

Bedeutung der abiotischen Faktoren

Sauerstoff

Zur Messung des Sauerstoffgehalts sehen Sie sich bitte folgenden Film an:

<https://www.youtube.com/watch?v=UrrFdIZPqQg>
(Kanal: global bis molekular vom Schulbiologiezentrum)

Die Tiere in einem Gewässer benötigen eine bestimmte Menge an Sauerstoff zum Überleben, die je nach Art unterschiedlich ist. Deshalb sind manche Tierarten gute **Bioindikatoren**.

Zum Beispiel kommen Bachforellen nur in kühlen, sauberen Bächen vor. Werden die schattenspendenden Bäume gefällt, kommen auch keine Bachforellen mehr vor. Karpfen vertragen dagegen fast jede Wasserqualität.

Manche Tiere (z. Bsp. der Taumelkäfer) können eine Luftblase mit unter Wasser nehmen (siehe „Steckbriefe“ der einzelnen Arten).

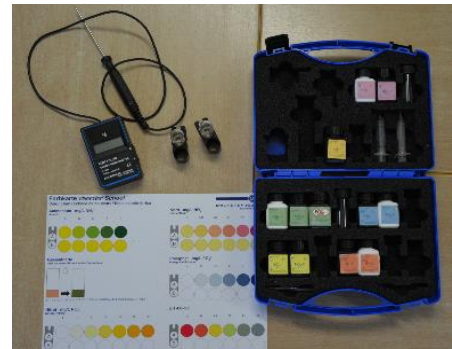
Viele Tiere kommen im Frühjahr häufiger vor, weil dann (noch) mehr Sauerstoff im Wasservorhanden ist. Ihre Anzahl nimmt dann zum Sommer deutlich ab, natürlich auch, weil sie von anderen Tieren gefressen werden. Wenn also bei einer Art als Sauerstoffbedarf 5mg/l steht, heißt das nicht, dass man bei gemessenen 4mg/l im Sommer gar keine Vertreter dieser Art mehr findet. Sie könnten sich dann auch, in geringerer Anzahl, näher der Wasseroberfläche aufhalten. Oder sie bleiben in der Nähe von Wasserpflanzen, die Sauerstoff abgeben. Manche Larven sind dann auch einfach schon geschlüpft.

Die ausreichende Sauerstoffmenge im Wasser ist aber auch für einen ausgewogenen Stickstoffkreislauf wichtig.

Sauerstoff gelang aus der Luft oder über die Fotosynthese der Pflanzen in das Wasser. Die Sauerstoffmenge im Gewässer ist je nach Wassertiefe, Licht und Temperatur sehr unterschiedlich. So kann es an der Wasseroberfläche zu Sättigungen über 100% kommen, wenn Licht, Temperatur und Nährstoffversorgung optimal sind und die Algen deswegen maximale Fotosyntheseleistung erbringen.

Im selben Gewässer kann aber die Sauerstoffsättigung am Grund sehr gering sein, weil dort wegen der großen Algenblüte wenig Licht vorhanden ist aber sich viel organische Masse angesammelt hat, die von Bakterien unter Sauerstoffverbrauch zersetzt wird. Hinzukommt eine Vermehrung der Konsumenten, die ebenfalls Sauerstoff benötigen und Fäkalien produzieren oder selbst zersetzt werden.

GEMESSEN MIT
UNTERSUCHUNGSKOFFER VON
MACHEREY & NAGEL



Der Sauerstoffgehalt sollte zu keiner Zeit und in keiner Tiefe weniger als 4 mg/l O₂ betragen, damit der Seegrund ganzjährig belebt bleibt. Kritisch wird es dann, wenn die Sauerstoffsättigung unter 40 % liegt.

Je höher die Temperatur, desto geringer die Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser.

