

AVN Faktencheck

Eiszeit - zugefrorene Gewässer, Sauerstoffmangel und Fischsterben:

Ursachen, Gefahren und Empfehlungen für die Praxis

Andreas Maday¹, Matthias Emmrich¹, Florian Möllers¹

1: Anglerverband Niedersachsen e.V., Brüsseler Straße 4, 30539 Hannover

Stand: 03.02.2026



Fotos: Matthias Emmrich, AVN

Zusammenfassung

Aktuell erlebt Niedersachsen einen vergleichsweise harten Winter, der zu einer wochenlangen Eisbedeckung vieler Stillgewässer geführt hat. Erste Fischsterben unter Eis wurden schon beobachtet. Dieser Faktencheck erläutert unter Berücksichtigung wissenschaftlicher Erkenntnisse chemische und biologische Prozesse, die in zugefrorenen Gewässern zu kritischen Situationen für Fische führen können und gibt Praxisempfehlungen für Gewässerbewirtschafter wie mit drohenden Fischsterben umzugehen ist. Verschiedene Akutmaßnahmen werden unter Berücksichtigung von Sicherheitshinweisen erläutert. Kleine, flache und nährstoffreiche Stillgewässern sind am ehesten von Fischsterben betroffen. Wir empfehlen den Angelvereinen in diesen Gewässern die Sauerstoffkonzentration regelmäßig zu messen. Werden Messwerte von 1 mg/L⁻¹ und weniger gemessen, sollten fischrettende Maßnahmen in Erwägung gezogen werden. Notatmung in eisfreien Bereichen oder tote Fische unter der Eisdecke sind eindeutige Hinweise für ein drohendes Fischsterben. Die Anlage eisfreier Bereiche, schneefreier Eisflächen und Belüftungsmaßnahmen werden auch im Kontext einer Prädationsvermeidung (Kormoran, Otter etc.) diskutiert. Bei akuten Notlagen empfehlen wir unseren Vereinen, sich an das Fachpersonal des AVN zu wenden, um vor Ort eine Gefahrenschtzung vorzunehmen und gewässerspezifischen Fischrettungsmaßnahmen zu initiieren.

In den letzten Wochen (Dezember 2025 – Januar 2026) blieben die Temperaturen in Niedersachsen überwiegend unter dem Gefrierpunkt, mit verbreiteten Nachtfrösten und teils zweistelligen Minusgraden, was in vielen Stillgewässern zu einer wochenlangen, dauerhaften Eisbildung führte (Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für Januar 2026). Klimawandel bedingt sind solche Ereignisse in Norddeutschland vergleichsweise selten geworden.

Beim Anglerverband Niedersachsen e. V. (AVN) häufen sich Meldungen, dass die dauerhafte Eisbedeckung insbesondere in kleinen, flachen Gewässern zu ersten Fischsterben unter der Eisdecke führte.

Der folgende Faktencheck erläutert, welche Prozesse in eisbedeckten Gewässern zu Fischverlusten führen können, in welchen Gewässern aufgrund einer lang anhaltenden Eisbedeckung Fischsterben am ehesten auftreten können, und welche Maßnahmen Angelvereine ergreifen können (Praxishinweise ab S. 5), um Fischsterben/Bestandsverluste in den gefährdeten Gewässern zu verhindern oder abzumildern.

Biologisch-chemische Prozesse in eisbedeckten Gewässern

Unter einer langanhaltenden Eisdecke kommt es in Stillgewässern häufig zu Sauerstoffmangel, insbesondere wenn die Eisfläche zusätzlich von Schnee bedeckt ist (Fast, 1994; Graham, 1945). Grundsätzlich kann in kaltem Wasser physikalisch gesehen deutlich mehr Sauerstoff gelöst werden als in warmem Wasser, sodass die geringen Temperaturen an sich zunächst eine höhere Sauerstofflöslichkeit im Wasser ermöglichen (Adam, 2003; Hoffman et al., 1987).

Durch die Eis- und Schneeschicht wird jedoch der Gasaustausch mit der Atmosphäre stark eingeschränkt, was zur Folge hat, dass so gut wie kein Sauerstoff durch die Wasseroberfläche ins Gewässer diffundieren kann. Zusätzlich ist die Fotosyntheseleistung, der Prozess bei dem Wasserpflanzen und Algen aus Sonnenlichtenergie Sauerstoff produzieren, im Winter ohnehin aufgrund der geringen Lichtverfügbarkeit stark reduziert (Hutchinson, 1957; Schwoerbel & Brendelberger, 2005). Wird der geringe Lichtzufluss durch Eis- und Schneeschichten weiter reduziert, kommt die Fotosynthese nahezu vollständig zum Erliegen, sodass praktisch keine pflanzenbasierte Sauerstoffproduktion stattfindet (Fast, 1994; Graham, 1945). Dabei lässt klares Eis (Schwarzeis) deutlich mehr Licht ins Wasser als trübes oder milchiges Eis (Milcheis, Weißeis), welches durch Luftblasen und andere Einschlüsse stark lichtstreuend und verdunkelnd wirkt (Hoffman et al., 1987).

Obwohl der Sauerstoffbedarf wechselwarmer, aquatischer Organismen im Winter infolge reduzierter Stoffwechselraten und physiologischer Anpassungen niedriger ist als im Sommer (McMeans et al., 2020; Shuter et al., 2012), bleibt die aerobe Atmung (Atmung von gelöstem Sauerstoff) bei den meisten Tieren und Pflanzen unter Wasser überlebensnotwendig. Gleichzeitig tragen mikrobiologische Abbauprozesse erheblich zur Sauerstoffzehrung bei: Bakterien und andere Mikroorganismen im Wasser sowie im Sediment/Gewässergrund nutzen organisches Material wie Laub, abgestorbene Tier- und Pflanzenteile und andere Partikel als Energie- und Kohlenstoffquelle (Graham, 1945; Wetzel, 1983). Dieser mikrobielle Abbau erfolgt überwiegend aerob (unter Sauerstoffzehrung), sodass der verfügbare gelöste Sauerstoff kontinuierlich reduziert bzw. „veratmet“ wird (Fast, 1994; Graham, 1945).

Neben der Sauerstoffverarmung des Wassers werden aquatische Lebewesen wie Fische und wirbellose Organismen zusätzlich direkt und indirekt durch einige chemische Verbindungen gefährdet, die insbesondere unter sauerstoffarmen Bedingungen im Zuge der bakteriellen Zersetzung organischer Substanzen gebildet werden: Schwefelwasserstoff (H_2S), Methan (CH_4), Ammonium (NH_4^+) und Kohlendioxid (CO_2) (Hutchinson, 1957; Vámos & Tasnádi, 1972; Wetzel, 1983). Insbesondere Schwefelwasserstoff und Ammonium können in höheren Konzentrationen fischtoxisch wirken. Schwefelwasserstoff hemmt bereits in geringen Mengen die Zellatmung, was bei Fischen zum inneren Erstickungstod führen kann (Cooper & Brown, 2008; Rylov, 1924; Vámos & Tasnádi, 1972). Hohe Ammoniumkonzentrationen stören hingegen den Ionen- und Säure-Basen-Haushalt der Fische. Das bei hohen pH-Werten aus Ammonium entstehende Ammoniak (NH_3) wird über die Kiemen der Fische aufgenommen und kann neurologische Schäden sowie Atemnot verursachen (Adam, 2003).

