

# Monitoringbericht: Temperatur- und Sauerstoffdynamik im Edersee im Zeitraum 2020 bis 2022.

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Department Seenforschung  
Dr. K. Rinke

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Im Zuge der Dürreverhältnisse im Jahr 2018, die mit stark erhöhten Temperaturverhältnissen und sehr geringem Füllstand einher ging, kam es 2018 im Edersee zu einem Fischsterben bei dem insbesondere großen Zander betroffen waren. Der Hergang des Fischsterbens und das Verhalten der sterbenden Fische deutete auf einen kritischen, geringen Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der Talsperren hin denn die Fische hatten teilweise heraustretende Schwimmblasen, was auf einen sehr schnelle Aufstieg im Gewässer hindeutet. Dies ist ein typisches Verhalten bei kritischen Sauerstoffverhältnissen bzw. starker Sauerstoffzehrung.

Da sich die Dürreverhältnisse in den Folgejahren verstetigten, wurde bereits im Jahr 2020 und 2021 ein zeitlich hoch-auflösendes Monitoring der Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse für den Edersee durchgeführt, dessen Ergebnisse auch im Rahmen dieses Auftrages nochmal vergleichend ausgewertet wurden. Hierbei traten teilweise sehr hochfrequente Schwankungen im Sauerstoffgehalt auf. Da sich die Messstelle in räumlicher Nähe zum Auslass der Talsperre befand (zum Kraftwerk gerichtet), blieb ungeklärt inwiefern möglicherweise der Schwallbetrieb der Turbine diese Schwankungen verursacht haben könnte oder ob diese wirklich durch limnologische Prozesse hervorgerufen wurden. Aus diesem Grund wurde in der Fortsetzung der Messungen eine zweite Messstelle in größerer Entfernung der Staumauer (im Zentralbecken gegenüber dem Wildpark) eingerichtet. Sollten die Schwankungen im Sauerstoffgehalt durch den Turbinenbetrieb verursacht worden sein, sollten die Messungen im Zentralbecken diese Schwankungen nicht enthalten.

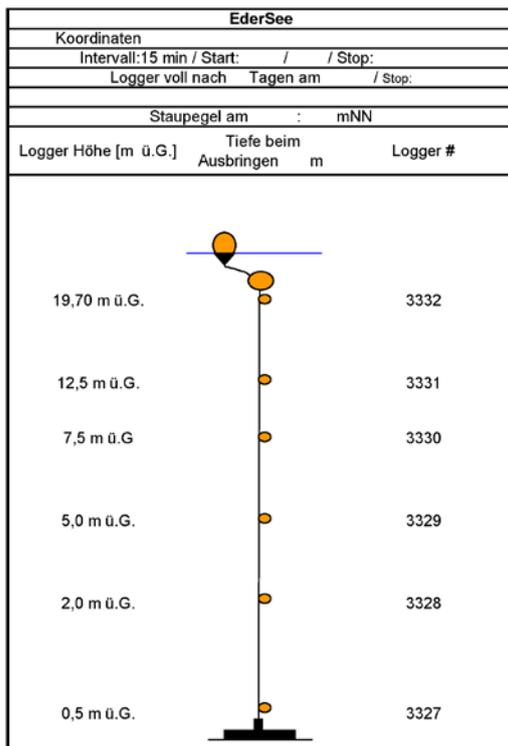
Die Ziele dieses Auftrages waren:

1. Auswertung der Sauerstoff- und Temperaturmessungen aus den Jahren 2021 und 2022 inklusive grafischer Aufarbeitung hinsichtlich der Schichtungsverhältnisse und der Dynamik im Sauerstoffhaushalt.

2. Zusammenfassende und vergleichende Analyse der hochfrequenten Schwankungen im Sauerstoffgehalt hinsichtlich einer möglichen Beeinflussung durch den Turbinenbetrieb
3. Charakterisierung der vertikalen Ausdehnung sauerstoffarmer Gewässerbereiche.
4. Abschließende Bewertung der Sauerstoffverhältnisse im Edersee und Abschätzung des Risikos erneuter Fischsterben.

## 2. Methoden

Die Messungen im Edersee erfolgen mit automatisch aufzeichnenden Temperaturloggern (HOBO TidbiT v2 Water Temperature Data Logger, <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/utbi-001>) und Sauerstoffloggern (D-Opto optical dissolved oxygen sensor and logger, <https://www.zebra-tech.co.nz/d-opto-sensor-and-d-optologger/>). Die Ausbringung im Gewässer wurde in 2021 und 2022 durch eine Boden-verankerte Messkette realisiert, um eine gute Erfassung der Verhältnisse im Tiefenwasser zu erfassen, und die Logger in verschiedenen Tiefen verankert (Abbildung 1). Die Angabe der Tiefe erfolgt also relativ zum Gewässerboden. Im Gegensatz dazu erfolgte die Ausbringung in 2020 durch eine an der Oberfläche schwimmende Boje, sodass die Logger in einer konstanten Tiefe relativ zur Gewässeroberfläche ausgebracht waren. Bei den starken Pegelabsenkungen im Edersee kommt es dann oft zum Aufliegen mehrerer Logger auf dem Gewässergrund (siehe unten). Deshalb wurde in den Folgejahren 2021 und 2022 auf eine Bodenverankerung umgestellt. Das Messintervall betrug 10 Minuten. Der saisonale Fokus der Messungen lag auf dem Hochsommer, da hier die Sauerstoffverhältnisse oft kritische Bereiche erreichen.



Kombinierte Sauerstoff- und Temperaturlogger(ZebraTech)



Abbildung 1: Skizze der ausgebrachten Messkette und Foto vor Ausbringung im Gewässer.

Bei Ausbringung und Bergung der Messketten wurden Vertikalprofile im Edersee mit einer Multiparameter-Sonde (Sea & Sun Technology, CTM90) aufgenommen, um ein vertikal hochauflösendes Temperatur- und Sauerstoffprofil zu erfassen. Im Jahr 2022 wurde die Sonde bei der WSA im Zeitraum

vom 28.07.2022 bis zum 06.09.2022 belassen und mehrfache Messungen, mehr oder weniger im wöchentlichen Rhythmus, durchgeführt.

