzicht auf phosphathaltige Wasch- und Reinigungsmittel.

Umkippen eines Sees - Versagen der Phosphatfalle

- In den See werden durch Zuflüsse Nährsalze eingetragen, wie Stickstoff-, Kohlenstoff- und Phosphorverbindungen. Diese wirken wie Dünger!
- Phosphat sinkt mit der Zeit zum Boden des Sees und verbindet sich mit Eisen zum unlöslichen Eisenphosphat, das sich ablagert und dem Kreislauf des Sees entzogen wird (Phosphatfalle)
- Wenn im Hypolimnion kein Sauerstoff mehr vorhanden ist, werden die Eisenionen zu reduziert und das Phosphat kann sich nicht binden, bzw. wird freigesetzt!
- Während der Zirkulation gelangt das Phosphat ins Epilimnion, wo es als Dünger wirkt (Algenblüte)
- Durch die erhöhte Biomasseproduktion wird der Sauerstoffverbrauch im Hypolimnion erhöht, es wird Phosphat freigesetzt.
- => positive Rückkopplung (Teufelskreis)

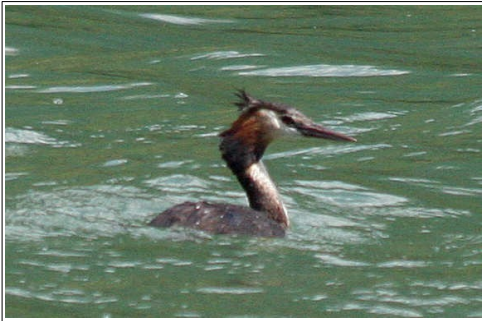
Zusammenhänge der Eutrophierung

Flache Gewässer erwärmen sich im Sommer besonders leicht => weitere Verstärkung des Prozesses!

Vergleich von Biomasse im See in Abhängigkeit von der Wassertiefe

Quelle Bild: Public Domain by Wikipediauser Hati - Thanks; <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:SeeBiomasse.png>

Tiere sind angepasst an den See



Libellen leben am und auf dem Wasser



Ein See in den vier Jahreszeiten

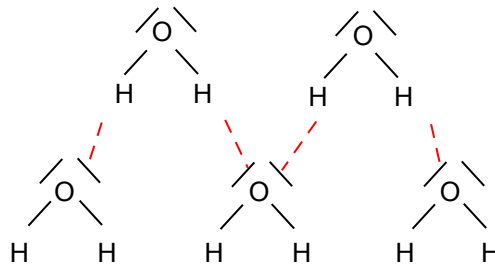
1. Abiotische Faktoren im See:

- Lichtangebot (nach 1m ~ 50 % absorbiert) => im Sommer am Höchsten
- Gasgehalt: abhängig von Temperatur und Luftdruck.
Mit steigender Temperatur nimmt die Löslichkeit für Gase im Wasser ab!
CO₂ im Wasser besser löslich als O₂ => höherer CO₂ -Anteil als O₂ -Anteil trotz niedriger Konzentration in der Luft
=> unter bestimmten Umständen: Fischsterben bei hohen Temperaturen
- Mineralsalzgehalt (v.a. Phosphat)

2. Thermische Schichtung des Sees in den vier Jahreszeiten

Das Wasser in einem tiefen See ist nicht das ganze Jahr über gleich verteilt. Je nach Jahreszeiten bildet das Wasser mehr oder weniger Temperaturschichten. Vor allem in tiefen Seen ist dies für das Ökosystem See von großer Bedeutung, da sich durch diese Schichtung die abiotischen Faktoren wie die Temperatur, aber auch der Nährstoffgehalt und der Anteil der gelösten Gase massiv verändert.