Auswirkungen und Gefahren für Fische

Der Winter stellt aufgrund der geringen Nahrungsverfügbarkeit, niedrigen Wassertemperaturen, Parasiten und Räubern [insbesondere fischfressende Vögel z. B. Kormorane (*Phalacrocorax carbo*)] für Fische ohnehin eine besonders kritische Zeit dar, die viele Individuen nicht überleben (Byström et al., 2006; Hurst, 2007; McMeans et al., 2020).

Kommen zu den genannten Stressfaktoren noch Sauerstoffmangel und die Anreicherung toxischer, chemischer Verbindungen hinzu, kann dies gravierende Auswirkungen auf den Fischbestand in eisbedeckten Gewässern haben (Fast, 1994; Hurst, 2007).

Im Winter ist der Sauerstoffbedarf von Fischen und anderen wechselwarmen Tieren aufgrund der niedrigeren Wassertemperaturen und der damit verbundenen reduzierten Stoffwechselaktivität deutlich geringer als in wärmeren Jahreszeiten (Fast, 1994; Magnuson et al., 1985; Shuter et al., 2012), bleibt jedoch für die Aufrechterhaltung lebenswichtiger physiologischer Prozesse unverzichtbar. Fällt der Sauerstoffgehalt unter dem Eis rapide ab (Konzentrationen $< 1 \text{ mg / L}^{-1}$), reagieren Fische mit beschleunigten Kiemenbewegung und einer reduzierten Aktivität zur Energieeinsparung (Petrosky & Magnuson, 1973). Hechte vervierfachen z.B. ihre Atembewegungen bei einem Sauerstoffabfall von 4 mg / L^{-1} auf unter 1 mg / L^{-1} . Diese Notatmung stellt für die Fische einen erheblichen Stressfaktor dar, was wiederum den Sauerstoffbedarf erhöht (Mandic et al., 2020). In eisbedeckten Gewässern mit Sauerstoffknappheit sind die Fische gezwungen, Bereiche aufzusuchen, in denen die Sauerstoffkonzentration höher ist, sei es in der Wassersäule (Bewegungen hin zur Eisfläche/eisfreien Bereichen) oder in bestimmten Bereichen des Gewässers mit höherem Sauerstoffgehalt (Bauer & Schlott, 2003; Magnuson et al., 1985; Petrosky & Magnuson, 1973).

Finden die Fische keine Bereiche mit ausreichend Sauerstoffreserven und hält der akute Sauerstoffmangel aufgrund langfristiger Eisbildung an, führt die hohe körperliche Belastung dazu, dass zunächst einzelne Individuen sterben. Hierbei reagieren die verschiedenen Fischarten analog zu sommerlichen Sauerstoffdefiziten unterschiedlich sensibel: Forellenartige Fische (Salmoniden) reagieren besonders empfindlich auf Sauerstoffdefizite wohingegen Weißfische (Cypriniden) und Hechte grundsätzlich robuster sind (Adam, 2003; Otto, 2015) insbesondere, wenn der Sauerstoffgehalt im Winter langsam reduziert wird und eine physiologische Anpassung erfolgen kann (Bauer & Schlott, 2003). Zu den robustesten Arten, die auch unter einer Eisdecke mit extrem niedrigem Sauerstoffgehalt überleben können, zählen Karausche (*Carassius carassius*), Giebel (*Carassius gibelio*) und die Schleie (*Tinca tinca*) (Eddy, 1974; Olsén & Bonow, 2022), wobei Karauschen aufgrund ihrer besonderen Anpassung auch längerfristig Sauerstoffwerte nahe 0 mg / L^{-1} überstehen können (Holopainen & Hyvärinen, 1985).

Obwohl Sauerstoffmangel in eisbedeckten Gewässern zu massiven Belastungen für Fischpopulationen führen kann, kommt es in den meisten Fällen nicht zur vollständigen Auslöschung eines Bestandes (Fast, 1994; Graham, 1945). Nur in besonders extremen Fällen, bei sehr langer Eisdecke, starker Schneebedeckung und gleichzeitig hoher organischer Gewässerbelastung, kann der Sauerstoffgehalt so weit absinken, dass der gesamte Fischbestand stirbt (Fast, 1994; Graham, 1945). In Gewässern, in denen es regelmäßig zu Fischsterben kommt, können diese Ereignisse die gesamte Fischartengemeinschaft beeinflussen (Fast, 1994; Ruuhijärvi et al., 2010); dies ist jedoch für Niedersachsen aufgrund der in den letzten Jahren überwiegend milden Winter weniger relevant.



Massive Fischsterben unter Eis sind vergleichsweise selten und treten typischerweise in eutrophen, flachen und eher kleinen langsam fließenden oder stehenden Gewässern auf, in denen sich besonders schnell Sauerstoffdefizite ausbilden können (s. nächster Absatz).

Herrschen kritische Sauerstoffbedingungen in einem Gewässer vor, sollten sämtliche Störungen der Fische während der winterlichen Eisphase bestmöglich vermieden werden. Starke Erschütterungen und Geräusche, etwa durch Öffnen der Eisfläche durch Hammer oder Axtschläge, Schlittschuhlaufen, Spaziergehen oder andere Aktivitäten auf der Eisfläche, können Fluchtreaktionen und erhöhte Aktivität bei Fischen auslösen, wodurch der Sauerstoffbedarf ansteigt (Hoffman et al., 1987). In bereits hypoxischen (sauerstoffarmen) Gewässern verschärft diese zusätzliche Belastung die Stresssituation der Tiere und kann die Überlebenschancen weiter reduzieren, insbesondere bei Arten mit einem höheren Sauerstoffbedarf.

Welche Gewässer sind besonders gefährdet?

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass der Sauerstoffmangel unter dauerhafter Eisdecke in der Regel in besonders nährstoffreichen (eutrophen), flachen Stillgewässern (meist deutlich unter 4 m Wassertiefe) auftritt (Fast, 1994; Graham, 1945; Piening, 1977). Diese Gewässer sind auch während Hitzeperioden mit Wassermangel besonders gefährdet.

