

Temperaturabhängige Sättigungswerte von Sauerstoff in Wasser bei einem Luftdruck von 1013 mbar

Sauerstoff ist in Wasser physikalisch gelöst, d.h. der Sättigungswert in Wasser hängt vor allem vom Partialdruck des Sauerstoffs in der Luft ab. Luft hat einen O₂-Gehalt von 20,95%:
 → $p_{O_2} = 0,2095 \cdot 1013 \text{ mbar} = 212,2 \text{ mbar}$. Der Sättigungszustand im Wasser ist dann erreicht, wenn der Partialdruck von O₂ im Wasser gleich dem der Luft ist. Zusätzlich hat auch noch die Temperatur Einfluss, da der Dampfdruck von Wasserdampf mit steigender Temperatur zunimmt und somit bei der Berechnung vom Luftdruck noch abgezogen werden muss → für die Berechnung gilt: $p_{O_2} = x_{O_2} \cdot (p_L - p_W)$. Je höher die Temperatur, desto größer der Wasserdampfdruck und desto geringer der Anteil von O₂ in Wasser.

t[°C]	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
mg O₂/l										
0	14,16	14,12	14,08	14,04	14,00	13,97	13,93	13,89	13,85	13,81
1	13,77	13,74	13,70	13,66	13,63	13,59	13,55	13,51	13,48	13,44
2	13,40	13,37	13,33	13,30	13,26	13,22	13,19	13,15	13,12	13,08
3	13,05	13,01	12,98	12,94	12,91	12,87	12,84	12,81	12,77	12,74
4	12,70	12,67	12,64	12,60	12,57	12,54	12,51	12,47	12,44	12,41
5	12,37	12,34	12,31	12,28	12,25	12,22	12,18	12,15	12,12	12,09
6	12,06	12,03	12,00	11,97	11,94	11,91	11,88	11,85	11,82	11,79
7	11,76	11,73	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58	11,55	11,52	11,50
8	11,47	11,44	11,41	11,38	11,36	11,33	11,30	11,27	11,25	11,22
9	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03	11,00	10,98	10,95
10	10,92	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77	10,75	10,72	10,70
11	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,53	10,50	10,48	10,45
12	10,43	10,40	10,38	10,36	10,34	10,31	10,29	10,27	10,24	10,22
13	10,20	10,17	10,15	10,13	10,11	10,09	10,06	10,04	10,02	10,00
14	9,98	9,95	9,93	9,91	9,89	9,87	9,85	9,83	9,81	9,78
15	9,76	9,74	9,72	9,70	9,68	9,66	9,64	9,62	9,60	9,58
16	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,45	9,43	9,41	9,39
17	9,37	9,35	9,33	9,31	9,30	9,28	9,26	9,24	9,22	9,20
18	9,18	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04	9,03
19	9,01	8,99	8,98	8,96	8,94	8,93	8,91	8,89	8,88	8,86
20	8,84	8,83	8,81	8,79	8,78	8,76	8,75	8,73	8,71	8,70
21	8,68	8,67	8,65	8,64	8,62	8,61	8,59	8,58	8,56	8,55
22	8,53	8,52	8,50	8,49	8,47	8,46	8,44	8,43	8,41	8,40
23	8,38	8,37	8,36	8,34	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,26
24	8,25	8,23	8,22	8,21	8,19	8,18	8,17	8,15	8,14	8,13
25	8,11	8,10	8,09	8,07	8,06	8,05	8,04	8,02	8,01	8,00
26	7,99	7,97	7,96	7,95	7,94	7,92	7,91	7,90	7,89	7,88
27	7,86	7,85	7,84	7,83	7,82	7,81	7,79	7,78	7,77	7,76
28	7,75	7,74	7,72	7,71	7,70	7,69	7,68	7,67	7,66	7,65
29	7,64	7,62	7,61	7,60	7,59	7,58	7,57	7,56	7,55	7,54
30	7,53	7,52	7,51	7,50	7,48	7,47	7,46	7,45	7,44	7,43

