

HORIBA

Wasserqualitätsmessung in Aquakultur und Fischzucht

Wasserqualitätsmessung in Aquakultur und Fischzucht

Einführung

Aquakultur – die Zucht von Fischen, Krebstieren, Weichtieren und Wasserpflanzen – ist weltweit eine wichtige Nahrungsquelle und Wirtschaftszweig. Unabhängig vom Systemtyp (Teiche, Käfige, Tanks, Kanalisationssysteme oder Kreislaufanlagen) ist die Aufrechterhaltung einer optimalen Wasserqualität entscheidend für die Tiergesundheit, das Wachstum und die Produktionseffizienz. Eine genaue Echtzeitüberwachung von pH-Wert, gelöstem Sauerstoff (DO), Salzgehalt, Ammoniak, Redoxpotential (ORP) und Trübung gewährleistet optimale Umweltbedingungen und minimiert das Krankheitsrisiko und die Sterblichkeit.



Parameter in der Aquakultur

In der Aquakultur werden tragbare Geräte eingesetzt, um verschiedene kritische Wasserqualitätsparameter zu messen – nicht nur den gelösten Sauerstoff –, um die Gesundheit und Produktivität der Wassertiere zu gewährleisten. Hier sind die wichtigsten Parameter, die typischerweise mit tragbaren Geräten gemessen werden:

1. Gelöster Sauerstoff (DO)

- Am wichtigsten: Fische und Garnelen benötigen bestimmte Sauerstoffwerte.
- Ein niedriger Sauerstoffgehalt kann Stress, Krankheiten oder den Tod verursachen.

2. Temperatur

- Die Wassertemperatur beeinflusst den Stoffwechsel, die Sauerstofflöslichkeit und die Fütterungsrate.
- Bei manchen Arten sind die optimalen Temperaturbereiche eng begrenzt.

3. pH

- Misst den Säure-/Basengehalt des Wassers.
- Der pH-Wert beeinflusst die Ammoniaktoxizität und die allgemeine Gesundheit der Fische.

4. Salzgehalt (oder Leitfähigkeit)

- Wichtig für Arten in Brackwasser- oder Meeresumgebungen.
- Hilft, das osmotische Gleichgewicht bei Wassertieren aufrechtzuerhalten.

5. Ammoniak ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)

- Giftiges Abfallprodukt aus dem Stoffwechsel und der Zersetzung von Tieren.
- Schon geringe Konzentrationen können tödlich sein.

6. Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-)

- Nebenprodukte des Stickstoffkreislaufs.
- Ein hoher Nitritgehalt ist hochgiftig; ein hoher Nitratgehalt kann langfristige Gesundheitsprobleme verursachen.

7. Trübung

- Misst die Wasserklarheit.
- Eine hohe Trübung kann für Fische Stress bedeuten, die Kiemen verstopfen und den Wasserpflanzen das Licht nehmen.

8. Kohlendioxid (CO_2)

- Ein hoher CO_2 -Gehalt kann den pH-Wert des Blutes von Fischen senken (Azidose).
- Wichtig in Systemen mit hoher Besatzdichte.

9. Alkalinität

- Wirkt als Puffer gegen pH-Änderungen.
- Hilft, die Wasserchemie zu stabilisieren.

10. Chlor

- Besonders wichtig bei der Verwendung von aufbereitetem Leitungswasser.
- Schon geringe Mengen können für Wasserlebewesen schädlich sein.

11. ORP

- ORP ist wie ein „Gesundheitsmesser“ für Aquakulturwasser – es hilft Ihnen, Probleme (wie schmutziges Wasser, niedrigen Sauerstoffgehalt oder schädliche Bakterien) frühzeitig zu erkennen, bevor sie Ihre Tiere stressen oder töten.

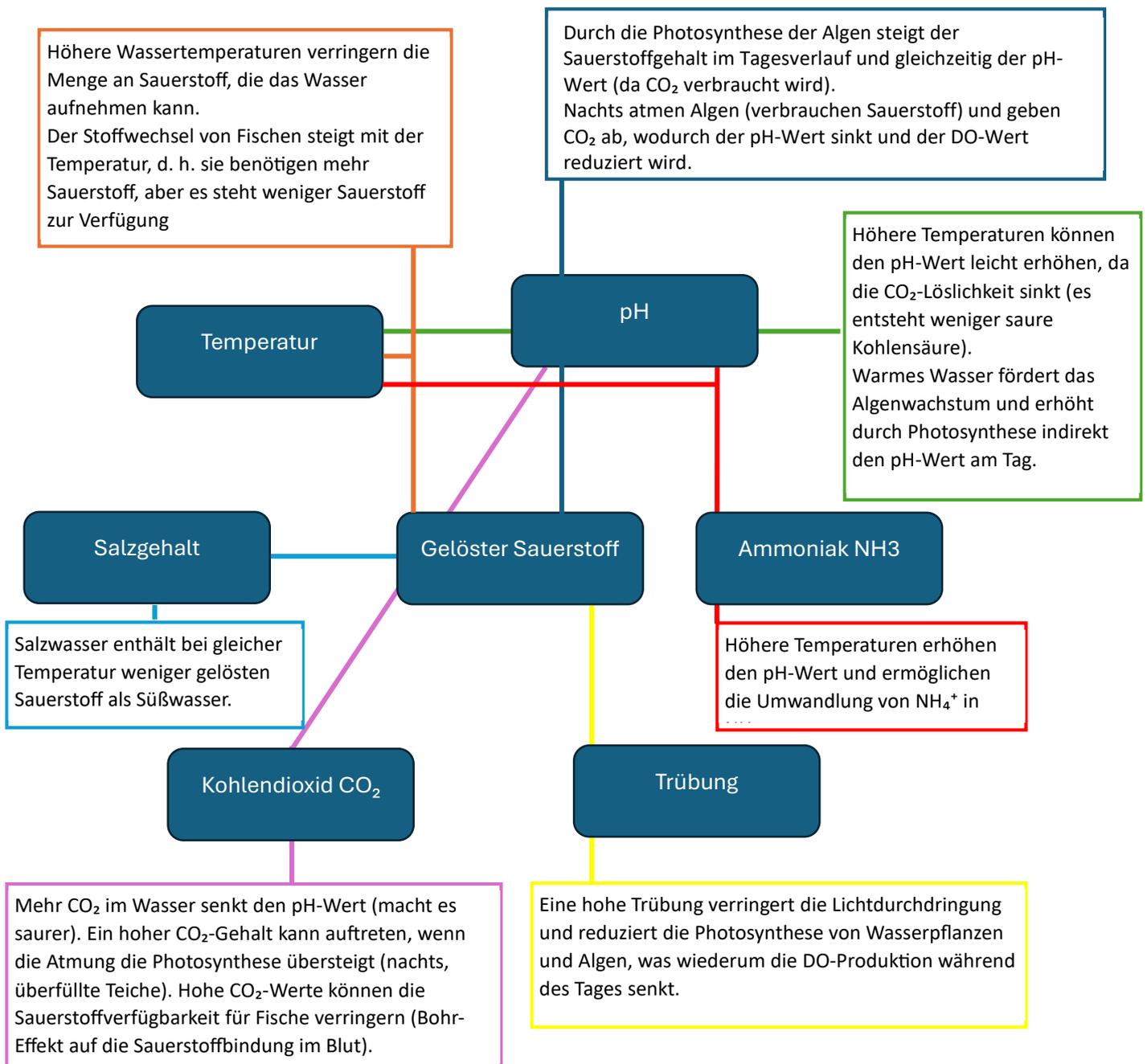
Quellen und Referenzen:

- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer.
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2013). *Recirculating Aquaculture Systems*. Cayuga Aqua Ventures.
- Hargreaves, J. A., & Tucker, C. S. (2004). *Managing Salinity in Pond Aquaculture*. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 4603.
- FAO (Food and Agriculture Organization). *Water Quality in Freshwater Fish Culture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers.
- Liao, I. C., & Chien, Y. H. (2011). Effects of salinity on aquaculture species. *Aquaculture Research*, 42(3), 293–298

Beziehungen zwischen Wasserparametern

Die verschiedenen Wasserqualitätsparameter in der Aquakultur sind eng miteinander verbunden und Veränderungen eines Parameters wirken sich oft auf die anderen aus.

Parameter	Einflüsse	Ergebnis
pH	NH ₃	Wenn der pH-Wert höher als 9 ist, wandelt sich Ammonium in Ammoniak um
	NH ₄ ⁺	Wenn der pH-Wert unter 9 liegt, wandelt sich Ammoniak in Ammonium um
Temperatur	pH	Höhere Temperaturen können den pH-Wert leicht erhöhen, da die CO ₂ -Löslichkeit sinkt
	TUN	Höhere Wassertemperaturen verringern die Sauerstoffmenge, die das Wasser aufnehmen kann
Trübung	NH ₃	Höhere Temperaturen erhöhen den pH-Wert, wodurch NH ₄ ⁺ in NH ₃ umgewandelt werden kann
	TUN	Eine hohe Trübung verringert die Lichtdurchlässigkeit und reduziert die Photosynthese von Wasserpflanzen und Algen, was wiederum die Sauerstoffproduktion tagsüber senkt.
CO ₂	pH	Mehr CO ₂ im Wasser senkt den pH-Wert (macht es saurer)
	TUN	Hohe CO ₂ -Werte können die Sauerstoffverfügbarkeit für Fische verringern



Die Bedeutung von gelöstem Sauerstoff in der Aquakultur

Gelöster Sauerstoff (DO) ist einer der wichtigsten Wasserqualitätsparameter in der Aquakultur und beeinflusst direkt das Überleben, Wachstum und die Gesundheit von Wasserorganismen. Fische, Garnelen und andere Zuchtarten sind zur Atmung auf im Wasser gelösten Sauerstoff angewiesen. Unzureichende DO-Werte können zu Stress, reduzierter Nahrungsaufnahme, verlangsamtem Wachstum, erhöhter Krankheitsanfälligkeit und letztendlich zu hohen Sterblichkeitsraten führen (Boyd, 1998).

Quellen wie Boyd und Tucker (2012) betonen, dass optimale Sauerstoffkonzentrationen typischerweise über 5 mg/l liegen sollten, damit die meisten Arten gedeihen. Werte unter 3 mg/l können schweren Stress verursachen, während eine längere Exposition gegenüber niedrigem Sauerstoffgehalt zum Fischsterben führen kann. Darüber hinaus kann ein niedriger Sauerstoffgehalt die Funktion nützlicher nitrifizierender Bakterien beeinträchtigen und den Abbau von schädlichem Ammoniak und Nitriten im Wasser verlangsamen (Timmons & Ebeling, 2010).

O₂

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Sauerstoffgehalt, darunter Temperatur, Salzgehalt, organische Belastung und photosynthetische Aktivität. Wärmeres Wasser enthält weniger Sauerstoff, und biologische Aktivitäten wie Zersetzung verbrauchen Sauerstoff, insbesondere nachts, wenn die Photosynthese eingestellt ist. Daher ist eine ausreichende Belüftung durch mechanische Vorrichtungen (z. B. Schaufelräder, Ausströmer) unerlässlich, insbesondere in intensiven Aquakultursystemen.

Die Überwachung des gelösten Sauerstoffs ist nicht nur für das Tierwohl, sondern auch für die Rentabilität und Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe von entscheidender Bedeutung. Regelmäßige Messungen ermöglichen die frühzeitige Erkennung von Problemen, verhindern katastrophale Verluste und gewährleisten eine konstante Produktion. Da die Aquakultur weltweit weiter expandiert, bleibt ein sorgfältiges DO-Management ein Eckpfeiler verantwortungsvoller und erfolgreicher landwirtschaftlicher Praktiken.