Nährstoffreiche, flache Stillgewässer verfügen meist weder über Zu- noch Abläufe, und aufgrund reduzierter oder fehlender Strömungen ist die bodennahe Sauerstoffversorgung häufig limitiert, wodurch sich auch der mikrobielle Abbau des organischen Materials durch Bakterien und Pilze verlangsamt (Tonin & Hepp, 2011). Durch ein häufig ungünstiges Flächen-Tiefenverhältnis ist zudem der windinduzierte Sauerstoffeintrag aus der Atmosphäre durch nur schwache Wellenbewegungen und Strömungen limitiert. Aufgrund des hohen Nährstoffgehaltes wird jedoch viel Biomasse in Form von Wasserpflanzen und Algen gebildet, sodass sich über vergleichsweise kurze Zeit mächtige Schichten abgestorbenen Pflanzenmaterials akkumulieren können, die stark sauerstoffzehrend sind (Fast, 1994; Piening, 1977). Als Folge kann in nährstoffreichen Flachgewässern die Sauerstoffzehrung, insbesondere in den Sedimenten, bis zu dreimal so hoch sein, wie in tiefen nährstoffarmen Seen (Fast, 1994; Mathias & Barica, 1980), wodurch kritische Sauerstoffverhältnisse und die Anreicherung fischgiftiger Substanzen unter der Eisdecke beschleunigt werden (Fast, 1994; Mathias & Barica, 1980; Piening, 1977).

Gewässer mit diesen Ausprägungen (in der Regel kleinere Teiche, Weicher, Regenrückhaltebecken etc.) werden von vielen Angelvereinen in Niedersachsen bewirtschaftet (Nikolaus et al., 2021). Oftmals sind die Gewässer betroffen, bei denen es auch im Sommer zu problematischen Wasserwerten, z. B. durch starke (Blau-)Algenblüten oder langanhaltenden Hitzeperioden kommt. Tieferer, geschichtete Gewässer mit moderaten Nährstoffgehalten - in Niedersachsen vornehmlich Baggerseen (Nikolaus et al., 2021) - sind in der Regel nicht von eisbedingten Fischsterben akut betroffen.



Die Klarheit des Eises kann als ein Indikator für die Intensität biologischer Abbauprozesse unter Wasser dienen: Nähstoffreiche, produktive Gewässer bilden häufig trübes Milcheis (Weißeis) aus, hervorgerufen durch Biomasse in der Wassersäule und Gasbläschen, die während des Abbauprozesses organischer Materie entstehen. Klares Eis (Schwarzeis) ist ein Indikator für eine geringere mikrobielle Aktivität. In Gewässern mit Klareis bilden sich Sauerstoffdefizite tendenziell später bzw. zeitlich verzögert aus (Zdorovenova et al., 2021).

Welche Maßnahmen können Angelvereine/Gewässerwarte ergreifen?

Kurz- und langfristige Maßnahmen zum Schutz der Fischbestände vor Ersticken und kritischen Wasserwerten in Stillgewässern können im Kontext der fischereilichen Hege ([§ 40 Nds. FischG](#)) - also der Verpflichtung des Fischereiberechtigten einen dem Gewässer entsprechenden Fischbestand zu hegen / schützen - gesehen werden. Maßnahmen zur Sicherung ausreichender Sauerstoffverhältnisse bei Eisbildung im Winter können daher einen wichtigen Bestandteil der fischereilichen Hege darstellen.

Um Fischsterben durch Sauerstoffmangel unter langanhaltender Eisbedeckung zu verhindern, können Angelvereine verschiedene Maßnahmen ergreifen, die sich in drei Bereiche gliedern lassen:

- 1) Kontinuierliche Beobachtung (Monitoring) der Gewässer im Jahresverlauf, insbesondere während Eisdecke im Winter und sommerlicher Hitzeperioden
- 2) Sofortmaßnahmen bei akuter Sauerstoffarmut
- 3) Langfristige Maßnahmen, die den Sauerstoffgehalt sowohl im Winter als auch im Sommer stabilisieren.

Wichtiger Hinweis: Bitte beachtet unbedingt, dass jegliche Arbeiten auf der Eisfläche lebensgefährlich sein können - bei allen nachfolgend aufgeführten Maßnahmen ist immer auf die Arbeitssicherheit zu achten (vgl. nächster Absatz). Alle nachfolgenden Maßnahmen inklusive der angegebenen Richtwerte basieren auf Literaturlauswertungen und eigenen Erfahrungen unserer Mitarbeiter und sind nicht als allgemeingültige Aussagen zu verstehen. In kritischen Situationen und bei akuten Anzeichen für ein bevorstehendes Fischsterben, kontaktiert bitte unsere Biologen. In der Regel macht es Sinn, sich die Problemgewässer vor Ort anzuschauen, um dann gewässerspezifische Maßnahmen ableiten und umsetzen zu können.



Sicherheit geht immer vor!

Nahezu in jedem Winter, in dem Eisflächen auf den Gewässern (auch auf flachen Gewässern wie dem Steinhuder Meer) beobachtet werden, verunglücken Menschen tödlich bei Ausflügen/Begehungen der vermeintlich sicheren Eisdecke. Dementsprechend ist ein vorsichtiges und geplantes Agieren die oberste Prämisse um Arbeiten durchzuführen. Im Zweifelsfall sind alle Maßnahmen konsequent zu unterlassen, wenn die Sicherheit der Akteure nicht sichergestellt werden. Die eigene Sicherheit hat in jedem Fall oberste Priorität.

Jegliche Arbeiten auf Eisflächen - selbst auf nur kleinen bzw. flachen Gewässern - erfordern ein besonders hohes Maß an Arbeitssicherheit, da die Tragfähigkeit des Eises räumlich und zeitlich stark variieren kann und ein plötzlicher Einbruch lebensbedrohliche Risiken birgt (Box 1). So mag die Eisfläche am Rand eines Gewässers sicher erscheinen, jedoch zur Mitte hin lokal dünner werden. Ein Einbruch ins Eis stellt eine akute Lebensgefahr dar, da Kälteschock, rascher Wärmeverlust und eingeschränkte Bewegungsfähigkeit die Selbstrettung erheblich erschweren und innerhalb kürzester Zeit zu Bewusstlosigkeit oder Ertrinken führen können.

Grundsätzlich dürfen Tätigkeiten dementsprechend niemals alleine und nur bei ausreichender, durchgehender Eisstärke ([der Maschsee in Hannover wurde 2025 erst bei einer durchgehenden Eisdicke von über 13 cm zur Begehung freigegeben](#)) und nach vorheriger sicherheitstechnischer Bewertung durchgeführt werden, wobei unnötige Risiken konsequent zu vermeiden sind. Die Arbeiten sollten nach Möglichkeit nur in Ufernähe nach vorherigem Prüfen der Eisdicke und in keinem Fall in der Seemitte geschehen.