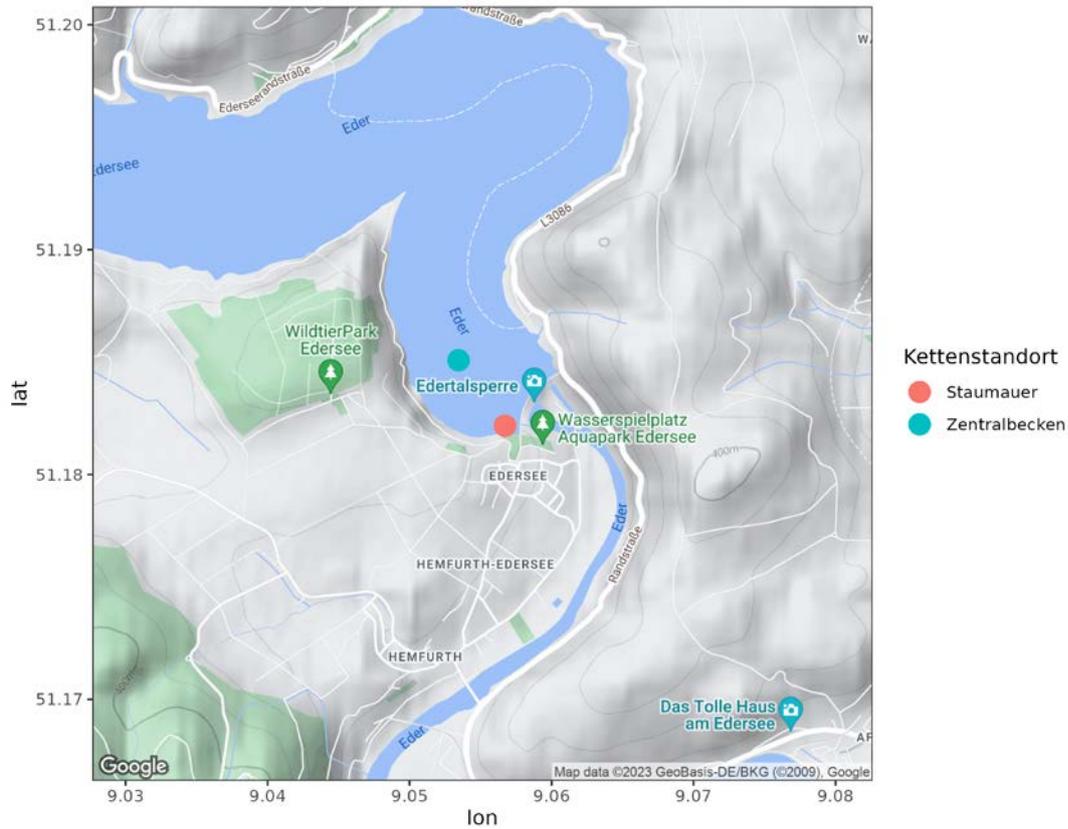


Abbildung 2: Position der Messketten an der Staumauer bzw. im Zentralbecken

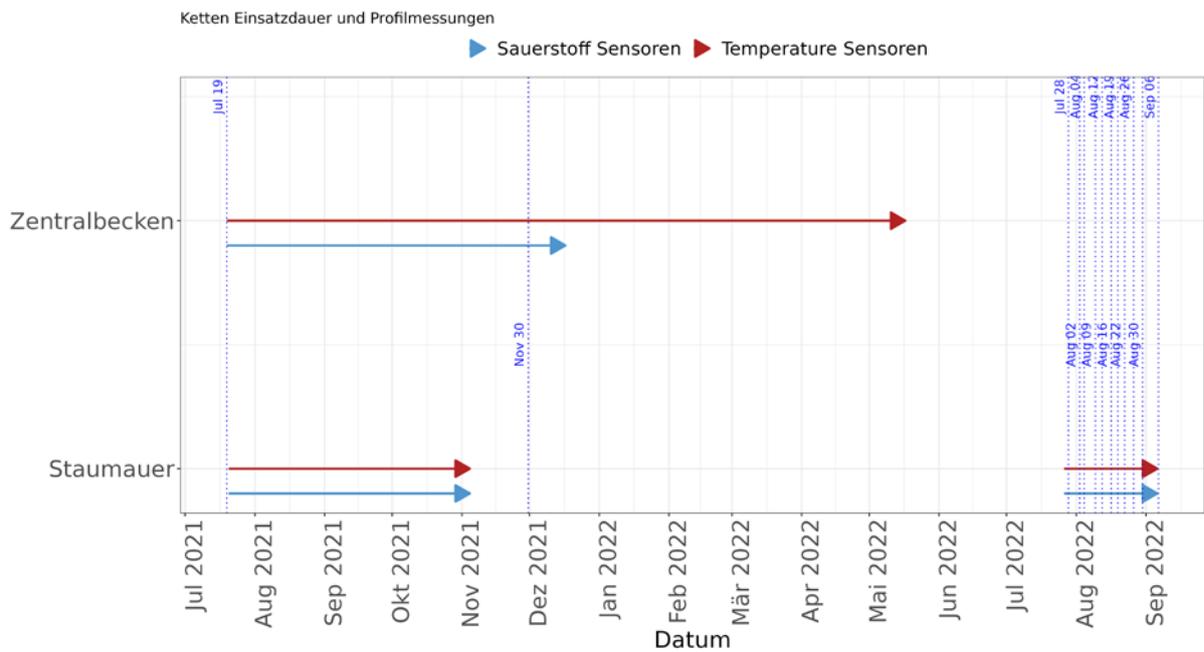


Abbildung 3: Ausbringungszeit der Loggerketten (horizontale Linien) in 2021 und 2022 und Zeitpunkte der Messungen der Vertikalprofile durch die WSA mittels einer Multiparametersonde.

Die Messketten wurden in den verschiedenen Jahren an zwei unterschiedlichen Positionen im Gewässer ausgebracht. Eine Messtelle befand sich an der tiefsten Stelle im Becken direkt vor der

Staumauer und in unmittelbarer Nähe zum Auslass. Eine zweite Messtelle befand sich im Zentralbecken vor der Staumauer, ca 500m von der Mauer entfernt (Abbildung 2). Die Ausbringung erfolgt im Jahr 2020 ausschließlich am Messpunkt Staumauer, im Jahr 2021 an beiden Messtellen. Für das Jahr 2022 liegen neben den Messungen im Hochsommer (Juli bis September) an der Staumauer auch noch Messungen für die Temperatur bis zur Jahresmitte im Zentralbecken vor (siehe Abbildung 3).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Verlauf des Pegelstands 2020 bis 2022

Im Untersuchungszeitraum sind die Jahre 2020 und 2022 durch starke Pegelabsenkungen (um ca. 25m) im Spätsommer charakterisiert, während 2021 nur moderate Absenkungen des Pegels aufzeigte (um ca. 10m, Abbildung 4).



Abbildung 4: Pegelkurven für die hydrologischen Jahre 2020 (oben), 2021 (unten links) und 2022 (unten rechts), Daten von <https://wasserstand.edersee.me>

#### 3.2. Messungen im Jahr 2020

Im Jahr 2020 erfolgten die Messungen ausschließlich an der Staumauer (siehe Abbildung 2). Die Installation und Ausbringung erfolgte basierend auf einer Boje mit starkem Auftrieb an der Gewässeroberfläche, d.h. alle Sensoren waren relativ zur Oberfläche lokalisiert. Da der Wasserstand während der Ausbringungsphase von Juli bis September um rund 10m abgesunken war, werden anfangs tief exponierte Sensoren konsekutiv am Gewässergrund abgelegt und zeigen einen gemeinsamen Messverlauf, wie in Abbildung 5 gut zu erkennen ist (betrifft hier die Tiefen 19.2m und 17.7m).

Die Wassertemperatur an der Oberfläche zeigt teilweise starke diurnale Schwankungen, die aber in 7m Tiefe bereits kaum in Erscheinung treten. Ab Mitte August befindet sich die Talsperre in der

konvektiven Abkühlungsphase und die vertikalen Temperaturgradient erodieren. Gleichzeitig verliert der Stausee durch die hypolimnische Entnahme kontinuierlich hypolimnisches Wasser, was ebenfalls zu einer Vereinheitlichung der vertikalen Temperaturverteilung beiträgt. Die Logger in >15m Tiefe liegen wahrscheinlich bereits im Totraum der Sperre und sind damit vom darüber liegenden Wasserkörper getrennt und nicht durch die hypolimnische Entnahme beeinflusst.