Spezies	Idealer DO-Wert	Kritischer DO-Wert (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	4,0–6,0 mg/l	<2,0 mg/l	Tilapia sind relativ tolerant, gedeihen aber am besten bei moderaten Sauerstoffwerten. Unter 2,0 mg/l sind Wachstum und Immunfunktion deutlich beeinträchtigt.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	4,0–6,0 mg/l	<2,0 mg/l	Welse sind widerstandsfähig, benötigen aber ausreichend Sauerstoff zum Wachstum. Ein niedriger Sauerstoffgehalt (<2,0 mg/l) verringert die Fressleistung und erhöht den Stress.
Karpfen (Karpfenfisch)	4,0–6,0 mg/l	<2,0 mg/l	Karpfen können mit niedrigeren Sauerstoffwerten umgehen, aber Wachstum und Fortpflanzung sind bei Werten unter 3,0 mg/l eingeschränkt. Unter 2,0 mg/l werden die Fische lethargisch.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	8,0–10,0 mg/l	<4,0 mg/l	Forellen reagieren sehr empfindlich auf niedrige Sauerstoffwerte. Alles unter 4,0 mg/l kann zu Stress, Mangelernährung und Gesundheitsschäden führen.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	8,0–10,0 mg/l	<4,0 mg/l	Lachse benötigen einen hohen Sauerstoffgehalt, um zu gedeihen. Unter 4,0 mg/l verlangsamt sich das Wachstum, und die Fische sind anfälliger für Krankheiten.
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	4,0–6,0 mg/l	<2,0 mg/l	Garnelen vertragen zwar einen niedrigen Sauerstoffgehalt, aber eine schlechte Sauerstoffversorgung beeinträchtigt die Häutung und das Überleben. Werte unter 2,0 mg/l erhöhen die Anfälligkeit für bakterielle Infektionen.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	5,0–7,0 mg/l	<3,0 mg/l	Barramundi bevorzugen einen moderaten Sauerstoffgehalt. Ein niedriger Sauerstoffgehalt (<3,0 mg/l) führt zu Schwäche, Appetitlosigkeit und erhöhtem Stress.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	5,0–7,0 mg/l	<3,0 mg/l	Wie Barramundi gedeihen sie bei moderaten Sauerstoffwerten. Unter 3,0 mg/l zeigen Fische Stressreaktionen und vermindertes Wachstum.
Koi-Karpfen (<i>Cyprinus carpio koi</i>)	5,0–7,0 mg/l	<3,0 mg/l	Koi benötigen Sauerstoff, um ihre Farbbrillanz und ihre allgemeine Gesundheit zu erhalten. Ein niedriger Sauerstoffgehalt (<3,0 mg/l) führt zu Schwäche und schlechter Färbung.

Die Bedeutung der Temperatur in der Aquakultur

Die Temperatur ist einer der wichtigsten Umweltfaktoren in der Aquakultur und beeinflusst nahezu jeden Aspekt des Wasserlebens, von Stoffwechsel und Wachstum bis hin zu Immunfunktion und Fortpflanzung. Jede Art hat einen optimalen Temperaturbereich, in dem sie gedeiht; Abweichungen können Stress verursachen, das Wachstum verlangsamen und die Krankheitsanfälligkeit erhöhen (Boyd, 1998).



Laut Timmons und Ebeling (2010) beeinflusst die Temperatur die Sauerstofflöslichkeit im Wasser – wärmeres Wasser enthält weniger gelösten Sauerstoff, was den Stress für gezüchtete Arten erhöht. Darüber hinaus sind Fütterungsrate, Verdauung und Nährstoffaufnahme temperaturabhängig. Tilapia beispielsweise wächst am besten bei 27–30 °C, während Regenbogenforellen kühleres Wasser mit etwa 12–18 °C benötigen. Temperaturen außerhalb dieser Bereiche können die Fütterungseffizienz beeinträchtigen, die Widerstandsfähigkeit gegen Infektionen verringern und in extremen Fällen zum Tod führen.

Auch die Temperatur beeinflusst die Ammoniaktoxizität direkt. Mit steigender Wassertemperatur tritt die giftige Form von Ammoniak (NH₃) häufiger auf und erhöht das Risiko für Wasserorganismen (Boyd & Tucker, 2012). Daher ist die Aufrechterhaltung stabiler und artgerechter Temperaturen nicht nur für das Wachstum, sondern auch für die allgemeine Wasserqualität entscheidend.

Eine ordnungsgemäße Temperaturkontrolle ist in intensiven Aquakultursystemen wie Kreislaufanlagen (RAS) unerlässlich, da die Umgebungsbedingungen dort streng kontrolliert werden müssen, um Produktivität und Tierwohl zu maximieren. Maßnahmen wie Heizsysteme, Beschattung und Belüftung werden häufig eingesetzt, um Temperaturschwankungen auszugleichen und ganzjährig stabile, optimale Bedingungen zu gewährleisten.

Spezies	Idealer Temperaturbereich	Kritische Temperatur (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (Oreochromis spp.)	25–30 °C	<18°C oder >35°C	Tilapia sind Warmwasserfische. Unter 18 °C verlangsamt sich ihr Wachstum, und unter 12 °C können sie unter Stress und Krankheiten leiden. Über 35 °C leiden sie unter Hitzestress.
Getüpfelter Gabelwels (Ictalurus punctatus)	20–30 °C	<15°C oder >35°C	Welse gedeihen bei gemäßigten Temperaturen gut. Unter 15 °C hören sie auf zu fressen, und über 35 °C werden sie gestresst und neigen zu Sauerstoffmangel.
Karpfen (Karpfenfisch)	20–28 °C	<10°C oder >32°C	Karpfen sind tolerant, gedeihen aber zwischen 20 und 28 °C. Unter 10 °C verlangsamt sich ihr Stoffwechsel und über 32 °C besteht die Gefahr von Sauerstoffstress und vermindertem Wachstum.
Regenbogenforelle (Oncorhynchus mykiss)	12–18 °C	<8°C oder >22°C	Forellen sind Kaltwasserarten. Unter 8 °C werden sie lethargisch, über 22 °C verlangsamt sich ihr Wachstum und ihr Gesundheitszustand verschlechtert sich.
Atlantischer Lachs (Salmo salar)	8–18 °C	<4°C oder >22°C	Lachse reagieren empfindlich auf warmes Wasser. Unter 4 °C verlangsamt sich ihr Stoffwechsel, über 22 °C leiden sie unter Hitzestress und einer verringerten Futtermittelverwertung.
Garnele (Litopenaeus vannamei)	28–30 °C	<22°C oder >34°C	Garnelen bevorzugen warmes Wasser. Unter 22 °C leiden sie unter Stress, über 34 °C nehmen Häutungsprobleme und Krankheitsrisiken zu.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	25–30 °C	<20°C oder >35°C	Barramundis gedeihen bei mäßiger Wärme. Unter 20 °C schwächt sich ihr Immunsystem, über 35 °C leiden sie unter Hitzestress und verlangsamtem Wachstum.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	25–30 °C	<20°C oder >35°C	Ähnlich wie Barramundi bevorzugen sie wärmeres Wasser, leiden jedoch unter Hitzestress über 35 °C und einem langsamen Stoffwechsel unter 20 °C.
Koi-Karpfen (Cyprinus carpio koi)	18–24 °C	<10°C oder >30°C	Koi sind Fische mit gemäßigten Temperaturen. Unter 10 °C werden sie lethargisch, über 30 °C schwächt sich ihr Immunsystem und sie sind anfällig für Krankheiten.