Alle beteiligten Personen müssen geeignete Schutzausrüstung (Schwimmwesten optimalerweise einen Überlebensanzug, bei Verwendung von Motorsägen = Schnittschutzausrüstung und Gehörschutzausrüstung) tragen und im ständigen Kommunikationskontakt stehen. Das Mitführen eines funktionstüchtigen Mobiltelefons ist unerlässlich. Darüber hinaus ist vor Beginn der Arbeiten der Kontakt zu zuständigen Behörden oder Gewässerbetreibern herzustellen, um Informationen zur aktuellen Eis- und Gefahrenlage einzuholen. Für den Notfall müssen geeignete Rettungsmittel wie Rettungsleiter, Rettungsring oder Wurfleine jederzeit griffbereit sein, um eine schnelle Selbst- oder Fremdrettung zu ermöglichen.

Nicht nur die Eisfläche selbst, sondern auch zugefrorene oder vereiste Wege im Uferbereich bergen eine akute Rutsch- und Sturzgefahr. Besonders an Stillgewässern können feuchte Böschungen, festgetretener Schnee, gefrorener Schlamm, Laub oder Schilf zu extrem glatten Untergründen führen. Aus diesem Grund ist beim Aufenthalt und bei Arbeiten am Gewässer grundsätzlich auf rutschfestes, festes Schuhwerk zu achten.

Box 1: Empfehlungen zum sicheren Arbeiten auf Eisflächen

- Arbeiten auf Eisflächen sind hochriskant, da die Eisstärke stark variieren kann.
- Ein Eisbruch bedeutet akute Lebensgefahr durch Kälteschock und raschen Wärmeverlust.
- Tätigkeiten nur mindestens zu zweit, bei ausreichender Eisstärke und nach Sicherheitsbewertung.
- Sicherheitskleidung tragen (Schwimmwesten/Überlebensanzug)
- Arbeiten möglichst ufernah durchführen, unnötige Risiken auf der Seemitte vermeiden.
- Ständiger Kommunikationskontakt, Mobiltelefon mitführen.
- Rettungsmittel (Rettungsring, Leiter, Wurfleine) jederzeit bereithalten.

1) Monitoring und Sauerstoffmessungen

Für flache, schlammige Stillgewässer, die bereits im Sommer zu Sauerstoffproblemen neigen, ist ein regelmäßiges Monitoring (über das gesamte Jahr hinweg) empfehlenswert. Dabei sollte die Sauerstoffkonzentration im Wasser systematisch überwacht werden, insbesondere auch unter schneebedeckten Eisdecken (ausbleibende Sauerstoffproduktion, Abb. 1).



Abbildung 1: Ein flaches, nährstoffreiches Stillgewässer, das aufgrund der Schneedecke auf dem Eis potenziell gefährdet ist. Foto: Matthias Emmrich, AVN

Das Öffnen der Eisdecke für die Sauerstoffmessungen sollte vorsichtig unter geringstmöglichen Erschütterungen/Geräuschen erfolgen. Die Verwendung eines scharfen Eisbohrers oder leistungsfähigen Akkuschraubers mit entsprechender Bohrkronen ermöglicht ein schnelles Öffnen der Eisdecke, ohne die Fische übermäßig stark zu stören (Abb. 2). Werkzeuge wie Äxte oder Hämmer verursachen starke Geräusche und Vibrationen, werden damit besonders gut von Fischen wahrgenommen und sind daher für den Einsatz in diesem Zusammenhang ungeeignet.

Insbesondere bei langanhaltender Eisdecke kann es sinnvoll sein, regelmäßig an verschiedenen Stellen im Gewässer und in verschiedenen Tiefen den Sauerstoffgehalt zu messen. Hierzu empfehlen wir die Verwendung von optischen Sauerstoffsonden mit der entsprechenden Messtechnik (Abb. 2). Diese Geräte sind zwar in der Anschaffung teurer, arbeiten aber zuverlässig und müssen nicht kalibriert werden.



Abbildung 2: Eisbohrer, Sauerstoffmessgerät und Sicherungsseil – Wichtiges Equipment zur Überwachung der Gewässer. Foto: Matthias Emmrich, AVN

Wichtig ist ein präzises Messen der Sauerstoffkonzentration, was im Winter deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als im Sommer. Im kalten Wasser messen die meisten Sauerstoffmessgeräte deutlich langsamer, da auch die Diffusion der Moleküle verlangsamt ist, chemische/elektrochemische Reaktionen deutlich länger verlaufen und Sensormaterialien bei Kälte träger reagieren. Ein aussagekräftiger Messwert wird mitunter erst nach einigen Minuten erreicht. Der Sensor sollte solange in einer konstanten Gewässertiefe gehalten werden, bis sich der Messwert stabilisiert hat und nur noch minimal schwankt. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass die Messsonde nicht mit dem Boden/Sediment in Kontakt kommt, was die Ergebnisse verfälschen würde.



Wir empfehlen eine Messung unmittelbar unter der Eisdecke, gefolgt von einer Messung im Mittelwasser und einer dritten Messung knapp oberhalb des Gewässerbodens. Liegen die Sauerstoffwerte im Mittel über 2 bis 3 mg / L⁻¹ besteht in der Regel keine akute Gefahr für die Fische im Stillgewässern (es sei denn, es ist ein Salmonidenbestand existent). Werden diese geringen Werte gemessen, sollte weitere Messungen in einem Abstand von drei bis vier Tagen erfolgen, um etwaige Negativtrends und Notlagen frühzeitig erkennen zu können. Herrscht starker Dauerfrost, kann es sinnvoll sein die Messlöcher eisfrei zu halten, um wiederholte Bohrungen/Öffnungen der Eisdecke zu vermeiden (vgl. Punkt 2).

Bei allen Messungen sollte ein Protokoll geführt werden, wobei die Daten sorgfältig archiviert werden sollten, um die Messdaten auch in Zukunft vergleichen zu können und Änderungen im Gewässer leichter zu identifizieren/interpretieren.

Die entstandenen Eislöcher sind in jedem Fall aus sicherheitstechnischen Gründen deutlich zu markieren (z. B. durch über Kreuz gelegte Holzlatten, Äste im Eisloch etc.), damit nicht andere Personen beim Begehen der Eisdecke verunglücken.

2) Sofortmaßnahmen bei akuter Sauerstoffarmut

Die nachfolgend aufgelisteten Sofortmaßnahmen zeigen in der Regel eine umso größere Wirkung, je kleiner das Gewässer bzw. das Wasservolumen ist, sind jedoch immer abhängig von den lokalen Gewässergegebenheiten und der infrastrukturellen Ausstattung vor Ort.

In abgelegenen oder schwer zugänglichen Gewässern ist der Einsatz technischer Geräte häufig erschwert und mit einem erhöhten Diebstahlrisiko verbunden, weshalb in vielen Gewässern Pumpen, Aggregate etc. nicht oder nicht dauerhaft zum Einsatz kommen können.