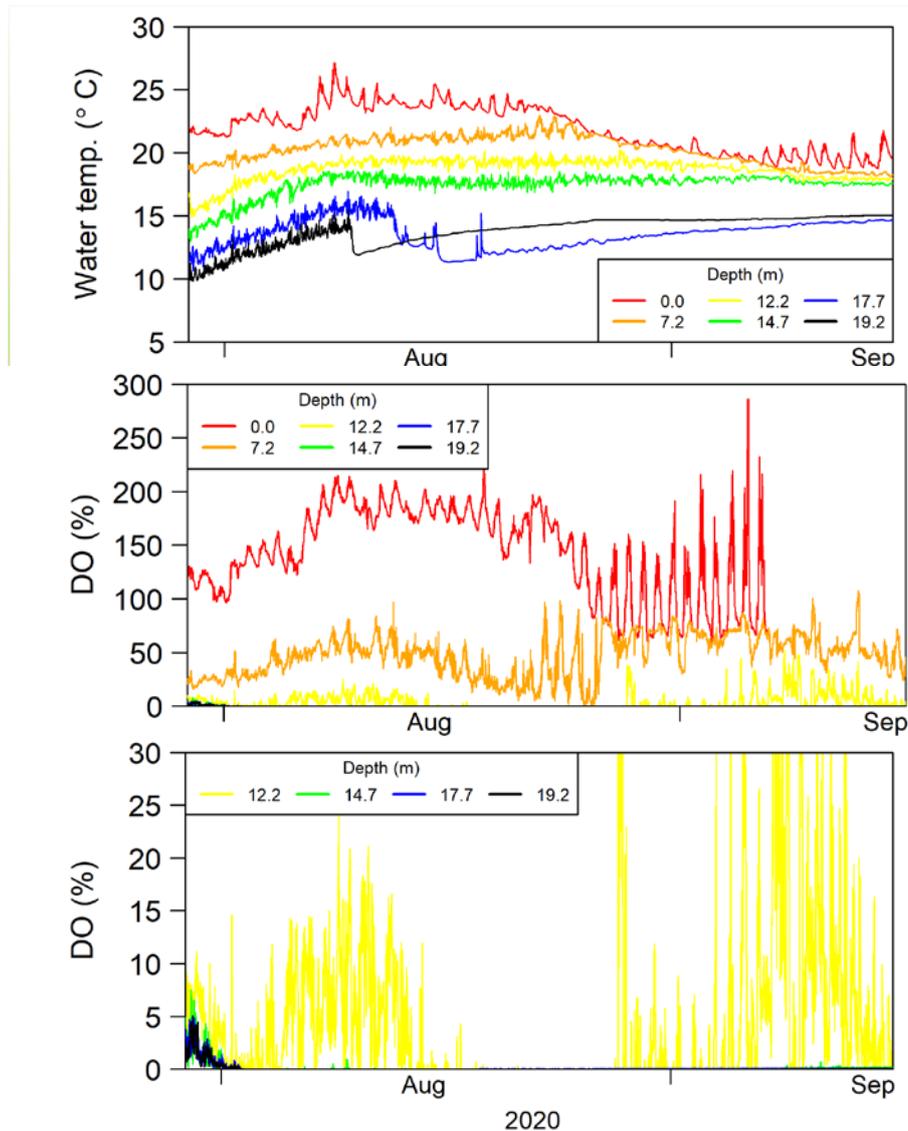


Abbildung 5: Oben: Temperaturverlauf in verschiedenen Tiefen im Edersee (Logger in 19.2m, 17.7m liegen ab September auf dem Gewässerrund und zeigen daher keine Variabilität mehr an. Mitte: Sauerstoffsättigung im Edersee in verschiedenen Tiefen. Unten: Sauerstoffsättigung im Edersee in Tiefen > 10m (andere y-Achsenkalierung).

Hochauflösende Vertikalprofile für Temperatur und Sauerstoff am Tag der Ausbringung und Bergung der Verankerung bestätigen diese (leichte) thermische Abtrennung des Totraumes (Abbildung 6). Sie zeigen auch sehr gut, dass starke Sauerstoffzehrungen im Tiefenwasser auftreten, die aber lediglich im September direkt am Gewässergrund auf Null absinken.

Die Sauerstoffmessungen mittels Logger in verschiedenen Tiefen () bestätigen dieses Bild grundsätzlich für die betreffenden Zeitpunkte, zeigen aber eine wichtige zusätzliche Information. Denn in der Zwischenzeit von Juli bis September war der anoxische Wasserkörper bis in 7.2 (besser ca. 10m) Tiefe vorgedrungen. In der 2. Hälfte des Augusts erreichte dieser anoxische Körper die stärkste Mächtigkeit, denn teilweise erfasste der Logger in 7.2m nachts Sauerstoffsättigungen von Null. Zu diesem

Zeitpunkt waren die untersten 10m des Edersees anoxisch und als Lebensraum für Fische ungeeignet.

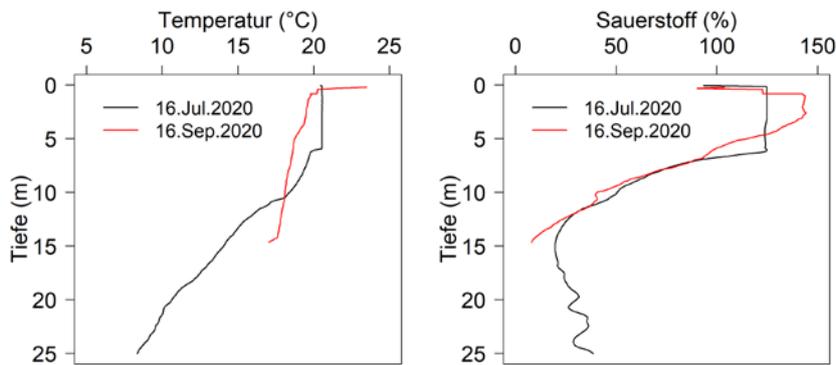


Abbildung 6: Mittels Multiparametersonde aufgenommene Vertikalprofile von Temperatur und Sauerstoffsättigung im Edersee an Tag der Ausbringung (16.07) bzw. Bergung (16.09) der Messkette

Schließlich zeigen sich in den Sauerstoffmessungen in 0m und 7.2m Tiefe teilweise starke diurnale Schwankungen, die durch hohe Primärproduktion hervorgerufen wurden. Diese starken Schwankungen und Übersättigungen von >250% verdeutlichen den eutrophen Charakter des Gewässers und das Auftreten von Phytoplankton-Massenentwicklungen. In der Routine-Beprobung am 16.09.2020 wurden in der Waldecker Bucht 56µg/L Chlorophyll und eine Sichttiefe von 60cm gemessen, was das Auftreten einer Massenentwicklung im Phytoplankton vollumfänglich bestätigt (HLNUG 2020).

Auffällig sind aber die starken Schwankungen des Sauerstoffgehaltes in 12.2m Tiefe (Abbildung 5 unten), die aufgrund der hochfrequenten Schwankungen nicht durch Primärproduktion erklärbar sind. Eine Ursache für diese Schwankungen könnte der Turbinenbetrieb sein, der im Schwallbetrieb abläuft und teilweise schnelle Wechsel beinhalten kann, die entsprechende Schwankungen in räumlicher Nähe zur Auslassöffnung induzieren können. Eine genauere Analyse der Turbinenzeiten und der Sauerstoffschwankungen zeigten aber kein kohärentes Bild. Auch die in den Folgejahren erfolgte zusätzliche Messung im Zentralbecken (Abbildung 2) bestätigte, dass derartige hochfrequente Schwankungen der Sauerstoffsättigungen auch in größerer Entfernung zur Staumauer auftreten (siehe unten) und daher unabhängig vom Turbinenbetrieb im Edersee auftreten. Aus Auslöser kommen hier Becken-weite oder hoch-frequente interne Wellen in Frage (Boegman et al. 2003, Preusse et al. 2010).

### 3.3. Messungen im Jahr 2021

#### 3.3.1. Vergleich der Messungen an der Staumauer und dem Zentralbecken

In 2021 erfolgten Messungen sowohl an der Staumauer als auch im Zentralbecken (siehe Abbildung 2). Durch diese vergleichenden Messungen wurde eindeutig dokumentiert, dass in 2020 gemessenen hochfrequenten Sauerstofffluktuationen in 2021 ebenfalls auftraten, und zwar sowohl im Zentralbecken, als auch vor der Staumauer (Abbildung 7). Die Logger an den Positionen 2m, 4m und 7m über Grund sind in beiden Messketten vorhanden und zeigen quantitativ ähnlich Verläufe und an beiden Positionen hochfrequente Fluktuation. Somit kann eindeutig ausgeschlossen werden, dass diese bereits 2020 vor der Staumauer beobachteten hochfrequenten Sauerstofffluktuation ursächlich durch den Turbinenbetrieb ausgelöst wurden. Hier sind vielmehr großräumig auftretende interne Wellen als Ursache anzusehen. Dieses Muster bestätigt sich auch in den Temperaturmessungen (Abbildung 8), wenn auch die Schwankungen aufgrund der geringeren vertikalen Gradienten schwächer ausgeprägt sind. Im Folgenden konzentriert sich die Auswertung auf die Messungen an der Staumauer, weil hier detailliertere Messwerte vorliegen und mehr Logger exponiert wurden.