Die Bedeutung des pH-Werts in der Aquakultur

Der pH-Wert ist ein entscheidender Wasserqualitätsparameter in der Aquakultur und spiegelt das Gleichgewicht zwischen Säure- und Alkalinität im Wasser wider. Er beeinflusst direkt die physiologische Gesundheit der gezüchteten Arten, die Effizienz der biologischen Filterung und die allgemeine Stabilität der aquatischen Umwelt (Boyd, 1998).

Die meisten Aquakulturarten wie Tilapia, Wels und Garnelen gedeihen am besten in einem relativ engen pH-Bereich, typischerweise zwischen 6,5 und 8,5 (Boyd & Tucker, 2012). Liegt der pH-Wert außerhalb dieses Bereichs, kann dies die Atmung beeinträchtigen, die Futterraufnahme verringern und das Immunsystem schwächen. Beispielsweise können saure Bedingungen (pH unter 6,0) die Kiemen der Fische schädigen und die Sauerstoffaufnahme einschränken, während zu alkalische Bedingungen (pH über 9,0) die Toxizität von Ammoniak erhöhen können (Timmons & Ebeling, 2010).

pH

Der Zusammenhang zwischen pH-Wert und Ammoniaktoxizität ist besonders kritisch. Bei höheren pH-Werten liegt ein größerer Anteil des Gesamtammoniaks in seiner giftigen, nichtionisierten Form (NH_3) vor, was eine größere Gefahr für Wasserlebewesen darstellt. Ebenso kann ein niedriger pH-Wert die Aktivität nitrifizierender Bakterien, die Ammoniak in weniger schädliche Verbindungen umwandeln, beeinträchtigen. Dies stört die Biofiltration und führt zu Problemen mit der Wasserqualität.

Natürliche Faktoren wie Photosynthese und Atmung verursachen tägliche pH-Schwankungen, insbesondere in algenreichen Teichen. Daher ist eine regelmäßige pH-Überwachung unerlässlich, um schädliche Schwankungen zu vermeiden und optimale Wachstumsbedingungen zu gewährleisten. Die Pufferung des Wassers mit Materialien wie Kalk kann zur Stabilisierung des pH-Werts beitragen und eine sichere Umgebung für die gezüchteten Arten gewährleisten.

Kurz gesagt: Die Aufrechterhaltung eines stabilen, angemessenen pH-Werts ist für die Maximierung von Gesundheit, Wachstum und Produktionseffizienz in Aquakultursystemen von grundlegender Bedeutung.

Spezies	Idealer pH-Bereich	Kritischer pH-Wert (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	6,5 – 8,5	<6,0 oder >9,0	Sehr tolerant, aber plötzliche Abfälle unter 6,0 verursachen Stress und Anfälligkeit für Krankheiten.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	6,5 – 8,5	<5,5 oder >9,5	Widerstandsfähige Art, aber in kritischen Extremfällen kommt es zu Kiemenschäden und Nahrungsverlust.
Karpfen (Karpfenfisch)	6,5 – 8,5	<5,5 oder >9,5	Karpfen sind robust, aber das Wachstum verlangsamt sich, wenn der pH-Wert längere Zeit außerhalb des idealen Bereichs bleibt.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	6,5 – 7,5	<6,0 oder >8,0	Empfindliche Arten; ein niedriger pH-Wert (<6,0) beeinträchtigt die Atmung und das Überleben erheblich.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	6,5 – 7,5	<6,0 oder >8,0	Optimale Leistung bei engem pH-Wert; bei niedrigem pH-Wert anfällig für Haut- und Kiemenschäden.
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	7,5 – 8,5	<7,0 oder >9,0	Garnelen benötigen leicht alkalisches Wasser; saure Bedingungen schwächen Panzer und Immunsystem.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	7,0 – 8,5	<6,5 oder >9,0	Kann leichte Abweichungen tolerieren, aber extrem niedrige oder hohe pH-Werte erhöhen das Sterberisiko.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	7,0 – 8,5	<6,5 oder >9,0	Benötigt einen stabilen pH-Wert; schwankende Bedingungen schädigen die Verdauung und die Osmoregulation.
Koi-Karpfen (<i>Cyprinus carpio koi</i>)	7,0 – 8,5	<6,0 oder >9,0	Bei zu großen pH-Abweichungen kommt es zu Farbverlust, Stress und Anfälligkeit für Parasiten.

Die Bedeutung des Salzgehalts in der Aquakultur

Salz

Der Salzgehalt, die Konzentration gelöster Salze im Wasser, ist ein kritischer Umweltfaktor in der Aquakultur. Er beeinflusst direkt die Gesundheit, das Wachstum, die Fortpflanzung und die Systemstabilität der Fische. Meeres-, Brack- und Süßwasserarten haben unterschiedliche Salzgehaltsanforderungen. Ein effektives Salzgehaltsmanagement unterstützt optimale physiologische Leistungen und reduziert Stress und Krankheitsrisiken.

Jede Art hat einen bevorzugten Salzgehaltsbereich. Meeresorganismen wie Garnelen (*Litopenaeus vannamei*) gedeihen bei 15–35 ppt, während Süßwasserarten wie Tilapia (*Oreochromis* spp.) <5 ppt bevorzugen. Brackwasserarten wie Milchfische vertragen mittlere Werte. Für eine effiziente Produktion ist die Auswahl von Arten mit dem richtigen Salzgehalt unerlässlich.

Der Salzgehalt beeinflusst das Salz-Wasser-Gleichgewicht von Wasserlebewesen. Abweichungen vom optimalen Bereich zwingen Organismen dazu, Energie für die Osmoregulation aufzuwenden, was zu Wachstumseinbußen und einer Schwächung der Immunität führt. Stabile, artspezifische Salzgehalte tragen zu einem besseren Überleben und weniger Krankheitsausbrüchen bei.