Grundsätzlich sollten Sofortmaßnahmen erwogen werden, wenn die Sauerstoffwerte unter 1 mg / L⁻¹ gelöstem Sauerstoff liegen oder es bereits Anzeichen eines drohenden Fischsterben gibt (z.B. Notatmung an offenen Stellen, tote oder sterbende Fische unter der Eisdecke, Abb. 3). Auch bei den Sofortmaßnahmen sollten potentielle Störungen, vor allem starke Vibrationen, die möglicherweise zusätzlichen Stress für die Fische bedeuten, so gering wie möglich gehalten werden.



Abbildung 3: Notatmung, tote Fische unter dem Eis und niedrige Sauerstoffwerte sind deutliche Alarmsignale für ein "Kippen" des Gewässes. Fotos: Matthias Emmrich, AVN

Künstliche Gewässerbelüftung

Die Belüftung der Gewässer stellt die effektivste Maßnahme zur kurzfristigen Verbesserung der Sauerstoffversorgung dar, erfordert jedoch die Beachtung einiger Punkte. Bereits kleine Vakuumpumpen oder Luftgebläse können einen erheblichen Effekt auf die Sauerstoffverfügbarkeit im Wasser haben (Abb. 4), weshalb insbesondere in der Teichwirtschaft bei akuten Sauerstoffproblemen häufig der Einsatz von Pumpen empfohlen wird (Hoffman et al., 1987). Leistungsfähige und zugleich sparsame Pumpen aus dem Aquarien- bzw. Teichbedarf sind in einer Vielzahl auf dem Markt erhältlich und können mit tragbaren Batterien/Akkus flexibel eingesetzt werden. Zum Einführen des Belüftungsschlauches unter das Eis muss zunächst mit einem Eisbohrer ein Loch in die Eisdecke gebohrt werden (hier bitte erschütterungsintensive Geräte wie Hammer, Axt etc. verzichten). Der Belüftungsschlauch sollte in keinem Fall bis zum Gewässergrund reichen, da sonst Nährstoffe und Partikel aus dem Sediment gelöst werden und so die Sauerstoffzehrung stark ansteigen kann (Ellis & Stefan, 1989; Fast, 1994; Hoffman et al., 1987). Stattdessen wird empfohlen, den Schlauch nur knapp unter die Eisoberfläche zu platzieren und das Loch im Eis nach Möglichkeit mit Schnee abzudecken (Hoffman et al., 1987). So wird Luft gezielt unter die Eisdecke gepumpt, der Sauerstoff löst sich effektiv im Wasser, und die Fische profitieren davon (Hoffman et al., 1987). Da die Belüftung jedoch die Stabilität und Dicke der Eisdecke deutlich beeinträchtigen kann, ist bei allen Begehungen nach der Maßnahme besondere Vorsicht geboten (Fast, 1994).

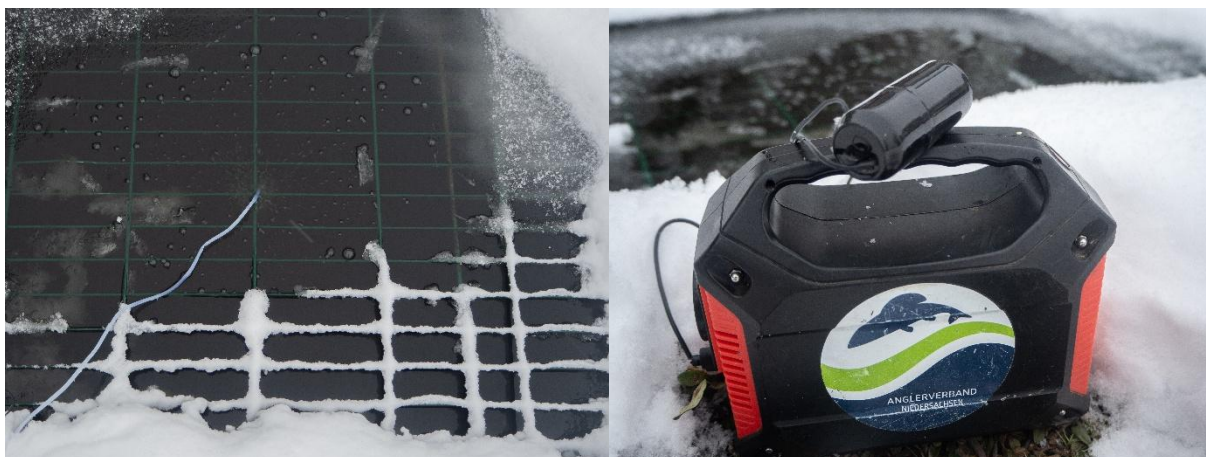


Abbildung 4: Bereits kleine, wenige Watt leistungsschwache Pumpen, versorgt über eine Powerbank, können kleine Gewässerbereiche über längere Zeit eisfrei halten. In diesem Fall wurde das Eisloch mit einer Stabmatte vor möglicher Prädation gesichert. Fotos: Matthias Emmrich, AVN

Da in der Regel nicht das gesamte Gewässer belüftet werden kann, sollte man sich auf Teilbereiche beschränken, was auch aus der Kosten-Nutzen Perspektive am sinnvollsten ist. Fische sind bei Sauerstoffmangel gut in der Lage, Bereiche mit einem höheren Sauerstoffgehalt im Gewässer eigenständig zu finden (Fast, 1994) .

Neben dem Einsatz von Pumpen stellt der Einsatz von Schaufelradbelüftern oder Aquapilze (i. d. Regel werden diese in der Teichwirtschaft/Aquakultur genutzt, Abb. 5) in eisfreien Bereichen eine weitere Möglichkeit der Gewässerbelüftung dar (Fast, 1994; Hoffman et al., 1987). Derartige Belüfter weisen in der Regel einen höheren Energiebedarf auf und werden über einen 220 Volt Anschluss betrieben, weshalb sie in der praktischen Anwendung während winterlicher Eisphasen nur eingeschränkt geeignet sind (Fast, 1994).



Abbildung 5: Ein installierter Aquapilz, auf einem kleinen Vereinsgewässer, der oberflächennahes Wasser bewegt und den Gasaustausch fördert. Fotos: Fischereiverein Eversen

Freihalten der Eisflächen von Schneebedeckung

Das partielle Entfernen von Schnee von der Eisfläche kann in vielen Fällen eine wirksame Maßnahme sein, um den Lichteinfall in das Gewässer zu erhöhen, vorausgesetzt das Eis ist vergleichsweise klar (Abb. 6). Schneedecken wirken stark lichtdämpfend und reduzieren die ohnehin geringe Sonnenenergie erheblich, die während der Wintermonate die Wasseroberfläche erreicht (Fast, 1994; Mathias & Barica, 1980). Wird der Schnee abschnittsweise entfernt, kann deutlich mehr Licht durch die Eisdecke in das Wasser eindringen, wodurch die Fotosynthese von Wasserpflanzen und Algen zumindest in begrenztem Umfang wieder angeregt werden kann (Fast, 1994). Infolgedessen kann lokal Sauerstoff produziert und der Sauerstoffmangel unter der Eisdecke abgeschwächt werden. Die Maßnahme sollte jedoch nur punktuell und unter Beachtung der Sicherheitsaspekte auf Eis erfolgen, um unnötige Störungen der Fische und Risiken für die ausführenden Personen zu vermeiden (Hoffman et al., 1987). Idealerweise werden die Bereiche von Schnee freigehalten, in denen ein Wasserpflanzenvorkommen bekannt ist und wo die Gewässer eher flacher sind, damit das wenige Sonnenlicht zum Boden durchdringen kann, wo mit einem erhöhten Pflanzen/Algenaufkommen zu rechnen ist.