T°C	O ₂ mg/L	T°C	O ₂ mg/L	T°C	O ₂ mg/L	T°C	O ₂ mg/L
0	14.16	10	10.92	20	8.84	30	7,53
1	13,77	11	10.67	21	8.68	31	7.42
2	13.40	12	10.43	22	8.53	32	7.32
3	13.05	13	10.20	23	8.38	33	7.22
4	12.70	14	9.98	24	8.25	34	7.13
5	12.37	15	9.76	25	8.11	35	7,04
6	12.06	16	9.56	26	7.99	36	6.94
7	11,76	17	9.37	27	7,86	37	6.86
8	11,47	18	9.18	28	7.75	38	6.76
9	11.19	19	9.01	29	7.64	39	6.68
10	10.92	20	8.84	30	7.53	40	6,59

Tabelle1: Löslichkeit von Sauerstoff in Abhängigkeit von der Temperatur bei 1013 HPA
Gesamtdruck der Wasserdampfgesättigten Atmosphäre nach Truesdale, Downing und Lowden –
J. Appl. Chem. 5 (1955)

$$\text{Sauerstoffsättigung} = \frac{\text{Gemessener Wert}}{\text{Maximaler Wert aus Tabelle}} \times 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

Je nach Sonneneinstrahlung kann die Sauerstoffsättigung an zwei aufeinanderfolgenden Tagen sehr unterschiedlich sein.

Phosphat/Phosphor

Das anorganische gelöste Phosphat ist in den meisten Seen der produktionsbegrenzende Nährstoff. In der Regel wird vom Frühjahr bis zum Herbst das anorganische gelöste Phosphat aus den obersten Wasserschichten fast vollständig aufgezehrt. Während der Zirkulationszeiten kommt es zur Verteilung der Phosphat-Ionen im Wasserkörper.

Planktonalgen nehmen bei ausreichender Phosphatversorgung mehr Phosphat auf als sie benötigen und speichern den Überschuss. So können sie dann auch bei Phosphatmangel im Wasser weiterwachsen.

Der Phosphatbedarf ist bei verschiedenen Algenarten unterschiedlich hoch, so dass man an der Algenzusammensetzung sogar Rückschlüsse auf den Phosphatgehalt des Wassers machen kann.

Wenn man korrekt misst, müsste man deshalb auch das in der Biomasse gebundene Phosphat bestimmen. Unsere gemessenen Werte können deswegen nur bedingt Aufschluss über die Eutrophierung geben. Ein geringer Phosphatwert bei viel Chlorophyll weist auf eine hohe Phosphatversorgung hin.

Die Pflanzen/Algen werden von Konsumenten gefressen, die das Phosphat somit aufnehmen. Durch Zersetzung von Algen oder durch die tierischen Fäkalien/Organismen gelangt Phosphat

wieder in den Wasserkörper. Nach dem Tod von Organismen beginnt nicht sofort ein bakterieller Abbau, sondern eine Autolyse, bei der Stoffe aus dem molekularen Verband frei werden und aus dem Körper herausdiffundieren können. Dann beginnt der bakterielle Abbau der Organismenreste.

So verliert Zooplankton nach dem Tod innerhalb eines Tages bereits die Hälfte der Gesamtsubstanz durch Autolyse und setzt Phosphat wieder frei.

Wasservögel können durch die Fäkalien zum Eintrag von Phosphat beitragen. Früher war die Überdüngung der Flüsse mit Phosphat aus Waschmitteln ein Problem. Heute gelangt Phosphat viel über Bodenerosion von Ackerböden nach Regenfällen in die Flüsse. Außerdem gelangt auch direkt durch den Regen Phosphat in die Gewässer.

In der Siedlungslandschaft gelangen Phosphat-Ionen über Drainageeinleitungen aus Siedlungsflächen und Regenwasserableitungen, aus Kläranlagen und Oberflächenabfluss in die Fließgewässer.

Phosphat-Ionen binden schnell an sehr feine Detritus-Teilchen im Sediment des Gewässers. Dadurch wird Phosphat vom Sediment adsorbiert.