Der Salzgehalt beeinflusst auch die Wasserchemie, einschließlich pH-Wert, Sauerstoffgehalt und die Toxizität von Ammoniak und Metallen. Bei höheren Salzgehalten wandelt sich giftiges Ammoniak eher in seine weniger schädliche Form um. Der Salzgehalt beeinflusst auch die Mineralverfügbarkeit und die Gaslöslichkeit und ist daher ein wichtiger Bestandteil des umfassenden Wasserqualitätsmanagements.

In Teichen wird der Salzgehalt durch Wasserquelle, Niederschlag und Verdunstung beeinflusst. In Kreislaufanlagen (RAS) muss er aufgrund des minimalen Wasseraustauschs sorgfältig aufrechterhalten werden. Kontinuierliche Überwachung und regelmäßige Anpassungen mit Salz- oder Süßwasser tragen zur Stabilisierung der Werte bei.

Der Salzgehalt spielt eine zentrale Rolle für die Gesundheit und Produktivität der Aquakultur. Die Überwachung und Aufrechterhaltung optimaler, auf die Art und den Systemtyp abgestimmter Werte fördert effizientes Wachstum, reduziert Stress und verbessert die Gesamtergebnisse der Aquakultur.

Spezies	Idealer bereich	Kritischer Salzgehalt (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	0 – 10 ppt	>20 ppt (abhängig vom Stamm)	Vorwiegend Süßwasser, einige Stämme vertragen jedoch auch leichtes Brackwasser; ein hoher Salzgehalt belastet die Osmoregulation.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	0 – 5 ppt	>10 ppt	Süßwasserarten; ein Salzgehalt von >10 ppt verursacht Stress, schlechtes Wachstum und Sterblichkeit.
Karpfen (Karpfenfisch)	0 – 5 ppt	>10 ppt	Verträgt wenig Brackwasser, aber das Wachstum verlangsamt sich bei Werten über 5–8 ppt; längere Exposition schadet der Gesundheit.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	0 – 8 ppt (für Süßwasserzucht)	>10–12 ppt	An Süßwasser angepasst; anadrome Stämme tolerieren nach allmählicher Akklimatisierung bis zu 30 ppt.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	0 (Jugendliche) → 30–35 ppt (Erwachsene)	Schnelle Veränderung >5 ppt/Tag	Jungfische (Parr, Smolt) müssen sich allmählich an das Meerwasser gewöhnen, erwachsene Fische gedeihen im salzhaltigen Meerwasser.
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	5 – 35 ppt	<2 ppt oder plötzliche Änderungen >5 ppt	Sehr euryhalin; kann von Brackwasser bis hin zu vollem Meerwasser überleben, aber plötzliche Veränderungen sind gefährlich.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	1 – 30 ppt	Schnelle Schwankungen des Salzgehalts >10 ppt/Tag	Euryhaline Art; gedeiht bei allmählicher Akklimatisierung sowohl in Süß- als auch in Salzwasser.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	1 – 30 ppt	Schnelle Schwankungen des Salzgehalts >10 ppt/Tag	Benötigt einen stabilen Salzgehalt; plötzliche Abfälle verursachen einen osmoregulatorischen Schock.
Koi-Karpfen (<i>Cyprinus carpio koi</i>)	0 – 5 ppt	>8–10 ppt	Süßwasser-Zierarten; ein Salzgehalt über 8 ppt belastet den Stoffwechsel und verringert die Vitalität.

Die Bedeutung von Ammonium in der Aquakultur

Das Ammoniakmanagement ist in der Aquakultur von entscheidender Bedeutung, da Ammoniak, ein von Fischen ausgeschiedenes Abfallprodukt aus der Zersetzung organischer Stoffe, selbst in geringen Konzentrationen hochgiftig ist. Im Wasser kommt Ammoniak in zwei Formen vor: nichtionisiertes Ammoniak (NH_3), das hochgiftig ist, und ionisiertes Ammonium (NH_4^+), das relativ ungiftig ist. Das Gleichgewicht zwischen diesen Formen hängt von der Wassertemperatur und dem pH-Wert ab – höhere Temperaturen und ein höherer pH-Wert begünstigen die giftigere nichtionisierte Form (Boyd, 1998).



Hohe Ammoniakwerte können bei Wasserlebewesen schwerwiegende gesundheitliche Probleme verursachen, darunter Kiemenschäden, verminderte Sauerstoffaufnahme, Wachstumsstörungen, eine geschwächte Immunfunktion und schließlich den Tod (Boyd & Tucker, 2012). Stress durch Ammoniakvergiftung macht Fische und Garnelen oft anfälliger für bakterielle und parasitäre Infektionen. Chronische Belastung mit selbst geringen Ammoniakwerten kann das Wachstum hemmen und die Futtermittelverwertung beeinträchtigen, was zu wirtschaftlichen Verlusten führt.

In gut geführten Aquakultursystemen wandelt die biologische Filterung – durch nitrifizierende Bakterien – giftiges Ammoniak in Nitrit und anschließend in relativ harmloses Nitrat um. Wird das System jedoch mit Abfallstoffen (durch Überfütterung oder hohe Besatzdichte) überlastet oder ändern sich Wassertemperatur und pH-Wert, kann sich Ammoniak schnell auf gefährliche Werte anreichern (Timmons & Ebeling, 2010).

Die regelmäßige Überwachung des Gesamtammoniakstickstoffs (TAN) und die Aufrechterhaltung günstiger pH- und Temperaturbedingungen sind wichtige Strategien zur Vorbeugung von Ammoniakvergiftungen. Bewährte Praktiken wie kontrollierte Fütterung, die Aufrechterhaltung gesunder Biofilter und regelmäßiger Wasserwechsel sind ebenfalls entscheidend, um den Ammoniakgehalt auf einem sicheren Niveau zu halten.

Ein ordnungsgemäßes Ammoniakmanagement gewährleistet nicht nur die Gesundheit und das Wachstum der Aquakulturarten, sondern ist auch von grundlegender Bedeutung für einen nachhaltigen und rentablen landwirtschaftlichen Betrieb.