Abbildung 6: Das Entfernen der Schneedecke kann bei klarem Eis die Fotosyntheseleistung und damit die Sauerstoffproduktion erhöhen. Foto: Matthias Emmrich, AVN

Anlegen von eisfreien Flächen

Das Anlegen von eisfreien Flächen (sog. Wuhnen) in Teichen stellt eine weitere Maßnahme dar, um in Situationen des Sauerstoffmangels den negativen Auswirkungen einer geschlossenen Eisdecke entgegenzuwirken. Wuhnen sind gezielt geschaffene Öffnungen in der Eisfläche, die den Gasaustausch zwischen Wasser und Atmosphäre ermöglichen sollen. Über diese Öffnungen kann Sauerstoff in das Gewässer gelangen, während gleichzeitig im Wasser gelöste Gase wie Kohlendioxid oder Faulgase entweichen können. Optimalerweise werden die freien Flächen in den Bereichen des Stillgewässers angelegt, in denen der Wind eine entsprechend hohe Angriffsfläche hat. Dies erhöht den Sauerstoffeintrag und kann zumindest teilweise ein schnelles Zufrieren der Wuhnen verlangsamen (Abbildung 7). Das Anlegen sollte möglichst erschütterungsarm und vorsichtig erfolgen (z. B. unter Einsatz einer Motorsäge), um Stressreaktionen der Fische zu minimieren, und auf mehrere kleinere Öffnungen verteilt werden, anstatt eine große Eisfläche zu öffnen. Zudem sind beim Betreten der Eisfläche stets entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu beachten.



Abbildung 7: Freigeschnittene Gewässerbereiche können den Gasaustausch fördern und den Lichteinfall erhöhen. Fotos: Fischereiverein Eversen

Freihalten offener Gewässerbereiche

Eine weitere wichtige Maßnahme ist das Freihalten von offenen Gewässerbereichen, um den Gasaustausch mit der Atmosphäre zu ermöglichen. Im Winter kann die Bewegung von Fischen in einem Gewässer dazu führen, dass wärmeres Tiefenwasser und kälteres Oberflächenwasser vermischt werden (Abb. 8). Durch diese Durchmischung kann lokal die Eisdecke abgeschwächt oder teilweise geschmolzen werden, wodurch sich Mikrobereiche mit offenen Wasserstellen unter der Eisfläche bilden (Bauer & Schlott, 2003).

Diese Bereiche dienen als Sauerstoffzufuhr und können verhindern, dass die gesamte Wasserfläche vollständig isoliert wird (Fast, 1994). Auch kleine, offene Wasserstellen können durch Windbewegung oder Strömung die Sauerstoffversorgung verbessern und so das Risiko eines Fischsterbens reduzieren.



Abbildung 8: Ufernahe Bereiche, die durch Fischbewegungen über einen längeren Zeitraum freigehalten werden. Fotos: Matthias Emmrich, AVN (links), Fischereiverein Eversen (rechts)

Reduktion von Störungen

Insbesondere in flachen Gewässern mit einem hohen Fischbestand ist es wichtig, während der winterlichen Eisphase jede vermeidbare Störung der Fische zu unterlassen (Hoffman et al., 1987). Intensive mechanische Einwirkungen und Lärm, beispielsweise durch das gewaltsame Öffnen der Eisdecke mit Hammer oder Axt, aber auch durch Aktivitäten wie Schlittschuhlaufen, Spazieren gehen oder andere Nutzungen der Eisfläche, können bei Fischen vermeidbare Stress- und Fluchtreaktionen auslösen. Diese gehen mit einer erhöhten Aktivität und damit einem gesteigerten Sauerstoffverbrauch einher (Hoffman et al., 1987). In Gewässern, die bereits unter Sauerstoffmangel leiden, verstärkt eine solche zusätzliche Belastung die physiologische Stresssituation erheblich und kann die Überlebensfähigkeit der Fische reduzieren, insbesondere bei sauerstoffsensiblen Arten.

Zusätzlich kann der Prädationsdruck durch fischfressende Vögel und Fischotter (*Lutra lutra*) im Winter eine erhebliche Belastung für Fischbestände darstellen (Adámek et al., 2003; Suter, 1995). Insbesondere Kormorane und andere fischfressende Vogelarten wie der Gänsesäger (*Mergus merganser*), die in den Wintermonaten häufig als Zuggäste in großer Zahl auftreten, können den Fischen in bereits gefährdeten Gewässern stark direkt [durch Fraß z. B. (Čech et al., 2008; Suter, 1995)] und indirekt [durch Verletzungen und Umherschleichen (Davies et al., 1995; Kortan et al., 2008, 2011)] zusetzen. Die Fische sammeln sich während Perioden mit Eisdeckung häufig an den letzten eisfreien Stellen in oberflächennahen Bereichen, die als Sauerstoffrefugien dienen.

Dort sind sie für Prädatoren besonders leicht aufzuspüren, erreichbar und werden wiederholt aufgescheucht (Adámek et al., 2003). Diese ständigen Fluchtreaktionen führen zu einem erhöhten Energieverbrauch und steigern gleichzeitig den Sauerstoffbedarf der Fische, was in sauerstoffarmen Gewässern die Stressbelastung zusätzlich verstärkt und die Überlebenschancen, sowie die Kondition der Fische auch bis ins Frühjahr hinein weiter verringern kann. Räumlich begrenzte offene Gewässerbereiche mit sichtbaren Fischansammlungen können effizient mit einem Prädatorenschutz ausgestattet werden (vgl. Abb. 4). Diese Bereiche können mit Gitter (z.B. aus Baustahlmatten, Zäune, Holz etc.) komplett eingehaust werden, sodass die Prädatoren die Fische nicht erreichen. Ein Stababstand von unter 10 cm gilt als „ottersicher“. Sind keine Fischotter zu erwarten, können zur Abwehr von Kormoranen, Gänsesägern und Reihern auch größere Gitter von 15 x 15 cm (z.B. Wildgatterzaun) verwendet werden. Die Schutzstrukturen können durch Sandsäcke/Steine beschwert auf das Eis gestellt und/oder am Ufer im Boden verankert werden.