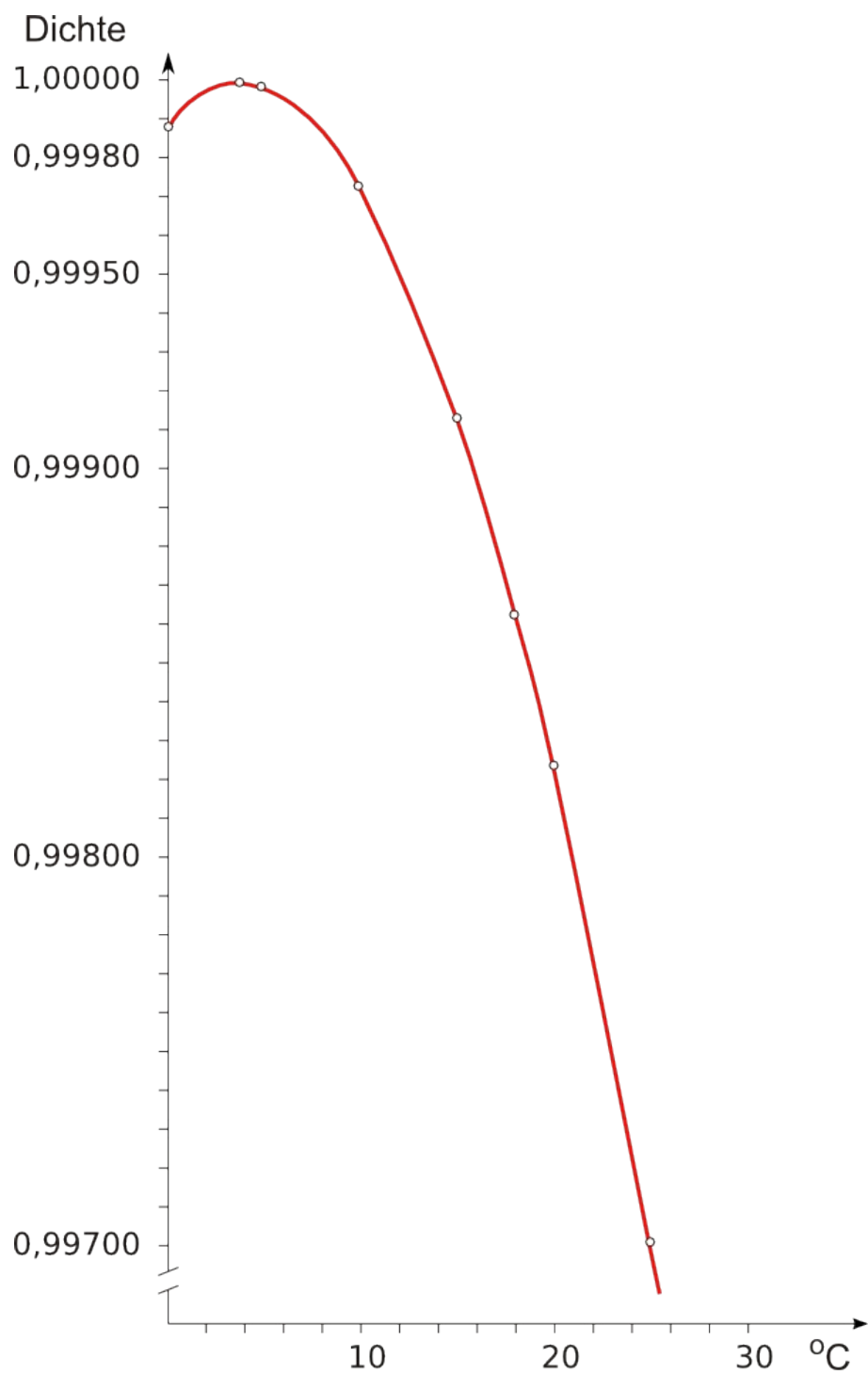
Ursache sind die besonderen physikalischen Eigenschaften des Wassers wie Dichteanomalie (die höchste Dichte liegt bei 4°C vor! => Eis ist spezifisch leichter als flüssiges Wasser => das Wasser am Grund, welches ja das schwerste ist, hat genau 4°C) und die Wasserstoffbrückenbindungen (WBB), welche zwischen den Wassermolekülen herrschen und so für den recht hohen Schmelz- und Siedepunkt des Wassers verantwortlich sind. Jedes Wassermolekül ist mit vier anderen verbunden, sodass die Eigenbewegung der Teilchen und somit der Phasenübergang enorm erschwert sind.