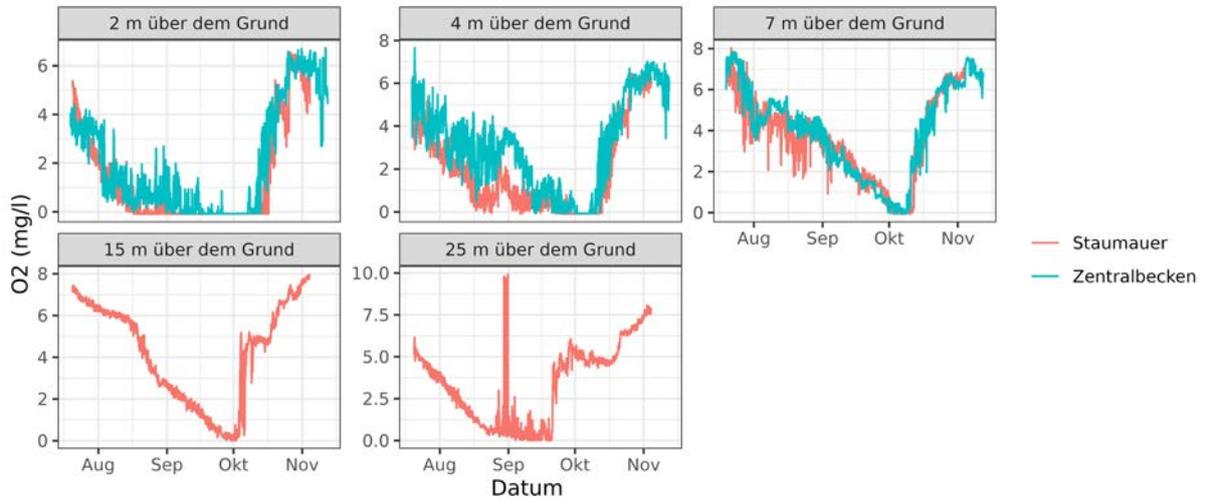


Abbildung 7: Sauerstoffkonzentrationen in verschiedenen Tiefen über dem Grund im Jahr 2021 für die Messstellen Staumauer und Zentralbecken. Beachte die unterschiedlichen Skalierungen der Y-Achse.

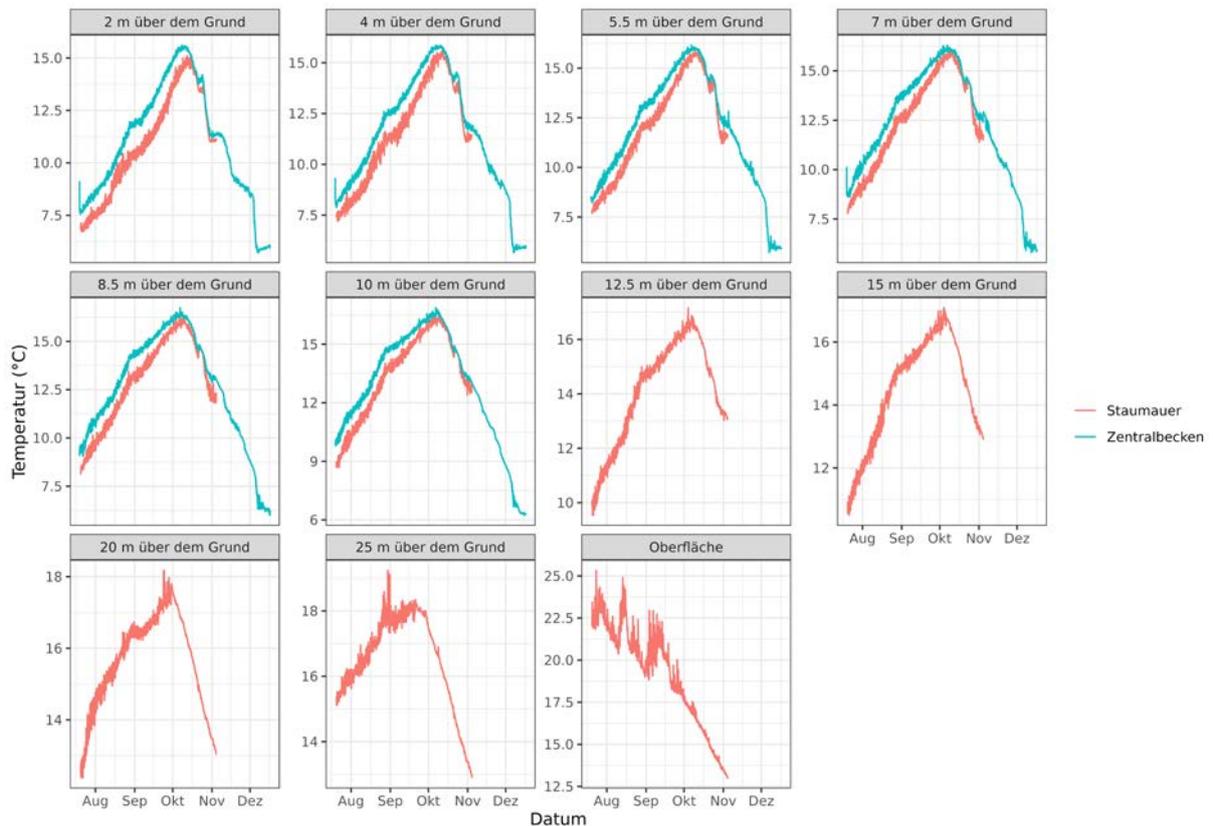


Abbildung 8: Temperaturen in verschiedenen Tiefen über dem Grund im Jahr 2021 für die Messstellen Staumauer und Zentralbecken. Beachte die unterschiedlichen Skalierungen der Y-Achse.

### 3.3.2. Detaillierte Analyse der vertikalen Temperatur und Sauerstoffverteilung im Edersee im Jahr 2021

Die Sauerstoffverhältnisse im Edersee sind durch starke Übersättigungen an der Oberfläche und starke Zehrung in größeren Tiefen charakterisiert (Abbildung 9). Im August, bei Wassertemperaturen von bis zu 25°C (Abbildung 10) werden teilweise über 20 mg/L Sauerstoff gemessen, was über 250% Übersättigung entspricht (Abbildung 9). Dies unterstreicht den stark eutrophen Charakter des Edersees. Die Temperaturmessungen zeigen stabil geschichtete Verhältnisse im Edersee bis Mitte Oktober, zu diesem Zeitpunkt verringern sich auch die vertikalen Sauerstoffgradienten deutlich aufgrund der konvektiven vertikalen Durchmischung (Herbst-Vollzirkulation).