Spezies	Idealer Ammoniumgehalt (NH_4^+)	Kritisches NH_4^+ (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	<1,0 mg/l	>3,0 mg/l	Tolerant gegenüber etwas Ammonium, aber eine längere Exposition >3,0 mg/l belastet die Nieren und verringert die Futtermittelaufnahme.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	<1,0 mg/l	>2,5 mg/l	Ammoniumablagerungen senken den gelösten Sauerstoff indirekt, indem sie das Algenwachstum und die Algenzersetzung fördern.
Karpfen (Karpfenfisch)	<1,0 mg/l	>2,0 mg/l	Ein länger anhaltender hoher NH_4^+ -Wert schädigt die Kiemenstruktur und hemmt die Ammoniakausscheidung, was zu Stress führt.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<0,5 mg/l	>1,0 mg/l	Empfindliche Arten; selbst „ungiftiges“ Ammonium in hohen Konzentrationen (> 1 mg/l) belastet die Atmung.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	<0,5 mg/l	>1,0 mg/l	Besonders gefährdet sind Jugendliche; NH_4^+ stört den Ionenhaushalt des Blutes (Osmoregulation).
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	<1,0 mg/l	>2,5 mg/l	Garnelen vertragen mäßige Mengen Ammonium, eine längere Exposition verringert jedoch die Häutungs- und Überlebensraten.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	<1,0 mg/l	>2,0 mg/l	Mäßige Toleranz; überschüssiges Ammonium verringert den Appetit und erhöht die Anfälligkeit für Krankheiten.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	<1,0 mg/l	>2,0 mg/l	Um chronischen Stress zu vermeiden, ist insbesondere in intensiven Systemen eine sorgfältige Überwachung erforderlich.
Koi-Karpfen (<i>Cyprinus carpio koi</i>)	<1,0 mg/l	>2,0 mg/l	Eine chronisch hohe Ammoniumbelastung lässt die Farbintensität trüben und führt zu schlechtem Wachstum.

Die Bedeutung von Nitrat in der Aquakultur

Nitrat (NO_3^-) ist das Endprodukt des Stickstoffkreislaufs in Aquakultursystemen und entsteht durch die bakterielle Oxidation von Nitrit. Obwohl Nitrat deutlich weniger toxisch ist als Ammoniak oder Nitrit, können hohe Konzentrationen über einen längeren Zeitraum dennoch negative Auswirkungen auf Wasserlebewesen haben, insbesondere in geschlossenen und rezirkulierenden Aquakultursystemen (RAS) (Boyd, 1998).



In moderaten Konzentrationen wird Nitrat von den meisten Fischen und Garnelen im Allgemeinen toleriert. Eine chronische Belastung mit erhöhten Nitratwerten (typischerweise über 80–100 mg/l bei vielen Süßwasserarten) kann jedoch Stress verursachen, das Wachstum verlangsamen, die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen und das Immunsystem schwächen (Timmons & Ebeling, 2010). Einige empfindliche Arten, wie Meeresfische und Zierfische, sind sogar noch anfälliger für Nitratanreicherungen.

Im Gegensatz zu Ammoniak und Nitrit verflüchtigt sich Nitrat nicht so leicht und zersetzt sich nicht im Wasser, was seine Entfernung erschwert. Methoden zur Kontrolle von Nitrat umfassen Wasseraustausch, den Einsatz von Denitrifikationssystemen (die Nitrat unter anaeroben Bedingungen in Stickstoffgas umwandeln) und die Integration von Pflanzen oder Algen, die Nitrat aufnehmen (Boyd & Tucker, 2012).

In gut geführten Systemen trägt eine niedrige Nitratkonzentration zur optimalen Fischgesundheit bei, unterstützt eine bessere Wasserqualität und verbessert die Nachhaltigkeit durch die Reduzierung des Wasserwechselbedarfs. Die regelmäßige Überwachung des Nitratgehalts ist besonders in intensiven und dichten landwirtschaftlichen Betrieben wichtig.

Obwohl Nitrat unmittelbar weniger gefährlich ist als Ammoniak oder Nitrit, ist eine wirksame Handhabung von Nitrat für die langfristige Gesundheit und den Erfolg von Aquakulturbetrieben von entscheidender Bedeutung.

Spezies	Idealer Nitratwert	Kritisches Nitrat (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	<50 mg/l	>200 mg/l	Tilapia verträgt mäßige Nitratwerte gut, hohe Konzentrationen (> 200 mg/l) belasten jedoch die Nieren und verringern das Wachstum.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	<50 mg/l	>150 mg/L	Widerstandsfähige Art, aber chronische Belastung >150 mg/l erhöht den Krankheitsausbruch.
Karpfen (Karpfenfisch)	<50 mg/l	>150 mg/L	Gute Verträglichkeit, aber ein dauerhaft hoher Nitratspiegel beeinträchtigt die Fortpflanzungsgesundheit und die Eizqualität.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<10 mg/l	>50 mg/l	Sehr empfindlich; Nitrat >50 mg/l beeinträchtigt die Kiemenfunktion und das Wachstum erheblich.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	<10 mg/l	>50 mg/l	Jungfische sind besonders gefährdet; ein Nitratgehalt von >50 mg/l verringert die Überlebensrate.
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	<50 mg/l	>100 mg/l	Verträgt mäßige Nitratwerte, aber eine längere Exposition über 100 mg/l verringert die Häutung und die Immunabwehr.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	<50 mg/l	>100 mg/l	Mäßige Toleranz; erhöhter Nitratgehalt verringert die Futtereffizienz und Gewichtszunahme.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	<50 mg/l	>100 mg/l	Chronischer Nitratstress schwächt die Osmoregulation und die Leberfunktion.
Koi-Karpfen (<i>Cyprinus carpio koi</i>)	<50 mg/l	>100 mg/l	Ein hoher Nitratgehalt lässt die Farben verblassen, hemmt das Wachstum und macht Koi anfällig für Hautinfektionen.

Trübung

Trübung bezeichnet die Trübung oder Verschwommenheit des Wassers, die durch Schwebstoffe wie Ton, organische Stoffe, Plankton und Futterreste verursacht wird. In der Aquakultur ist die Kontrolle der Trübung wichtig, da sie das Licht beeinflusst. Penetration, Wasserchemie und Gesundheit der Wasserarten (Boyd, 1998).