Infolgedessen, muss viel Energie aufgebracht werden, um Wasser zu schmelzen bzw. zum Sieden zu bringen.

Betrachtet man beide Faktoren gemeinsam, so erkennt man, dass durch die WBB ein schnelles Schmelzen des Wassers bei 0°C nicht klappt. Wasser bildet bei Temperaturen knapp über dem Schmelzpunkt sogenannte Wassercluster (=Vernetzungen) aus ca. 100 Wassermolekülen. In Lücken des Clusters dringen nun freie, bereits geschmolzene Moleküle ein, wodurch sich die Dichte erhöht! 4°C kaltes Wassers sinkt im See zum Grund, da es die höchste Dichte hat. Da es statistisch (und auch von der Thermodynamik her (siehe Maxwell-Boltzman-Verteilung, Kapitel Chemie: Kapitel Reaktionskinetik) immer Moleküle gibt, die genau 4°C haben, kann ein See am Grund nicht zufrieren. Dies wissen insbesondere die Lebewesen darin sehr zu schätzen ;-)
Kälteres Wasser steigt nach oben, sodass ein See nur von oben her zufrieren kann.

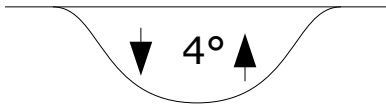
Wasser zeichnet sich durch das Ausbilden von WBB, seine Dichteanomalie, eine große Wärmekapazität und durch geringe Wärmeleitfähigkeit aus.

Die Abhängigkeit der Wasserdichte von der Temperatur

Dichteveränderung des Wassers bei zunehmender Temperatur

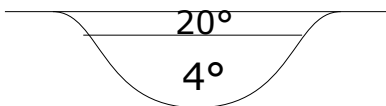
3. Zirkulation des Wassers im See im Verlauf der Jahreszeiten (dimiktisch)

Frühling



- im Winter kalte Oberschicht
- wird erwärmt
- Wenn 4 °C erreicht sind, sinkt das Wasser nach unten, anderes Wasser steigt auf.
- Zirkulation
- gleichmäßige Temperatur im See

Sommer



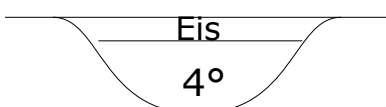
- Im Sommer wird die oberste Schicht stark erwärmt
- Es findet keine Zirkulation mehr statt: Stagnation.
- Schichtenbildung: Epilimnion, Hypolimnion, dazwischen Metalimnion
- Am Boden wird der gesamte Sauerstoff verbraucht.
- an der Oberfläche die Nährsalze