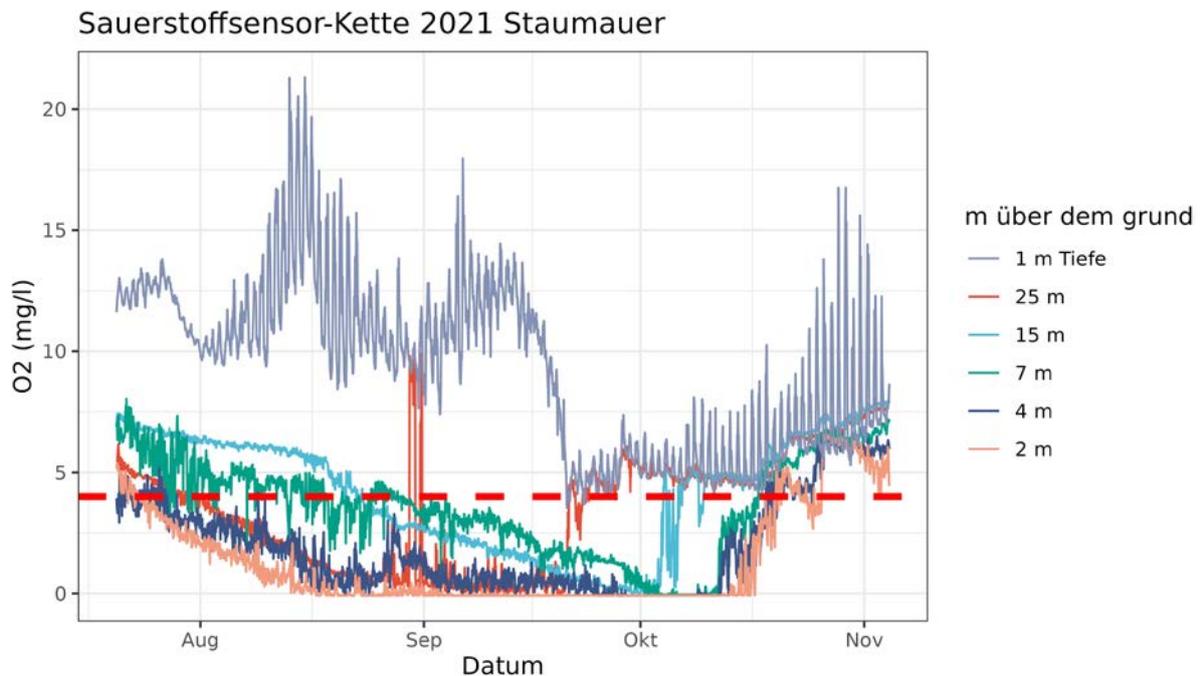


Abbildung 9: Sauerstoffkonzentrationen im Jahr 2021 an der Messstelle Staumauer für die Gewässeroberfläche („1 m Tiefe“, hellblau) bzw. in verschiedenen Tiefen (angegeben in 2...25 Meter über Grund). Dieselben Messwerte sind auch in Abbildung 7 visualisiert.

### Temperatursensor-Kette 2021 Staumauer

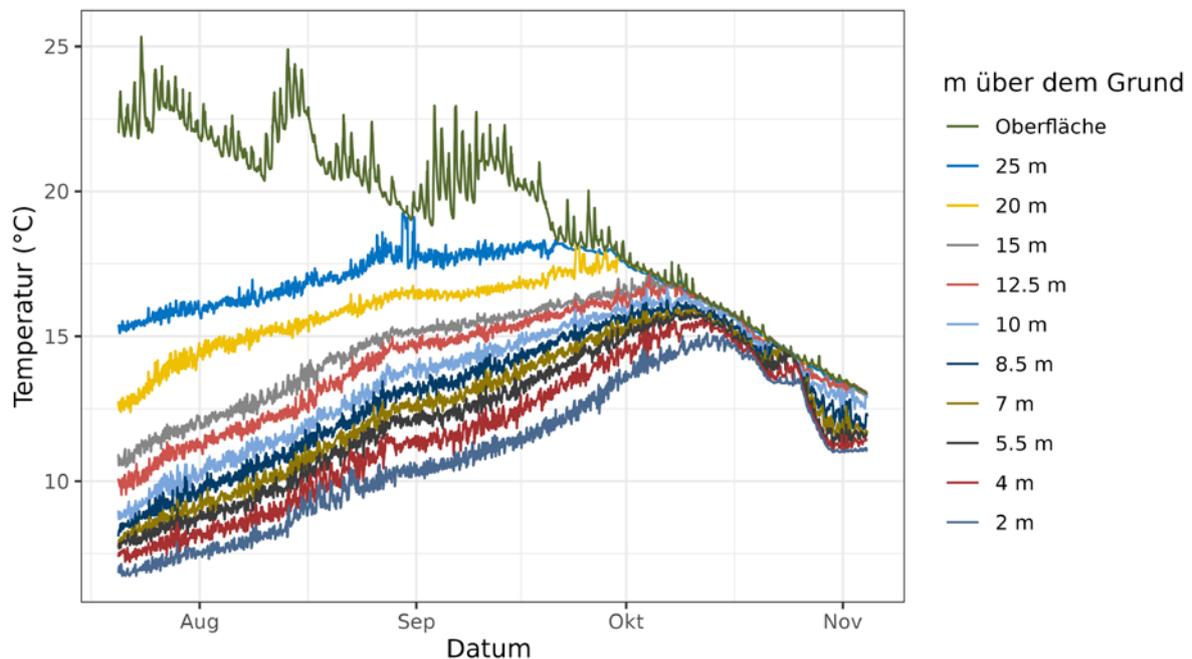
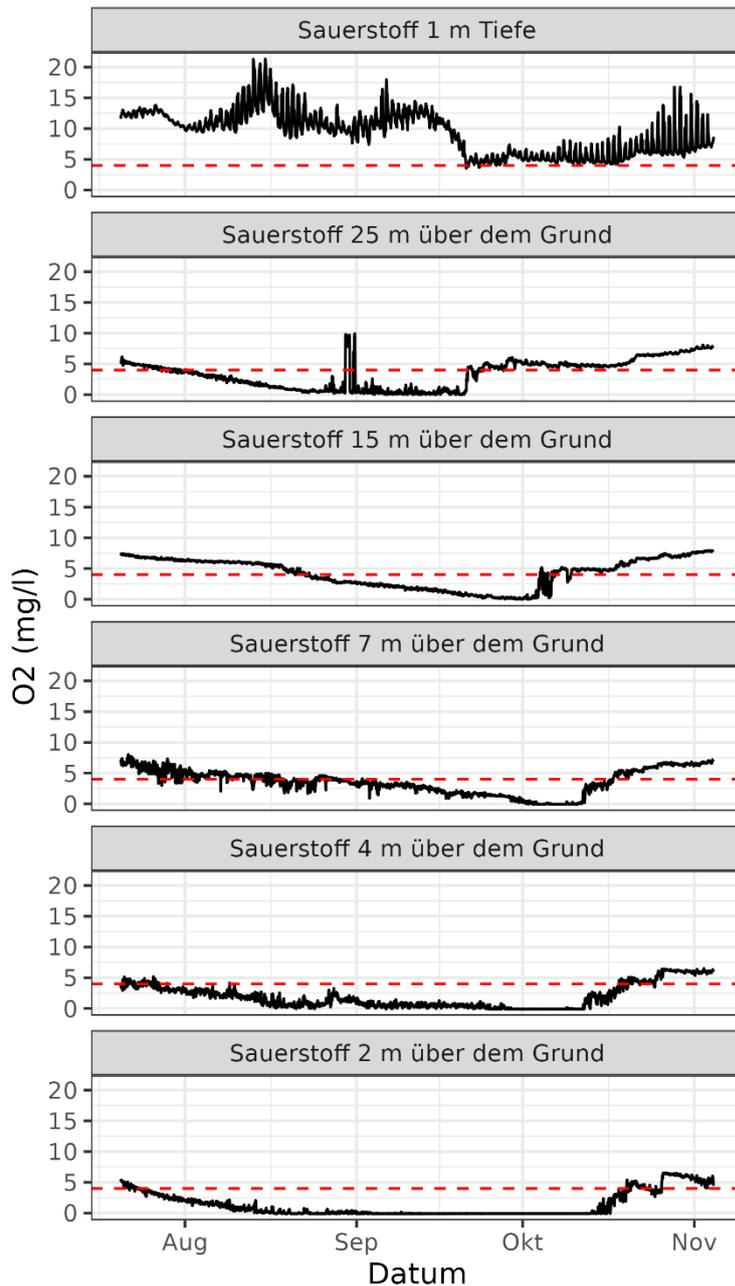


Abbildung 10: : Wassertemperaturen im Jahr 2021 an der Messstelle Staumauer für die Gewässeroberfläche („1 m Tiefe“, hellblau) bzw. in verschiedenen Tiefen (angegeben in 2...25 Meter über Grund). Dieselben Messwerte sind auch in Abbildung 8 visualisiert.