„Gut durchlüftete Seen haben über die P-Bindung im Bodensediment eine Art „Phosphatfalle“ eingebaut, die jedoch bei Sauerstofffreiheit nicht mehr funktioniert.

Bei Sauerstofffreiheit, d. h. einem Sauerstoffgehalt des Sees unter 2 mg/l im Tiefenwasser, kann es zu einer Remobilisierung von bereits auf dem Seegrund in Sedimenten gebundenem Phosphat kommen. Diese Gefahr besteht am ehesten bei flachen Seen mit Sauerstoffmangel im Tiefenwasser während der Sommerstagnation. Dadurch kann bereits eingelagertes Phosphat wieder in den Wasserkreislauf gelangen. Der See düngt sich dann quasi selbst.“¹

Aber auch Fische, die das Sediment aufwühlen, tragen zur Rücklösung von Phosphat und somit zur internen Düngung bei. Dies kann selbst bei Anwesenheit von Sauerstoff zur Auswaschung von adsorbiertem Phosphat beitragen. (vergl. ²)

Stickstoff

Stickstoff steht in viel größerer Menge zur Verfügung als Phosphor. Die größten N-Quellen sind Ammonium und Nitrat, die während des Sommers im Epilimnion teilweise aufgezehrt werden. In anderen Teilen des Wasserkörpers kann das anders sein. Die Pflanzen benötigen N zum Aufbau von Aminosäuren, DNA-Basen und Enzymen.

Sehen Sie sich bitte den Film zum Stickstoffkreislauf an:

<https://www.youtube.com/watch?v=nrKRDg4k-bE>

Nitrat

Nitrat gelangt häufig aus der Landwirtschaft über Entwässerungsgräben in die Flüsse. In Seen entsteht ein Eintrag von Ammonium und Nitrat durch Fäkalien von Vögeln und Laubmasse. Tote Organismen tragen nicht zu einem Nettoeintrag bei, wenn sie sich aus dem Wasser ernährt haben.

¹ <http://www.poettschingsee.at/wasser/eutrophierung-2.pdf>, Seite 11, abgerufen am 11.03.2021

² Risse-Buhl, Ute und Schönborn, Wilfried: Lehrbuch der Limnologie, Schweizerbart, 2013, 2. Auflage, S. 253

Das Nitrat kann von den Pflanzen direkt aufgenommen und als N-Quelle verwendet werden. Für Trinkwasser gilt ein Grenzwert von 50mg/l, da Nitrat im Verdauungstrakt zu giftigem Nitrit umgewandelt werden kann. Nitrat ist besonders für kleine Kinder sehr gefährlich. Für Nitrit gilt im Trinkwasser ein Grenzwert von 0,5mg/l, da es das Hämoglobin schädigt. Ab 5mg/l werden die Larven von Köcherfliegen geschädigt³.

Unter anaeroben Bedingungen kann Nitrat auch durch anaerobe Bakterien zu elementarem Stickstoff reduziert werden, der in die Luft abgegeben wird (Denitrifikation).

Andere Nährstoffe/Mineralstoffe sollen hier nicht weiter ausgeführt werden (Silicium, Natrium, Kalium, Mangan, Eisen, Calcium, Magnesium, Kupfer und einige andere).

Ammonium

Neben Nitrat kann auch Ammonium von vielen Algen und höheren Pflanzen direkt aufgenommen und als N-Quelle verwendet werden.

Aber unter aeroben Bedingungen wird freies Ammonium im Wasser (oder Boden) von Bakterien oxidiert.

Ammonium (NH_4^+)

↓

Oxidation durch Nitritbakterien (aerob)

↓

Nitrit (NO_2^-) ist giftig, wird sehr schnell umgesetzt (Nitrit nur bei O_2 -Mangel)

↓

Oxidation durch Nitratbakterien

↓

Nitrat (NO_3^-), wird von Pflanzen aufgenommen

Diese Nitrifikation verbraucht (!) Sauerstoff, denn die oben genannten Bakterien sind aerob.