Herbst



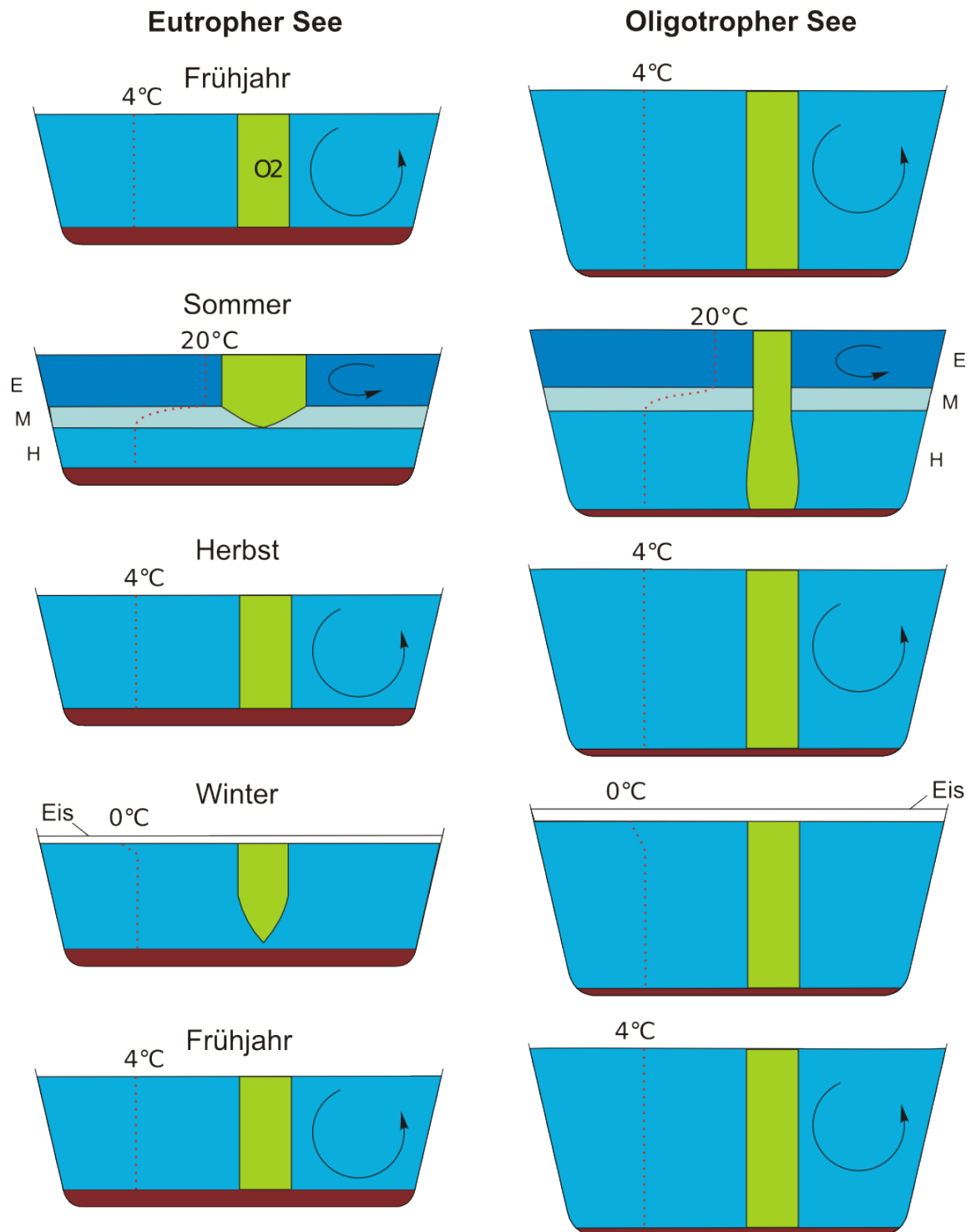
- Im Herbst kühlt die Oberfläche wieder ab, gleichmäßig 4 °C.
- Vollzirkulation
- Sauerstoff- und Nährsalzverteilung
- ohne Zirkulation: Umkippen

Winter



- am Boden 4 °C
- oben kälteres Wasser, das zufriert
- Winterstagnation

Zustand eines Sees im Wechsel der Jahreszeiten



Der O₂-Gehalt der einzelnen Schichten eines eutrophen und eines oligotrophen dimiktischen Sees der gemäßigten Klimazone im Jahresgang (E = Epilimnion, M = Metalimnion, H = Hypolimnion)