Die Sauerstoffdynamik in größeren Tiefen ist durch eine starke Sauerstoffzehrung charakterisiert. Ab Mitte August entsteht an der Wasser-Sediment-Kontaktzone (2m ü. Gr.) ein anoxische Wasserkörper (Abbildung 7). Der sich bis Ende September bis auf 15m ü. Gr. ausdehnt. Ein beachtenswerter Aspekt der Sauerstoffdynamik im Edersee ist die Tatsache, dass 25m ü. Gr. bereits ab Mitte August anoxische Verhältnisse herrschen, während in den Schichten darunter (z.B. in 7 bzw 15 m ü. Gr.) noch bis Ende September Sauerstoff vorhanden war (Abbildung 11). Eine Tiefe von 25 m ü. Gr. entspricht in diesem Zeitraum einer Wassertiefe von 10 bis 15m (von der Oberfläche betrachtet), sie befindet sich demnach im Metalimnion.

Zusammenfassend zeigen die Sauerstoffmessungen im Edersee, dass es zu starken Sauerstoffzehrungen am Gewässergrund und im Metalimnion kommt und hierdurch anoxische Verhältnisse entstehen. Im Wasserkörper dazwischen, also dem oberen Hypolimnion (also zwischen etwa 7 und 15m ü. Gr.), liegt hingegen noch Sauerstoff vor, der erst gegen Ende des Sommers verbraucht wird. Somit entsteht im Gewässer eine für Fische gefährliche Situation, da sie durch die Sauerstoffverhältnisse im



oberen Hypolimnion gefangen werden. Dieses Muster deutet sich auch bei den Messungen im Zentralbecken an und ist in Abbildung 12 nochmal verdeutlicht.

Dieses „hypolimnische Refugium“, welches durch die oben gezeigten Sauerstoffverhältnisse entsteht, ist für kalt-stenotherme Arten (z.B.: Salmoniden) ein bevorzugtes Habitat. In Anbetracht der enormen Aufheizung des Epilimnions bis 25°C suchen ggf. auch weitere Fischarten das Hypolimnion auf (z.B. Perciden). Wenn sich dann gegen Ende September dieses Refugium schließt, da der gesamte hypolimnische Wasserkörper anoxisch wird (siehe Abbildung 12), müssen die Fische diesen Wasserkörper verlassen und hierfür anoxische Bereiche im Metalimnion durchschwimmen. Diese Situation ist gefährlich für die Fische, über ein daraus entstehendes Risiko von Mortalität kann aber keine quantitative Aussage getroffen werden.

Abbildung 11: Sauerstoffkonzentration in verschiedenen Tiefen im Edersee (Messpunkt Staumauer) im Jahr 2021 (gleiche Daten wie in Abbildung 9)

## Sauerstoffsensor-Kette am Zentralbecken und Staumauer 2021

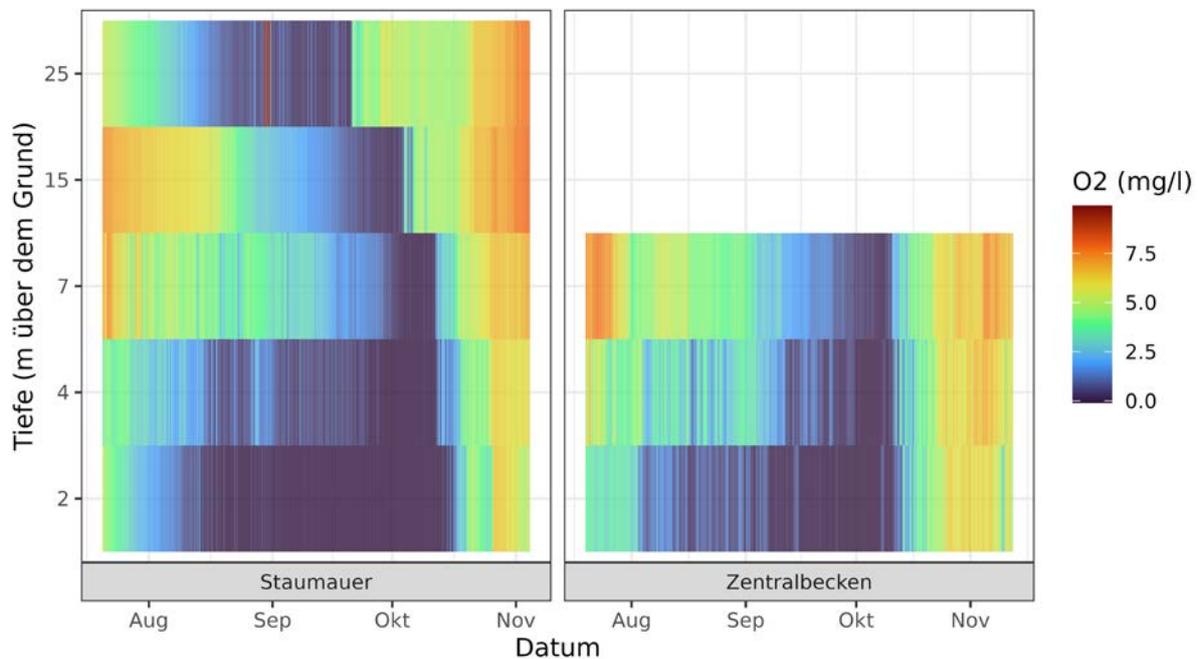


Abbildung 12: Sauerstoffkonzentration in verschiedenen Tiefen über dem Grund für die beiden Messtellen Staumauer (links) und Zentralbecken (rechts) im Edersee im Jahr 2021.

Durch die hypolimnische Wasserabgabe aus dem Edersee verliert das Gewässer über den Sommer zügig das kalte Epilimnion und die Temperaturen im Hypolimnion steigen stark und kontinuierlich an (siehe Abbildung 10). Dieser Temperaturanstieg beschleunigt natürlich die Sauerstoffzehrung erheblich. Eine andere Bewirtschaftung über eine epilimnische Entnahme könnte hier eine interessante Option darstellen, um ein kaltes Hypolimnion über den Sommer zu erhalten, das einen größeren Sauerstoffvorrat und geringere Zehrungsraten aufweist.

### 3.4. Messungen im Jahr 2022

Das Jahr 2022 war durch einen sehr heißen Sommer geprägt und lang anhaltende Dürreperioden, die auch zu einer starken Pegelabsenkung führten (Kapitel 3.1). In der ersten Augushälfte wurden maximale Oberflächentemperaturen von deutlich über 25°C gemessen (Abbildung 13/Abbildung 14). In der ersten Septemberwoche, in der die Messungen beendet wurden, war das Gewässer immer noch geschichtet.

Die kontinuierlichen Messungen der Sauerstoffkonzentration mittels Logger erfolgte im Jahr 2022 nur an zwei Tiefen – 10m und 25m ü. Gr. Durch die starke Pegelabsenkung befand sich der Logger 25m ü. Gr. bereits ab Mitte August an der Gewässeroberfläche und zeigte starke diurnale Sauerstoffschwankungen durch massives Algenwachstum. Die unteren 10m des Edersees sind bereits Mitte Juli, d.h. zu Beginn der Messungen, in einem hypoxischen Zustand mit Sauerstoffkonzentrationen < 2.5 mg/L. Ab dem 10. August ist diese Schicht quasi anoxisch.