Entfernen von Fischkadavern nach Eisschmelze

Sollte es aufgrund der langanhaltenden Eisbedeckung bereits zu einem Fischsterben gekommen sein, wird das Einsammeln der Fischkadaver nach der Eisschmelze dringend empfohlen. Die Zersetzung der Fische führt generell zu einer zusätzlichen Sauerstoffzehrung (Walsh et al., 2025), die den verbliebenen Fischbestand und andere Wasserorganismen weiter gefährden und eine Erholung des Gewässers/des Sauerstoffgehaltes deutlich verlängern kann. Auch aus Gründen der Seuchenhygiene sollten tote Fische unverzüglich entfernt und sachgerecht entsorgt werden. Das Einsammeln der Fischkadaver sollte aus Sicherheitsgründen nur vom Boot (Schwimmwesten tragen!) bzw. direkt vom Ufer aus erfolgen.

3) Langfristige Maßnahmen

Zu den langfristigen Maßnahmen gehört zunächst eine gründliche Gewässeruntersuchung, um bestehende Defizite in Bezug auf Sauerstoffversorgung, Nährstoffbelastung oder Habitatstruktur zu identifizieren. Darauf aufbauend können gezielte Maßnahmen wie die Entschlammung des Gewässers oder das Anlegen von geeigneten Windschneisen erfolgen, um die ökologischen Verhältnisse zu verbessern und das Risiko von Sauerstoffmangel sowohl im Winter als auch im Sommer nachhaltig zu verringern.

Die Entschlammung bzw. Teilentschlammung von Gewässern kann eine wichtige langfristige Maßnahme zur Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse und zur Verringerung der Nährstoffbelastung darstellen (Mitsuo et al., 2014; Waajen et al., 2016). Voraussetzung für die langfristige Planung ist zunächst die Erfassung der Schlammauflage mittels Schlammpeilung (möglich durch Biologen des Verbandes).

Der AVN unterstützt seine Mitgliedsvereine sowohl bei dieser Bestandsaufnahme als auch bei der Erstellung standortangepasster Entschlammungskonzepte, beispielsweise unter Einbeziehung der Anlage von Schlammfeldern, Gewässerteilverfüllungen etc. als mögliche Optionen.

Wind spielt eine wichtige Rolle für die Belüftung von Gewässern und kann die Sauerstoffversorgung sowie die Wasserqualität erheblich verbessern (Chen, 2017; Kann & Welch, 2005). Eine Möglichkeit, diese Wirkung gezielt zu nutzen, ist die Anlage von Windschneisen um die betroffenen Gewässer. Dabei werden Bäume entlang des Ufers gezielt entfernt, sodass die Wasseroberfläche stärker dem Wind ausgesetzt wird. Dies fördert die Durchmischung der Wasserschichten und den Gasaustausch mit der Atmosphäre. Vor der Umsetzung müssen jedoch gesetzliche Vorgaben und Genehmigungen geprüft werden. Gut geplante Windschneisen können so einen nachhaltigen Beitrag zur Sauerstoffversorgung und ökologischen Stabilität kleiner Gewässer leisten.

Unterstützung durch den Anglerverband

Der Anglerverband Niedersachsen (AVN) lässt seine Mitgliedsvereine in kritischen Situationen nicht allein und unterstützt sie sowohl bei akuten Notlagen an den Vereinsgewässern, etwa bei drohendem Fischsterben unter Eis, als auch bereits im Vorfeld. Dank der beim AVN tätigen Biologinnen und Biologen können Vereine auf fundiertes Fachwissen zurückgreifen – sei es im Rahmen von Beratungsterminen vor Ort, bei der Einschätzung von Problemgewässern oder bei der Entwicklung passender Maßnahmen zur Vorbeugung. Darüber hinaus unterstützt der AVN seine Vereine bei der Beantragung von Fördermitteln, beispielsweise für die Anschaffung von Mess- und Monitoringtechnik, um kritische Situationen frühzeitig zu erkennen. Gerade bei Gewässern, die wiederholt Probleme bereiten, lohnt sich der frühzeitige Austausch – spricht uns gerne an, wir helfen euch weiter.

Kontakt:

Anglerverband Niedersachsen e.V.
Brüsseler Straße 4
30539 Hannover
E-Mail: info@av-nds.de
Tel.: 0511 35726622

Foto: Matthias Emmrich, AVN



Literatur

- Adam, B. (2003). *Fischereilich relevante Grenz- und Richtwerte* (2. überarb). Institut für angewandte Ökologie.
- Adámek, Z., Kortan, D., Lepič, P., & Andreji, J. (2003). Impacts of otter (*Lutra lutra* L.) predation on fishponds: A study of fish remains at ponds in the Czech Republic. *Aquaculture International*, 11(4), 389–396. <https://doi.org/10.1023/A:1025787330366>
- Bauer, C., & Schlott, G. (2003). Sauerstoffmangel im Winterteich – Dokumentation der Reaktion von Zuchtkarpfen (*Cyprinus carpio carpio* morpha *domestica*) mittels Radiotelemetrie. *Österreichs Fischerei*, 56, 1–11.
- Byström, P., Andersson, J., Kiessling, A., & Eriksson, L. O. (2006). Size and temperature dependent foraging capacities and metabolism: Consequences for winter starvation mortality in fish. *Oikos*, 115(1), 43–52. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.15014.x>
- Čech, M., Čech, P., Kubecka, J., Prchalova, M., & Drastik, V. (2008). Size selectivity in summer and winter diets of Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*): Does it reflect season-dependent difference in foraging efficiency? *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, 31(3), 438–447.
- Chen, L. (2017). *A case study of dissolved oxygen characteristics in a wind-induced flow dominated shallow stormwater pond subject to hydrogen sulfide production*. University of Ottawa.
- Cooper, C. E., & Brown, G. C. (2008). The inhibition of mitochondrial cytochrome oxidase by the gases carbon monoxide, nitric oxide, hydrogen cyanide and hydrogen sulfide: Chemical mechanism and physiological significance. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*, 40(5), 533–539. <https://doi.org/10.1007/s10863-008-9166-6>
- Davies, J. m., Feltham, M. J., & Walsingham, M. V. (1995). Fish wounding by cormorants, *Phalacrocorax carbo* L. *Fisheries Management and Ecology*, 2, 321–324.
- Eddy, F. B. (1974). Blood gases of the tench (*Tinca tinca*) in well aerated and oxygen-deficient waters. *Journal of Experimental Biology*, 60(1), 71–83. <https://doi.org/10.1242/jeb.60.1.71>
- Ellis, C. R., & Stefan, H. G. (1989). Oxygen demand in ice covered lakes as it pertains to winter aeration. *Water Resources Bulletin*, 25(6), 1169–1176.
- Fast, A. W. (1994). Winterkill prevention in lakes and ponds using artificial aeration. *Reviews in Fisheries Science*, 2(1), 23–77. <https://doi.org/10.1080/10641269409388552>
- Graham, J. (1945). Limnological conditions in ice-covered lakes, especially as related to winter-kill of fish. *Ecological Monographs*, 15, 343–392. <https://doi.org/10.1126/science.151.3712.864-c>
- Hoffman, J., Geldhauser, F., & Gerstner, P. (1987). *Der Teichwirt* (6.). Parey.
- Holopainen, I. J., & Hyvärinen, H. (1985). Ecology and physiology of crucian carp [*Carassius carassius* (L.)] in small Finnish ponds with anoxic conditions in winter. *Internationale Vereinigung Für Theoretische Und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 22(4), 2566–2570. <https://doi.org/10.1080/03680770.1983.11897726>
- Hurst, T. P. (2007). Causes and consequences of winter mortality in fishes. *Journal of Fish Biology*, 71(2), 315–345. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01596.x>