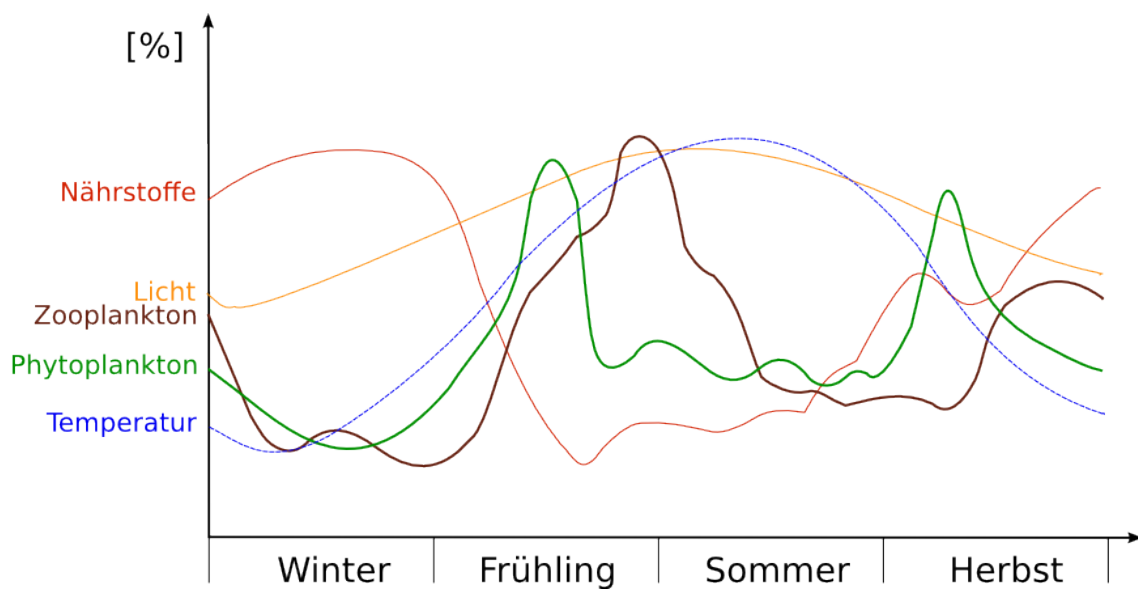
4. Anzahl der Lebewesen und Mineralssalzgehalt

Im Ökosystem See kommt es zu starken jahreszeitlichen Schwankungen der abiotischen Lebensbedingungen:

- Temperaturänderungen im Jahresverlauf
- Veränderte Intensität der Sonneneinstrahlung
- Zirkulations-/Stagnationsphasen

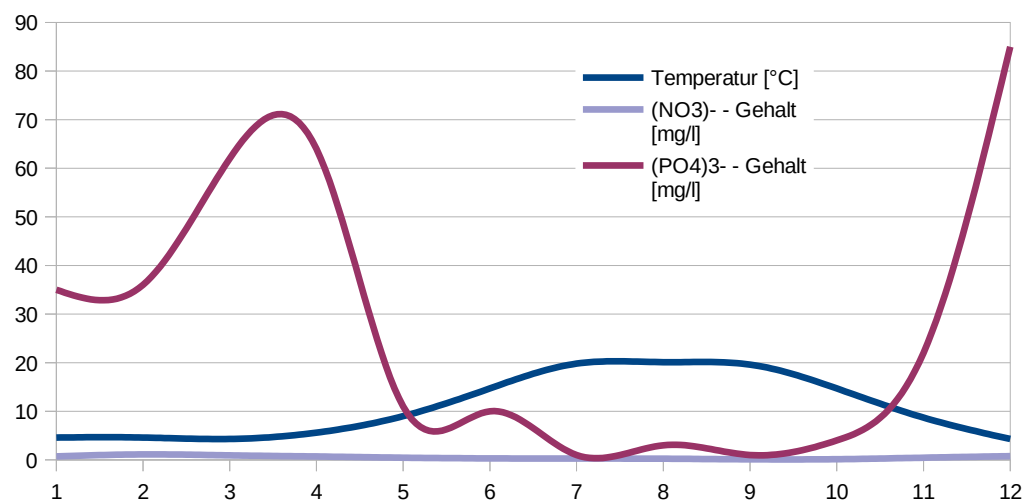
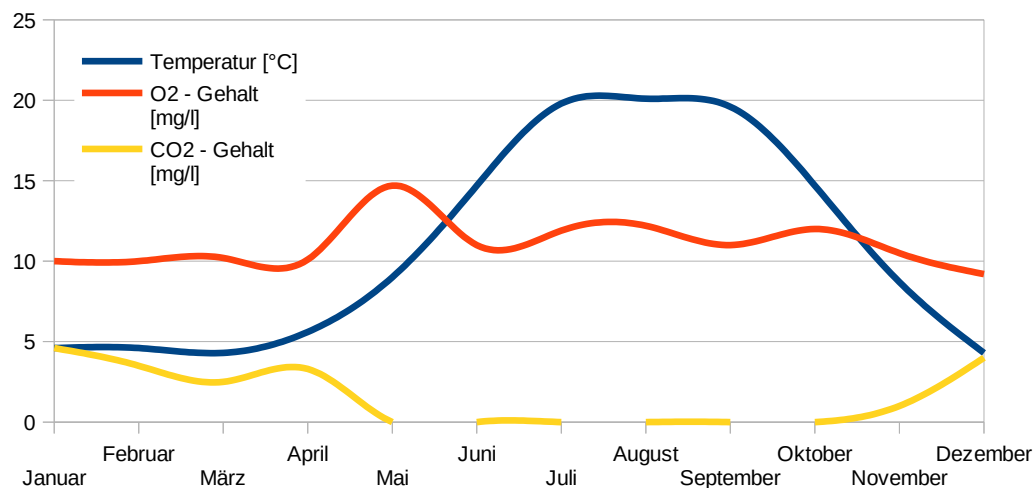
Dies hat Auswirkungen auf:

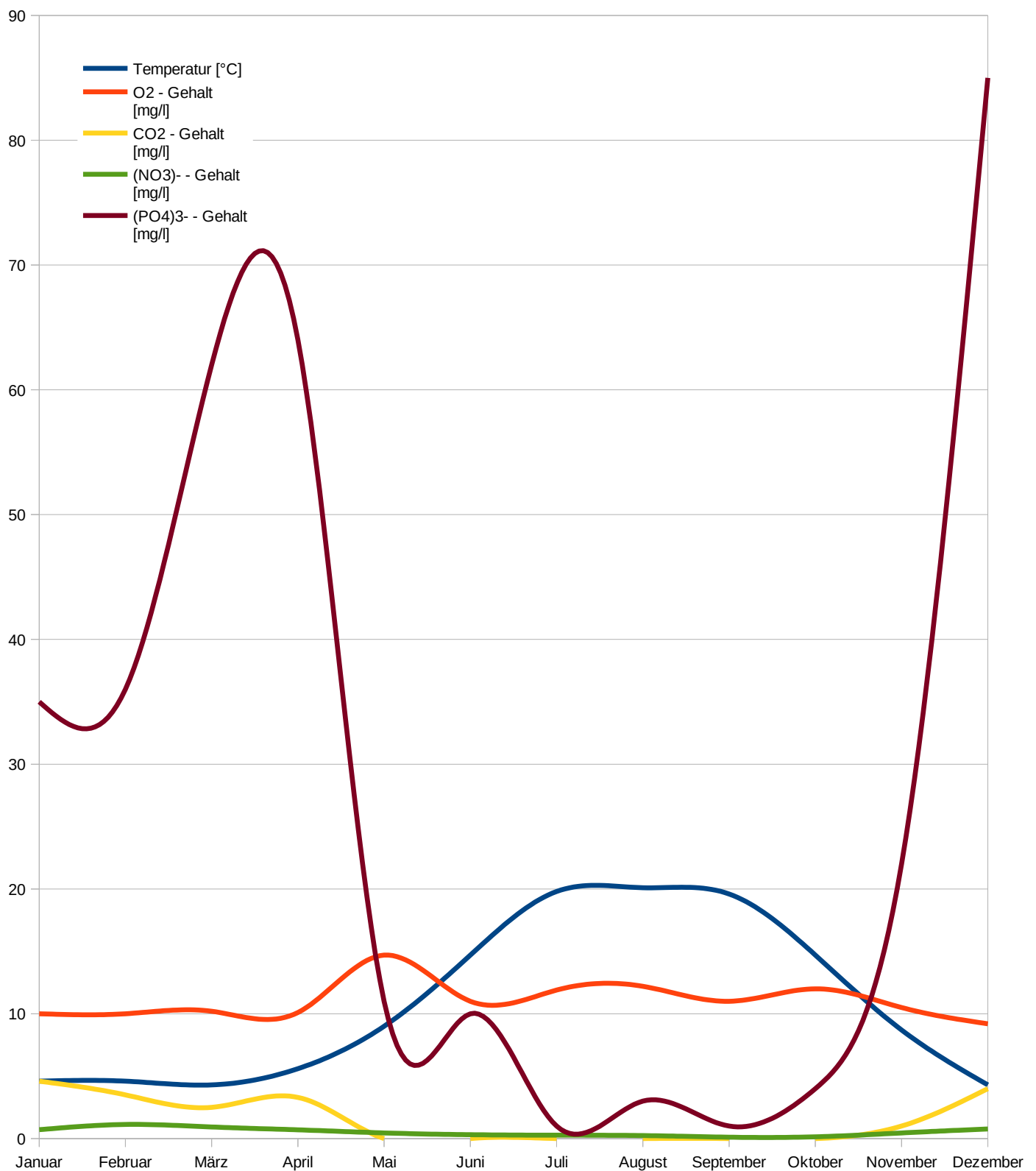
- die Konzentration an gelösten Gasen (wie Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid)
- die Konzentration an Nitrat- und Phosphationen
- uvm.