Während der Sommerstagnation läuft deshalb im **sauerstoffarmen** Bereich eine andere Reaktion ab: anaerobe Bakterien reduzieren Nitrat und bilden Ammonium. Das nennt man Nitratammonifikation.

Dadurch nimmt der Gehalt an Nitrat ab, während Ammonium im Hypolimnion verbleibt.

Nitrat (NO_3^-)

↓

Ammonifikation (Reduktion, anaerob)

↓

Ammonium NH_4^+ (sammelt sich in tieferen Schichten an, wird erst im Herbst wieder im Wasserkörper verteilt, oder durch Fische, die im Boden nach Nahrung suchen)

In den Bodenablagerungen sorgen die Destruenten dafür, dass weiteres Ammonium durch Abbauprozesse entsteht und der O_2 -Gehalt weiter abnimmt.

Unter **anaeroben** Bedingungen ist folglich eine **Abnahme** von Nitrat zu beobachten und eine Zunahme von Ammonium. Gelangt noch genug Licht in diesen Bereich, können die Algen das

³ Schwoerbel, Einführung in die Limnologie, S. 296

Ammonium als N-Quelle nutzen. In dunkleren, anaeroben Schichten findet eine Ammonium-Ansammlung statt.

Allerdings kann auch im sauerstoffreichen, lichtdurchfluteten Wasser das Nitrat und Ammonium durch die hohe Fotosyntheserate aufgezehrt sein. (siehe Datei *abiotische Faktoren im Jahresverlauf*)

Schwefel

Wir messen den Schwefelgehalt im Wasser nicht, deswegen fassen wir uns an dieser Stelle kurz: Beim Abbau von Eiweiß entsteht Schwefelwasserstoff (H_2S), das oxidiert wird, wenn ausreichend Sauerstoff vorhanden ist. Bei Sauerstoffmangel riecht man den giftigen Schwefelwasserstoff („faule Eier“).

Temperatur

Das Wachstum ist aufgrund der RGT-Regel von der Temperatur und somit von der Jahreszeit und dem Wetter abhängig. Die Temperatur beeinflusst außerdem die Sauerstofflöslichkeit des Wassers (siehe Tabelle 1).

pH-Wert

Der pH-Wert natürlicher Gewässer schwankt üblicherweise zwischen 6,5 und 8,5.

Bei pH-Werten unter 5,5 werden Kleinlebewesen größtenteils geschädigt oder getötet. Bei Fischen führen zu niedrige oder zu hohe pH-Werte zur Säure- bzw. zur Laugenkrankheit. Als Grenzwerte, die tödlich für alle einheimischen Fischarten sind, gelten Werte < 4 und $> 10,8$.

Licht

Das Wachstum der Algen und auch der höheren Pflanzen ist von der Lichtintensität abhängig. Andererseits ist der Lichteinfall durch eine hohe Algendichte (Chlorophyllgehalt) verringert. Dies hat wiederum Einfluss auf die Fotosyntheserate und den Sauerstoffgehalt unterhalb der Sichttiefe.

Die Sichttiefe lässt Rückschlüsse darauf zu, wie viele Algen im Wasser sind und wie tief das Licht durch das Wasser dringt. Aufgrund der geringen Tiefe unserer Gewässer ist sie nicht wirklich aussagekräftig. Interessanter sind da vielleicht die Fotos von den Gewässerproben.

Eine methodisch saubere Messung der Lichtverhältnisse unter Wasser ist kompliziert (Jahreszeiten, Wetter, Baumbestand/Beschattung). Deshalb wurde hier darauf verzichtet.

Dennoch können Sie natürlich diese Wechselwirkungen in Ihre Überlegungen (Aufgabenstellungen) mit einbeziehen!