% Sättigung = gemessener O₂-Wert / Sättigungswert
(bei gemessener Temperatur)

Fischart	Dauerwert	minimaler Dauerwert	tödlich
Karpfen	> 5 mg/l	> 4 mg/l	< 0,7 mg/l
Forellen	> 10 mg/l	> 7 mg/l	< 2,4 mg/l

Sauerstoffgehalt (untere Grenzwerte) und Gewässergüte

Güteklasse	I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
O ₂ -Gehalt	>8 mg/l	>8 mg/l	>6 mg/l	>4 mg/l	>2 mg/l	<2 mg/l	<1 mg/l

O₂-Zehrung und biochemischer O₂-Bedarf

Güteklasse	I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
BSB ₂ [mg/l]	<1	<2	2-3	2-5	4-7	5-10	>8
BSB ₅ [mg/l]	1	1-2	2-6	5-10	7-13	10-20	>15

BSB₂ x 1,85 = BSB₅

Bemerkungen: Sättigungen über 200% → Gefahr der Gasblasenerkrankung. Starke O₂ Schwankungen in eutrophen, pflanzenreichen Gewässern → tageszeitliche Schwankungen bei hohen Temperaturen (hoher Stoffwechsel = großer Verbrauch) → kritischer Punkt: vor Sonnenaufgang (Pflanzenatmung) Symptome bei Fischsterben durch O₂-Mangel: Kiemen weit abgespreizt und Maul weit aufgerissen.

pH – Wert

Ideal ist ein Wert zwischen 7 und 8,5. Werte unterhalb 5,5 und über 9 sind für viele Fischarten tödlich. Sie führen zu schweren Haut- und Kiemenschäden. pH-Wert sollte vor allem während kritischen Phasen beobachtet werden → **a)** Schneeschmelze: viel kalkarmes Wasser, dass bei niedriger Temperatur viel Kohlensäure bildet **b)** tageszeitliche Schwankungen durch biogene Entkalkung von Pflanzen: produzieren nachts viel CO₂ = Kohlensäure...

Gesamthärte

Wird gebildet durch die *temporäre Härte* (CaCO₃, MgCO₃), die beim Erwärmen ausfällt, und der *permanenten Härte* (CaSO₄, CaCl₂, MgSO₄, MgCl₂).

Härte	sehr weich	weich	mittelhart	hart	sehr hart
°d	0-4	4-8	8-18	18-30	>30

Carbonathärte und Säurebindungsvermögen (SBV)

Kalk ist in der Lage Säure zu binden → je größer der Kalkgehalt eines Wassers, desto mehr „gepuffert“ ist es gegenüber pH-Schwankungen → desto fruchtbarer ist es. Der SBV-Wert hängt allein von der *temporären Härte* ab.

$$\text{Carbonathärte [°d]} / 2,8 = \text{SBV}$$

Fruchtbarkeit	gering	normal	sehr gut	maximal
SBV	< 0,5	0,5 - 2	2 - 5	> 5

Kohlendioxid und Kohlensäure

Zu hohe Kohlensäurekonzentrationen sind tödlich für Fische. Die Toleranz der Kohlensäure hängt von der O₂-Konzentration und dem SBV ab. → niedrige O₂-Werte = niedrige Kohlensäuretoleranz, niedriger SBV-Wert → niedriger Kohlensäuretoleranz. Symptome einer Kohlensäurevergiftung: Maul weit aufgerissen, Kiemendeckel bleiben angelegt, verätzte Kiemen, Flossenausfaserungen, Blutungen in Kiemen und inneren Organen