**Gehalt verschiedener Stoffe im Oberflächenwasser (Epilimnion)
des Bodensees im Jahr 1973**

Monat (1973)	Temperatur [°C]	O ₂ - Gehalt [mg/l]	CO ₂ - Gehalt [mg/l]	(NO ₃) ⁻ - Gehalt [mg/l]	(PO ₄) ³⁻ - Gehalt [mg/l]
Januar	4,6	10,0	4,6	0,71	35
Februar	4,6	10,0	3,5	1,13	36
März	4,3	10,2	2,5	0,93	62
April	5,6	10,1	3,3	0,70	64
Mai	9,0	14,7	0,0	0,45	11
Juni	14,7	11,0	0,0	0,31	10
Juli	19,8	11,9	0,0	0,27	1
August	20,1	12,2	0,0	0,24	3
September	19,6	11,0	0,0	0,11	1
Oktober	14,7	12,0	0,0	0,14	4
November	8,7	10,5	1,0	0,45	22
Dezember	4,3	9,2	4,0	0,77	85



Gesamtübersicht über den jahreszeitlichen Verlauf

Schlussfolgerungen:

Sauerstoffkurve: Im Bereich der trophogenen Zone (Nährschicht) ist viel Licht vorhanden und somit sind auch viele Produzenten aktiv. Es wird viel Sauerstoff freigesetzt. Sowie also die Tageslänge und die Sonneneinstrahlung durch den steigenden Winkel der Sonne zunimmt (ab April/ Mai), nimmt die Konzentration an Sauerstoff zu.

Dies führt zur Zunahme an sauerstoffverbrauchenden Konsumenten, welche sich stark vermehren.

=> die Konzentration an Sauerstoff sinkt wieder, da der Sauerstoff veratmet wird und die Algen gefressen werden.

Kohlenstoffdioxidkurve: (Im Wasser gelöstes) Kohlenstoffdioxid ist im Wesentlichen der minimierende Faktor, welcher das Wachstum des Phytoplanktons begrenzt. Somit verschwindet Kohlenstoffdioxid im späten Frühjahr ganz aus dem Wasser. Erst durch eine Reduktion der Photosynthese des Phytoplanktons im Herbst, wenn immer noch viele Konsumenten vorhanden sind und Kohlenstoffdioxid ausatmen sowie Destruenten Kohlenstoffdioxid abgeben, nimmt die Kohlenstoffdioxidkonzentration wieder zu.

Mineralsalze: In der tropholytischen Zone findet die Mineralisierung des Detritus statt. Dabei werden die vorher in Biomasse gebundenen Mineralsalze freigesetzt.

Durch Zunahme der Photosynthese und des Algenwachstums werden ab Mai verstärkt Phosphat und Nitrat von den Pflanzen zum Aufbau von Biomasse benötigt.

Der Anstieg des Phosphats im Herbst ist durch die Vollzirkulation, bei der Phosphat aus den Bodenschichten in die trophogene Zone gelangt, zu erklären.