Übersicht

Gering				Hoch
Starker O ₂ -Verbrauch durch Abbauprozesse, z.B. durch Eutrophierung Geringe O ₂ -Kapazität durch hohe Temperaturen.	←	Sauerstoff	→	Hoher O ₂ -Eintrag z.B. durch Photosynthese oder Turbulenz. Große O ₂ -Kapazität durch niedrige Temperaturen.
Geringe Eutrophierung	←	Nitrat	→	Starke Eutrophierung, z.B. durch N-Eintrag (Dünger) oder Biomasse (z.B. abgestorbene Organismen, Laub), Reduktion zu Nitrit
Intakte Abbauprozesse durch nitrifizierende Bakterien, geringe Vergiftungsgefahr	←	Nitrit	→	Gestörte Abbauprozesse, hohe Vergiftungsgefahr
Intakte Abbauprozesse durch hohe O ₂ -Konzentration	←	Ammonium	→	Geringe O ₂ -Konzentration: gestörte Abbauprozesse, Anhäufung von NH ₄ ⁺
Geringe Eutrophierung	←	Phosphat	→	Starke Eutrophierung Verunreinigung durch Dünger und Waschmittel und Fäkalien



ABBILDUNG 1: EIN STARK EUTROPHIERTER TÜMPEL

Trophie ist die **Intensität der photoautotrophen Produktion**.

Eutrophierung ist demnach die Zunahme dieser „Primärproduktion“ im Gewässer. Sie kann durch natürliche oder künstliche Nährstoffanreicherung oder durch eine bessere Verfügbarkeit der Nährstoffe/Mineralstoffe bewirkt werden.

Achtung:

Eine Trophie-*Ebene* oder Trophie-*Stufe* ist etwas anderes. Dabei handelt es sich um eine **Funktionsgruppe** von Organismen (Produzenten, Konsumenten versch. Ordnung).

Parameter	oligotroph	mesotroph	eutroph	polytroph
Sichttiefe in m ⁴	10 - 5m	5 – 2m	weniger als 2	weniger als 1
Phosphat (PO ₄ ³⁻) in mg/l (⁵)	bis 0,1	bis 0,3	bis 1,0	über 1,0
Chlorophyll a-Gehalt im Saisonmittel (März – Okt.) in Mikrogramm (µg/l)	< 3,0 µg/l (sehr klar)	< 9,6 µg/l	< 31 µg/l (grün)	< 100 µg/l (sehr grün)
O ₂ - Gehalt (in mg/l)	mehr als 8	6-8	2-4	unter 2
Sauerstoffsättigung (nach Schwoerbel ⁷) in %	> 80	80 - 40	am Grund: 0 - 40 an der Oberfläche durch Algen bis 150%	am Grund: 0 -10 tieferes Wasser: unter 30%
Nitratgehalt (mg/l)	0,1	< 1	> 1	> 5
Ammoniumgehalt (mg/l)	0,1	< 1	> 1	> 5

Tabelle 2: Übersicht Eutrophierung in Abhängigkeit von abiotischen Faktoren

Lesen Sie bitte die Datei „*abiotische Faktoren im Jahresverlauf*“.

⁴ Die Sichttiefe ist bei unseren Teichen immer geringer als hier angegeben. Interessant ist aber dennoch, wenn die Gewässer zur selben Jahreszeit sehr unterschiedliche Sichttiefen bzw. Chlorophyllmengen aufweisen.

⁵ Werte dem Untersuchungskoffer der Fa. Macherey & Nagel entnommen, die in Biomasse gebundenen Phosphatmenge kann leider nicht berücksichtigt werden. Entscheidend ist aber hier die Angabe von Macherey und Nagel für in Wasser gelöstes Phosphat.

⁶ Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

⁷ Brendelberger, Schwoerbel: Einführung in die Limnologie, 10. Auflage, Springer, 2013, S. 278