Kohlensäuregehalt kann aus SBV- und pH-Wert berechnet werden:

$$\text{Kohlensäuregehalt [mg/l]} = \text{SBV} \times \text{pH-Wert Faktor}$$

pH-Wert	Faktor	pH-Wert	Faktor	pH-Wert	Faktor
6,0	118	6,7	24	7,4	4,7
6,1	94	6,8	19	7,5	3,7
6,2	75	6,9	15	7,6	3,0
6,3	59	7,0	12	7,7	2,4
6,4	47	7,1	9,4	7,8	1,9
6,5	37	7,2	7,5	7,9	1,5
6,6	30	7,3	5,9	8,0	1,2
Fischart	Erregung		Taumeln		Tod
Bachforellen	36 mg/l		55 mg/l		138 mg/l
Regenbogenforellen	36 mg/l		55 mg/l		147 mg/l
Karpfen	73 mg/l		200 mg/l		260 mg/l
Schleien	128 mg/l		285 mg/l		440 mg/l

Ammonium (NH₄⁺) und Ammoniak (NH₃)

Entstehen durch tierische Abbauprodukte von Eiweißen. Ammoniak ist ein starkes Fischgift. Greift Schleimhäute, Kiemen und Darm an → Blutungen. Ob aus dem abgebauten Eiweiß Ammonium oder Ammoniak entsteht hängt vom pH-Wert des Wassers ab. Je höher der pH-Wert, desto größer der Ammoniakanteil. Je höher die Wassertemperatur, desto größer der Ammoniakanteil. Ammoniakfischsterben durch schnelle pH-Verschiebungen treten vor allem an Flüssen auf, in die Fertigbetonfirmen, Gerbereien, Kunststeinbetriebe, Galvanisieranstalten, Flaschenspülanlagen oder Großwäschereien einleiten. Auch in stehenden Gewässern bei biogener Entkalkung.

Wassertemperatur [°C]

pH-Wert	5°C	10°C	toxischer Grenzwert NH ₃ [mg/l]	15°C	20°C	toxischer Grenzwert NH ₃ [mg/l]	25°C
6,0	0,013	0,02	391,0	0,028	0,04	183,0	0,058
6,5	0,04	0,06	124,0	0,09	0,13	58,0	0,18
7,0	0,12	0,19	39,2	0,27	0,4	18,4	0,55
7,5	0,39	0,59	12,4	0,85	1,24	5,86	1,73
8,0	1,22	1,83	3,93	2,65	3,83	1,90	5,28
8,5	3,77	5,55	1,31	7,98	11,18	0,65	14,97
9,0	11,02	15,68	0,46	21,42	28,47	0,26	35,76
9,5	28,4	37,1	0,20	46,5	55,7	0,13	64,3
10,0	55,6	65,1	?	73,3	79,9	?	85,1

% Ammoniak

Nitrit (NO₂⁻) und Nitrat (NO₃⁻)

Ammonium und Ammoniak werden durch Mikroorganismen oxidiert (abgebaut), d.h. diese belastenden Substanzen werden unter Sauerstoffverbrauch zu Nitrit (starkes Fischgift) und anschließend Nitrat umgebaut (Nitrifikation; *Selbstreinigungskraft* der Gewässer). Nitrat ist das Endprodukt des Eiweißabbaus und sogleich ein Düngemittel für Pflanzen. Nitritvergiftete Fische fallen durch „*Dahindämmern*“ auf → Fische versuchen abzuwandern. In welcher Form Nitrit im Wasser vorliegt hängt von pH-Wert ab. Je höher der pH-Wert (> 6), desto geringer der Anteil, der als *fischgiftiges* HNO₂ (salpetrige Säure) vorliegt und desto höher ist somit der Anteil des harmlosen NO₂⁻. Bei normalen pH-Werten kommen keine Fischsterben durch Nitrit vor. Toxischer Grenzwert: 0,01mg/l HNO₂.

pH-Wert	HNO ₂ -Anteil [%]	Toxischer Messwert NO ₂ ⁻ [mg/l]
5,0	2,34	0,04
5,5	0,75	0,13
6,0	0,24	0,42
6,5	0,08	1,3
7,0	0,02	4,2
7,5	0,01	13,2
8,0	0,002	41,7
8,5	0,001	132,0