- Hutchinson, G. B. (1957). A Treatise on Limnology. In Inc. John Wiley & Sons (Ed.), *Geography, Physics, and Chemistry* (1st ed.).
- Kann, J., & Welch, E. B. (2005). Wind control on water quality in shallow, hypereutrophic upper klamath lake, oregon. *Lake and Reservoir Management*, 21(2), 149–158. <https://doi.org/10.1080/07438140509354424>
- Kortan, J., Adámek, Z., Flajšhans, M., & Pia, V. (2008). Indirect manifestation of cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis* (L.)) predation on pond fish stock. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 1–11. <https://doi.org/10.1051/kmae>
- Kortan, J., Blahova, J., Kruzikova, K., & Adamek, Z. (2011). Stress responses of carp pond fish stock upon hunting activities of the great cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis* L.). *Aquaculture Research*, 42, 322–330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02624.x>
- Magnuson, J. J., Beckel, A. L., Mills, K., & Brandt, S. B. (1985). Surviving winter hypoxia: Behavioral adaptations of fishes in a northern Wisconsin winterkill lake. *Environmental Biology of Fishes*, 14(4), 241–250. <https://doi.org/10.1007/BF00002627>
- Mandic, M., Pan, Y. K., Gilmour, K. M., & Perry, S. F. (2020). Relationships between the peak hypoxic ventilatory response and critical O₂ tension in larval and adult zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Experimental Biology*, 223(7). <https://doi.org/10.1242/jeb.213942>
- Mathias, J. A., & Barica, J. (1980). Factors controlling oxygen depletion in ice-covered lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(2), 185–194. <https://doi.org/10.1139/f80-024>
- McMeans, B. C., McCann, K. S., Guzzo, M. M., Bartley, T. J., Bieg, C., Blanchfield, P. J., Fernandes, T., Giacomini, H. C., Middel, T., Rennie, M. D., Ridgway, M. S., & Shuter, B. J. (2020). Winter in water: Differential responses and the maintenance of biodiversity. *Ecology Letters*, 23(6), 922–938. <https://doi.org/10.1111/ele.13504>
- Mitsuo, Y., Tsunoda, H., Kozawa, G., & Yuma, M. (2014). Response of the fish assemblage structure in a small farm pond to management dredging operations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 188, 93–96. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.015>
- Nikolaus, R., Schafft, M., Maday, A., Klefoth, T., Wolter, C., & Arlinghaus, R. (2021). Status of aquatic and riparian biodiversity in artificial lake ecosystems with and without management for recreational fisheries: Implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(1), 153–172. <https://doi.org/10.1002/aqc.3481>
- Olsén, K. H., & Bonow, M. (2022). Crucian carp (*Carassius carassius* (L.)), an anonymous fish with great skills. *Ichthyological Research*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10228-022-00892-z>
- Otto. (2015). *Temperatur- und Sauerstoff-Toleranz ausgewählter Wanderfischarten der Elbe* (28th ed.). Berichte des IGB.
- Petrosky, B. R., & Magnuson, J. J. (1973). Behavioral responses of Northern pike, yellow perch and bluegill to oxygen concentrations under simulated winterkill conditions. *Copeia*, 1973(1), 124. <https://doi.org/10.2307/1442367>
- Piening, R. (1977). *Potential winterkill lakes in Walworth, Kenosha, and Racine counties, Wisconsin, 1935–1975*.

- Ruuhijärvi, J., Rask, M., Vesala, S., Westermarck, A., Olin, M., Keskitalo, J., & Lehtovaara, A. (2010). Recovery of the fish community and changes in the lower trophic levels in a eutrophic lake after a winter kill of fish. *Hydrobiologia*, 646(1), 145–158. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0186-y>
- Rylov, W. M. (1924). Einige Beobachtungen über den Einfluß der Schwefelwasserstoffgärung in den Schlamm-sedimenten kleiner Gewässer auf die Produktion und die vertikale Verteilung des Zooplanktons. *Internationale Vereinigung Für Theoretische Und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 2, 289–303. <https://doi.org/10.1080/03680770.1924.11898317>
- Schwoerbel, J., & Brendelberger, H. (2005). *Einführung in die Limnologie* (1. Auflage). Elsevier GmbH.
- Shuter, B. J., Finstad, A. G., Helland, I. P., Zweimüller, I., & Hölker, F. (2012). The role of winter phenology in shaping the ecology of freshwater fish and their sensitivities to climate change. *Aquatic Sciences*, 74, 637–657. <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0274-3>
- Suter, W. (1995). The effect of predation by wintering cormorants *Phalacrocorax carbo* on grayling *Thymallus thymallus* and Trout (Salmonidae) populations: Two case studies from Swiss rivers. *Journal of Applied Ecology*, 32(1), 29–46.
- Tonin, A. M., & Hepp, L. U. (2011). Effects of nitrate enrichment on leaf litter decomposition. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23, 86–94.
- Vámos, R., & Tasnádi, R. (1972). Die ökologischen Faktoren des durch H₂S und Ammoniak bedingten Fischsterbens. *Tiscia*, 7, 5–12.
- Waajen, G., van Oosterhout, F., Douglas, G., & Lüring, M. (2016). Geo-engineering experiments in two urban ponds to control eutrophication. *Water Research*, 97, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.070>
- Walsh, R., Dornan, T. N., Upadhyay Stæhr, S., Brookes, H. J., Hipsey, M. R., Laws, M., Cassey, P., & Brookes, J. D. (2025). Carp carcass decomposition and water quality: Implications for the release of CyHV-3 as a biocontrol agent for common carp in Australia. *Marine and Freshwater Research*, 76(2). <https://doi.org/10.1071/MF24183>
- Wetzel, R. G. (1983). *Limnology* (2.). Saunders College.
- Zdorovenova, G., Palshin, N., Golosov, S., Efremova, T., Belashev, B., Bogdanov, S., Fedorova, I., Zverev, I., Zdorovenov, R., & Terzhevnik, A. (2021). Dissolved Oxygen in a Shallow Ice-Covered Lake in Winter: Effect of Changes in Light, Thermal and Ice Regimes. *Water*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/w13172435>