Eine moderate Trübung kann vorteilhaft sein, da sie Schatten spendet, übermäßiges Algenwachstum reduziert und den Fischen einen gewissen Schutz vor Fressfeinden bietet. Eine hohe Trübung – insbesondere durch anorganische Partikel wie Ton – kann jedoch ernsthafte Probleme verursachen. Sie kann die Kiemen der Fische verstopfen, die Fressleistung verringern, die Tiere stressen und die Verbreitung von Krankheitserregern fördern (Boyd & Tucker, 2012). Darüber hinaus kann übermäßige Trübung die Photosynthese des Phytoplanktons einschränken, was zu einer geringeren Produktion von gelöstem Sauerstoff und instabilen Wasserbedingungen führen kann.

Besonders gefährlich ist organische Trübung, die durch Futterreste, Abfälle und verwesende Organismen entsteht. Sie fördert das Bakterienwachstum, was zu Sauerstoffmangel und der Ansammlung schädlicher Substanzen wie Ammoniak und Nitrit führt (Timmons & Ebeling, 2010).

Zur Kontrolle der Trübung gehören Maßnahmen wie die Minimierung der Erosion rund um Teiche, die Kontrolle der Fütterungsraten, der Einsatz von Absetzbecken und gegebenenfalls die Anwendung von Flockungsmitteln oder Koagulanzen. Regelmäßige Überwachung trägt dazu bei, dass die Trübungswerte für die Zuchtarten in sicheren Bereichen bleiben – typischerweise unter 25–50 NTU (Nephelometrische Trübungseinheiten) für Klarwasserarten wie Forellen, während tolerantere Arten wie Welse höhere Werte vertragen.

Kurz gesagt: Die Kontrolle der Trübung ist nicht nur für die Aufrechterhaltung einer guten Wasserqualität von entscheidender Bedeutung, sondern auch für die Förderung gesunder, produktiver Aquakulturbetriebe.

Spezies	Idealer Trübungsbereich	Kritische Trübung (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	30–80 NTU	<10 NTU oder >150 NTU	Tilapia tolerieren mäßige Trübung gut; sehr klares Wasser (<10 NTU) erhöht den Stress durch Raubtiere; sehr schlammiges Wasser (>150 NTU) verstopft die Kiemen.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	30–100 NTU	<20 NTU oder >150 NTU	Bevorzugen Sie leicht trübes Wasser; eine hohe Trübung (> 150 NTU) verringert den Sauerstoffaustausch an den Kiemen und beeinträchtigt die Nahrungsaufnahme.
Karpfen (Karpfenfisch)	30–80 NTU	<10 NTU oder >120 NTU	Karpfen gedeihen in mäßig trüben Teichen; eine übermäßige Trübung (> 120 NTU) beeinträchtigt die Filterung und die Gesundheit.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	5–20 NTU	>25 NTU	Forellen brauchen klares Wasser; eine Trübung von >25 NTU belastet die Kiemen, verringert die Sicht und hemmt die Nahrungsaufnahme.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	5–20 NTU	>25 NTU	Lachse benötigen außerdem klares Wasser; chronische Trübung führt zu Kiemenhyperplasie und Stress.
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	20–80 NTU	<10 NTU oder >150 NTU	Garnelen tolerieren einen großen Bereich, aber schwere Feststoffe (> 150 NTU) blockieren die Kiemenfunktion und setzen sich in den Kiemenkammern ab.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	20–80 NTU	>120 NTU	Eine mäßige Trübung ist akzeptabel; eine sehr hohe Trübung verringert die Sichtbarkeit der Beute und kann Jungtiere stressen.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	20–80 NTU	>120 NTU	Ähnlich wie Barramundi; es ist wichtig, während der Larvenstadien das Gleichgewicht zu halten, um Fütterungsprobleme zu vermeiden.
Koi-Karpfen (<i>Cyprinus carpio koi</i>)	10–40 NTU	>80 NTU	Zierfische benötigen relativ klares Wasser; eine hohe Trübung (>80 NTU) verdeckt Farben und belastet die Haut-/Schleimschichten.

Das Redoxpotential (ORP) misst die Fähigkeit von Wasser, bei chemischen Reaktionen Elektronen freizusetzen oder aufzunehmen und dient als Indikator für die Wasserqualität und den allgemeinen Systemzustand. In der Aquakultur ist das ORP besonders wichtig, da es das Gleichgewicht zwischen Oxidationsmitteln (wie Sauerstoff) und Reduktionsmitteln (wie organischen Abfällen) im Wasser widerspiegelt (Boyd, 1998).

ORP

Ein optimaler ORP-Wert, typischerweise zwischen +200 und +300 Millivolt (mV), weist auf eine gute Wasserqualität mit ausreichend Sauerstoff für gesundes Wasserleben hin (Boyd & Tucker, 2012). Sinkt der ORP-Wert zu stark (unter +150 mV), deutet dies auf eine schlechte Wasserqualität, die Ansammlung organischer Abfälle, niedrigen Sauerstoffgehalt und potenziell toxische Bedingungen wie erhöhte Ammoniak- oder Schwefelwasserstoffwerte hin. Diese Bedingungen können Fische und Garnelen stressen, ihr Immunsystem schwächen und die Sterblichkeitsrate erhöhen.

Andererseits können sehr hohe ORP-Werte (über +400 mV), insbesondere bei Verwendung starker Oxidationsmittel wie Ozon, ebenfalls schädlich sein. Überoxidation kann das Kiemengewebe von Fischen schädigen und zu oxidativem Stress führen (Timmons & Ebeling, 2010).

Die ORP-Überwachung ist besonders wertvoll in intensiven Systemen wie Kreislaufanlagen (RAS), in denen sich die Wasserqualität schnell ändern kann. Die Überwachung des ORP hilft Landwirten, frühzeitig Anzeichen einer Verschlechterung der Wasserqualität oder Fehlfunktionen biologischer Filter zu erkennen, bevor diese durch andere Parameter sichtbar werden. Sie kann auch den kontrollierten Einsatz von Ozon zur Desinfektion steuern, ohne den Bestand zu schädigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufrechterhaltung eines optimalen ORP-Bereichs von entscheidender Bedeutung ist, um eine gesunde, stabile Umgebung zu gewährleisten, das Wachstum zu maximieren und Krankheitsausbrüche in der Aquakultur zu verhindern.