Schwefelwasserstoff (H₂S)

H₂S und Methan (CH₄) entstehen beim anaeroben (ohne O₂) Abbau von organischem Material durch Bakterien. Methan ist nur schlecht in Wasser löslich und *gast* in Blasen aus Faulschlamm aus. H₂S dagegen löst sich sehr gut in Wasser → dissoziiert zu HS⁻ (*Hydrogensulfid*) + H⁺. Je höher der pH-Wert und die Temperatur, desto geringer der Anteil des giftigen H₂S. Ist genügend O₂ im Wasser vorhanden, wird es sofort zu Schwefeldioxid (SO₂) oxidiert → Prozess verbraucht Sauerstoff. An H₂S und O₂-Mangel verendete Fische lassen sich durch violett-rot verfärbte Kiemen erkennen. Tödlicher Grenzwert: 0,5 mg/l H₂S.

Phosphate (PO_4^{3-})

Nährsalze, die vor allem in Dünger vorhanden sind. Haben düngende Wirkung. Gelangen sie ins Wasser, wird zuerst die Algenproduktion stark angekurbelt (aus 1kg Phosphor entsteht 1000kg Algenbiomasse; Wasser verfärbt sich grün = Algenblüte) → mehr Phytoplankton (z.B. 1000kg) → mehr Zooplankton (100kg) → mehr Friedfische (10kg) → Raubfische (1kg). Nahrungspyramide nimmt pro Ebene um den Faktor 10 ab (= Verlust der Biomasse). Algenwachstum entzieht dem Wasser Phosphat. Sterben diese ab, wird es mit diesen zum Seegrund transportiert und verbindet sich dort mit dreiwertigen Eisen zu Eisen(III)-phosphat, wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist. Ist zu wenig Sauerstoff vorhanden, gehen Eisen und Phosphat wieder in Lösung und steht somit den Algen wieder zur einer noch stärkeren Vermehrung zur Verfügung → noch mehr organisches Material fällt an, das unter O_2 -Verbrauch zersetzt wird → der See kippt um. Es verharrt gebunden am Gewässergrund. Phosphatgehalt sollte auch dann gemessen werden, wenn Algen nicht blühen, da diese dem Gewässer ja sehr viel Phosphat entziehen, also im Frühjahr und Herbst.

Beurteilung stehender Gewässer: PO_4^{3-}

oligotroph (nährstoffarm = sauber)	mesotroph	eutroph (nährstoffreich)	polytroph (übermäßig nährstoffreich)
0,005 – 0,013 mg/l	0,014 – 0,049 mg/l	0,038 – 0,189 mg/l	> 0,189 mg/l

In Fließgewässern hat der Phosphatgehalt eine geringere Bedeutung. Fließgewässer mit einer PO_4^{3-} -Konzentration bis 0,1mg/l werden als sauber eingestuft, bei Werten über 0,3 mg/l gelten sie als fäkal belastet.

Chlorid (Cl^-)

Kommt natürlicherweise in Gewässern vor → abhängig von geologischer Formation des Gewässerbettes. Werte bis 10 mg/l bei Urgestein und Buntsandstein, bis 100 mg/l bei Salzlagerstätten oder küstennahen Quellen. Fällt aber auch häufig als Abfallprodukt der Kaliindustrie an und wird eingeleitet. Hohe Konzentrationen können auch durch Streusalz verursacht werden. Zu hohe Konzentrationen sind schädlich → Bioindikator *Gammarus tigrinus* (2,5). **Grenzwert: 250 mg/l** (Beginn der geschmacklichen Wahrnehmung) → höhere Werte führen zu Pflanzenverfärbungen und Beeinträchtigung der Fische, etc. Wird als Fischtherapeutikum gegen Ektoparasiten eingesetzt. Wirkt in geringen Konzentrationen stoffwechsellagernd und vitalisierend bei Fischen → Gabe bei Transport.