Ammonium (NH_4^+), nicht in der Grafik aufgeführt, findet man im Sommer vor allem in den tieferen Schichten. Es entsteht ebenfalls durch die zunehmende Tätigkeit der Destruenten im Sommer.

Betrachtung der Stoffkreisläufe im See

a) O₂-Haushalt

In geschichteten Seen Gefahr eines O₂-Defizits im Hypolimnion.
(bei hoher Menge an abzubauenem Material)

Der hypolimnischen O₂-Verbrauch hängt vom **Trophiegrad** eines Sees ab.

Trophie: Intensität der photoautotrophen Primärproduktion.

- hohe Primärproduktion → eutroph
- niedrige Primärproduktion → oligotroph

Im eutrophen See fällt wegen der hohen Produktion viel Bestandsabfall an.

oligotropher See: Am Ende der Sommerstagnation im Hypolimnion noch mehr als 50 % des O₂-Vorrats vorhanden.

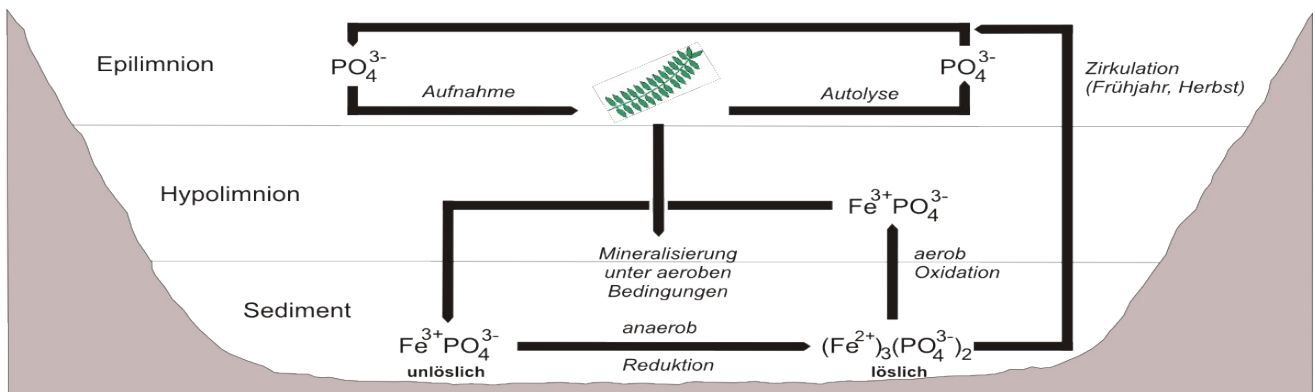
eutropher See: Weniger als 50 % oder auch gar kein O₂ mehr.

b) Phosphat-Haushalt

Anorganisch gelöstes Phosphat kommt unter natürlichen Bedingungen i.d.R. nur in sehr geringen Mengen vor.

- Phosphat stammt letztlich aus der Verwitterung von Gesteinen (z.B. Apatit).
- Die Spanne reicht von $1\mu\text{g/l}$ bis $50\mu\text{g/l}$
- Der Anteil von gelöstem Phosphat am Gesamtphosphat liegt bei ca. 10%.

Vereinfachter Phosphatkreislauf im See



Im aeroben (Epilimnion Oxidation von Fe^{2+} zu $\text{Fe}^{3+} \rightarrow$ unlösliches FePO_3
 Sinkt die O_2 -Sättigung unter 10 % ab, beginnt die Freisetzung von PO_4^{3-} , das ins Wasser übertreten kann.
 Sinkt der O_2 -Gehalt in die Nähe des Nullwertes, kommt es zu einem exponentiell verlaufenden Anstieg der PO_4^{3-} -Freisetzung.

Kleiner Phosphatkreislauf: - innerhalb weniger Stunden wird in sterbenden Zellen die Hälfte des partikulär gebundenen Phosphats freigesetzt und sofort wieder von anderen Organismen verwertet.
 - kann 10 bis 40 mal im Jahr ablaufen

Bis zum nächsten Kapitel