Die von der WSA durchgeführten Sondenmessungen im Beobachtungszeitraum geben einen besseren Einblick in die Sauerstoffdynamik und Temperaturverteilung. Der Edersee zeigte in diesem Jahr keine eindeutige Unterteilung in Epi-, Meta- und Hypolimnion, sondern das Temperaturprofil war kontinuierlich und folgte näherungsweise einem asymptotischen Verlauf. Durch die fehlende klare Abgrenzung des Metalimnions trat auch kein metalimnisches Sauerstoffminimum wie in 2021 auf. Die Messungen am 06.09.2022 zeigen aber sehr gut, dass während der konvektiven Durchmischung die Sauerstoffkonzentration in der durchmischten Schicht durch die Einmischung anoxischen Wassers

stark absinken. In diesem Fall wurden 5 mg/L gemessen, was zu keiner Mortalität bei Fischen führen sollte. Inwiefern im Zuge der Durchmischung noch geringere Sauerstoffkonzentrationen auftreten bleibt ungewiss.

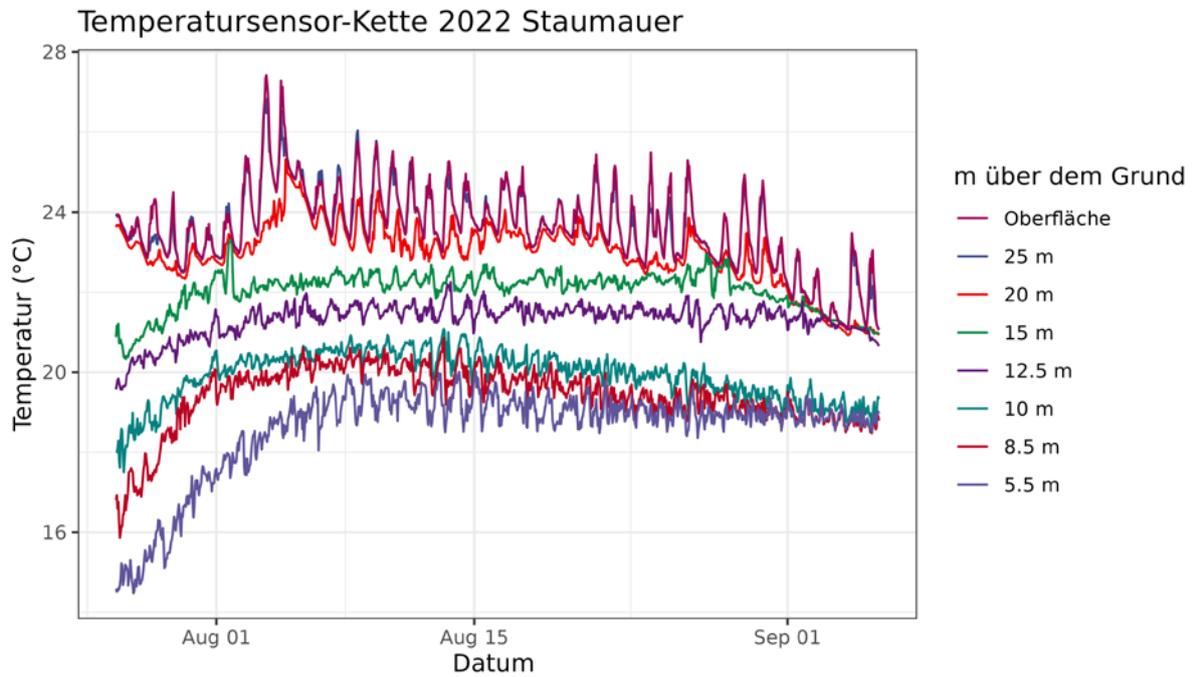


Abbildung 13: Wassertemperaturen im Edersee im Jahr 2022 in verschiedenen Tiefen

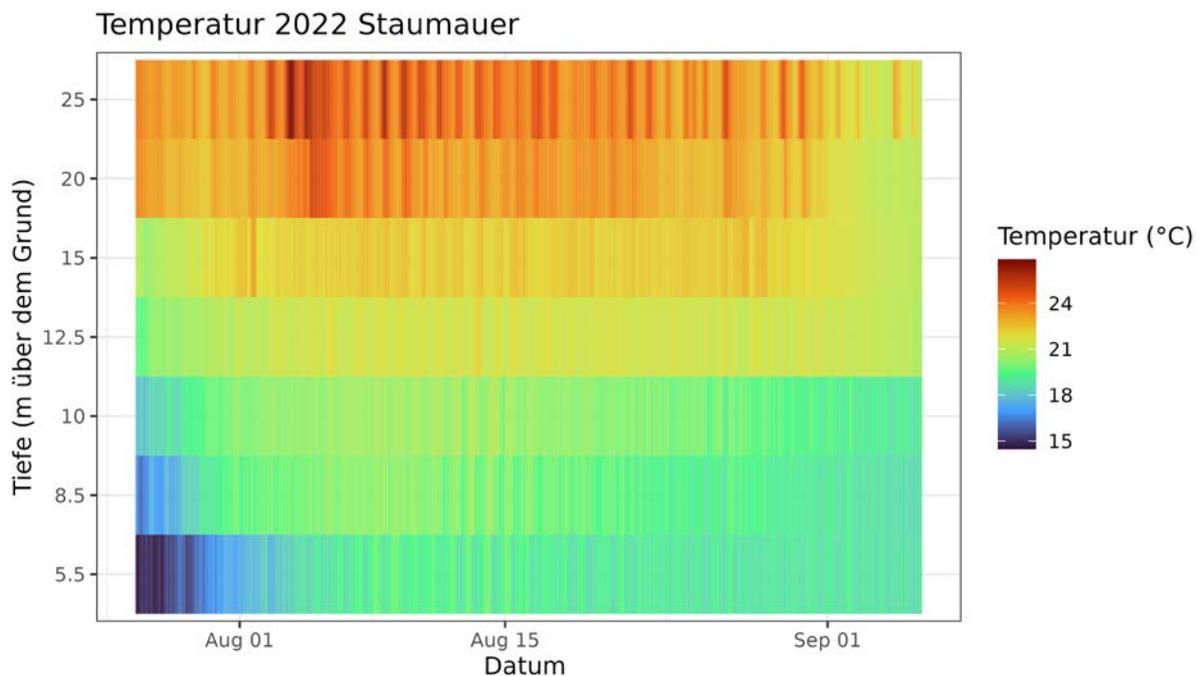


Abbildung 14: Wassertemperaturen aus Abbildung 13 als Farb-Kontourgrafik.