Spezies	Idealer ORP-Bereich	Kritisches ORP (Stress-/Risikozone)	Hinweise
Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.)	+150 bis +250 mV	<+100 mV	Tilapia gedeihen in Wasser mit guter Sauerstoffversorgung und biologischer Aktivität; ein niedriges ORP (<+100 mV) weist auf eine schlechte Wasserqualität und potenzielle anaerobe Zonen hin.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	+150 bis +250 mV	<+100 mV	Getüpfelte Gabelwelse bevorzugen ein höheres ORP, was auf eine effiziente biologische Filterung und Sauerstoffverfügbarkeit hindeutet. Ein niedriges ORP stresst die Fische und fördert Krankheiten.
Karpfen (Karpfenfisch)	+150 bis +250 mV	<+100 mV	Karpfen tolerieren einen moderaten ORP-Bereich, aber ein niedriger ORP-Wert (<+100 mV) kann die Immunfunktion und das Wachstum beeinträchtigen.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	+200 bis +350 mV	<+150 mV	Forellen benötigen ein hohes ORP (gesunder Biofilm, gute Sauerstoffversorgung), um Stress zu vermeiden, insbesondere in Kreislaufsystemen. Ein ORP unter +150 mV weist auf eine schlechte Wasserqualität hin.
Atlantischer Lachs (<i>Salmo salar</i>)	+200 bis +350 mV	<+150 mV	Lachse benötigen wie Forellen ein höheres ORP, um gesund zu bleiben. Ein niedriges ORP (+150 mV) führt zu weniger Sauerstoff und einem erhöhten Risiko bakterieller Infektionen.
Garnele (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	+150 bis +250 mV	<+100 mV	Garnelen reagieren empfindlich auf niedrige ORP-Werte; eine schlechte Sauerstoffversorgung und anaerobe Bedingungen (<+100 mV) beeinträchtigen die Häutung, das Wachstum und das Überleben.
Barramundi (Späte Kalksteinpflanze)	+150 bis +250 mV	<+100 mV	Barramundi benötigen einen guten Sauerstoffhaushalt; ein niedriges ORP (<+100 mV) stresst die Fische und führt zu schlechter Nahrungsaufnahme und schlechter Immunfunktion.
Asiatischer Wolfsbarsch (Späte Kalksteinpflanze)	+150 bis +250 mV	<+100 mV	Ähnlich wie beim Barramundi führt ein niedriger ORP-Wert (<+100 mV) zu tragem Verhalten, verringerter Nahrungsaufnahme und Krankheitsanfälligkeit.

Die HORIBA Messlösungen

HORIBA verfügt über mehr als 75 Jahre Erfahrung in der Ingenieurskunst und bietet mit seinem innovativen und vielfältigen Sortiment an Wasserqualitätsanalytoren, Elektroden und Lösungen die ideale Lösung für den alltäglichen Bedarf im Labor und im Außendienst bis hin zu

	pH	Redoxpotential	TUN	Temperatur	Salzgehalt	NH3	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
LAQUAtwin PH11, PH22, PH33	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>				
LAQUAtwin Salt11, Salt22				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
LAQUAtwin NO3-11				<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
LAQUAtwin ORP-11		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				
PH210, PH220	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
PC210, PC210	<input checked="" type="checkbox"/>							
PD210, PD220	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
WQ310, WQ320, WQ330	<input checked="" type="checkbox"/>							
U-51	<input checked="" type="checkbox"/>							
U-52, U-53, U-54	<input checked="" type="checkbox"/>							
TB220								

HORIBA LAQUAtwin Taschenmessgerät-Serie

Die LAQUAtwin Taschenmessgeräte sind kompakt, leicht und hochpräzise. Die Serie umfasst 15 Modelle, die zehn wichtige Parameter abdecken, darunter pH-Wert, Leitfähigkeit, Redoxpotential, Nitrat und Salzgehalt. Diese kostengünstigen Einzelparametergeräte sind wasserdicht nach IP67 und ermöglichen schnelle und zuverlässige Wasserqualitätsmessungen unterwegs.



Tragbare Messgeräte der Serie HORIBA LAQUA 200

Die LAQUA 200-Serie umfasst zehn wasserdichte Messgeräte (IP67) zur Messung von pH-Wert, Redoxpotential, Leitfähigkeit, Salzgehalt und gelöstem Sauerstoff. Die Serie ist als Ein- und Zweiparameter-Modell erhältlich und umfasst zwei Produktlinien: die 210 mit Speicherkapazität für bis zu 500 Datensätze und die 220 mit bis zu 1000 Datensätzen und PC-Anschluss. Die Messung des gelösten Sauerstoffs erfolgt über einen zuverlässigen galvanischen Sensor.

Tragbare Messgeräte der Serie HORIBA LAQUA 300

Die LAQUA 300-Serie umfasst drei fortschrittliche digitale Messgeräte. Das WQ300 kann bis zu drei Parameter gleichzeitig in beliebiger Kombination messen. Unterstützt werden pH-Wert, Redoxpotential, Leitfähigkeit, Salzgehalt, Ionen und gelöster Sauerstoff (mithilfe einer optischen Sonde). Die intelligenten Elektroden verfügen über einen integrierten Speicher zur Speicherung von Kalibrierungsdaten und ermöglichen so eine nahtlose Übertragung zwischen Messgeräten ohne Neukalibrierung.



Tragbare Messgeräte der Serie U-50 von HORIBA

Die U-50-Serie ist ein Multiparameter-Sondengerät mit integrierten Sensoren für pH-Wert, Redoxpotential, Leitfähigkeit, Salzgehalt, gelösten Sauerstoff und Trübung – alles in einem einzigen wasserdichten IP68-Gehäuse. Die Serie bietet 20 Modelle mit verschiedenen Konfigurationen, darunter Optionen für Tiefenmessung, verlängerte Kabellängen und GPS-Positionierung. Der gelöste Sauerstoff wird mit einem langlebigen polarografischen Sensor gemessen.



HORIBA UK Limited
Kyoto Close, Moulton Park,
Northampton NN3 6FL,
Großbritannien
Telefon: +44 1604 542600
waterquality@horiba.com
www.horiba-water.com

HORIBA Instruments Pte. Ltd.
83 Science Park Drive, #02-02A, The Curie, Singapur
118258
Telefon: + 65 6908-9660
laqua@horiba.com
www.horiba-laqua.com

HORIBA Instruments Incorporated
9755 Research Drive, Irvine, Kalifornien 92618, USA
Telefon: + 1 949 250 4811
labinfo@horiba.com
www.horiba.com/us/en