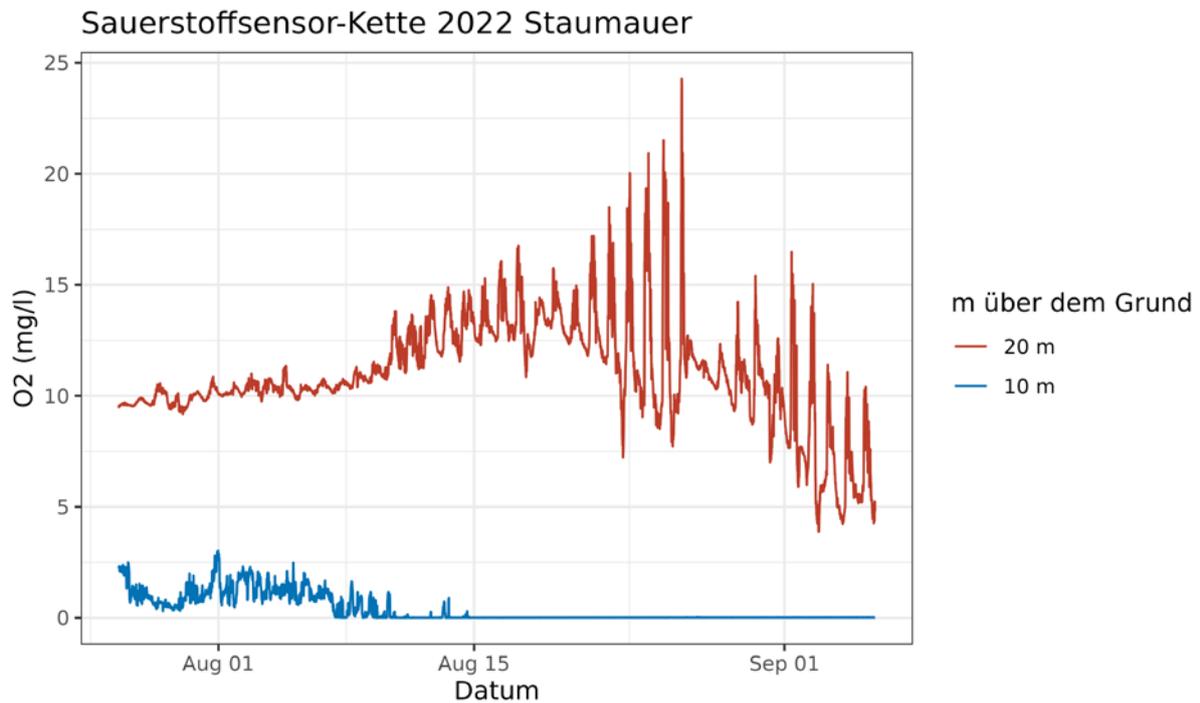


Abbildung 15: Sauerstoffkonzentrationen im Edersee im Jahr 2022 in 10 und 20m ü. Gr.

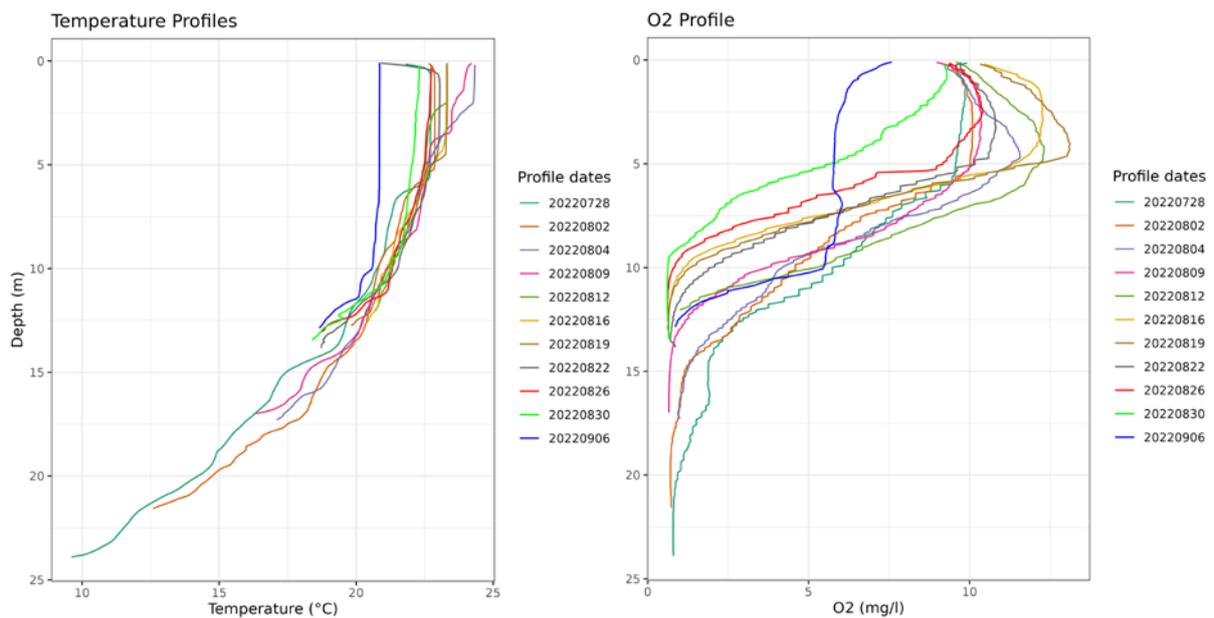


Abbildung 16: Vertikale Temperaturprofile (links) und Sauerstoffprofile (rechts) im Edersee im Jahr 2022 im Zeitraum vom 20.Juli bis 06.September.

#### 4. Fazit

Folgende Ergebnisse und Interpretationen der Messungen der Temperatur- und Sauerstoffdynamik im Edersee im Zeitraum 2020 bis 2022 können wie folgt zusammengefasst werden:

- a) Der Edersee ist ein hocheutrophes Gewässer mit starker Algenentwicklung und häufigen Massenentwicklungen („Algenblüten“), welche dementsprechend hohe Sauerstoffzehrungen im Tiefenwasser hervorrufen.

- b) Durch die hypolimnische Wasserabgabe verliert der Edersee im Laufe des Sommers sein kaltes Hypolimnion und die Wassertemperaturen im Hypolimnion steigen zügig an, was wiederum die Sauerstoffzehrung beschleunigt
- c) Eine andere Bewirtschaftung über eine epilimnische Entnahme könnte hier eine interessante Option darstellen, um ein kaltes Hypolimnion über den Sommer zu erhalten, das einen größeren Sauerstoffvorrat und geringere Zehrungsraten aufweist.
- d) Durch starke Sauerstoffzehrungen im Metalimnion und tiefen Hypolimnion kann ein hypolimnisches Sauerstoffrefugium im oberen Hypolimnion des Edersees entstehen und Fische beheimaten, die das stark aufgewärmte Epilimnion meiden. Wenn sich dieses Refugium später im Sommer durch die voranschreitende Anoxie schließt, entsteht eine gefährliche Situation für die Fische im oberen Hypolimnion. Hiervon sind beispielsweise die großen Zander betroffen, da sie als Barschartige über eine physocliste Schwimmblase verfügen, die für sehr schnelle Druckänderungen nicht ausgelegt ist. Große Individuen reagieren zudem besonders sensibel auf Sauerstoffknappheit, da deren Gasaustausch physiologisch bedingt ineffizienter abläuft als bei kleinen Individuen. Auch Salmoniden sind als kalt-stenotherme Fische mit hohem Sauerstoffbedarf von den Risiken eines Sauerstoffverlustes besonders betroffen.
- e) Ein weiteres Ergebnis der Auswertung der Monitoringdaten ist, dass ein hoher Füllstand im Edersee kein absoluter Garant dafür ist, dass es nicht zu einem Fischsterben bzw. erneuten Zandersterben kommen kann. Im Jahr 2021 gab es bis in den Spätsommer hinein einen hohen Füllstand der Talsperre. Trotzdem kam es im oberen Hypolimnion zu einer für Fische gefährlichen Situation mit geringen Sauerstoffkonzentrationen, wie in Abbildung 9 dargestellt ist.
- f) Für eine genauere Aufklärung der Ursachen von Fischsterben im Edersee oder eine Risikoabschätzung ist ein Monitoring der Schichtungs- und Sauerstoffdynamik zu empfehlen. Idealerweise wären parallel dazu stattfindende Erfassungen der Fischverteilung mittels Echolot. Eine wissenschaftliche Begleitung wäre ebenfalls vorteilhaft

## 5. Literatur

Boegman, L.; Imberger, J.; Ivey, G. N. & Antenucci, J. P. (2003). High-frequency internal waves in large stratified lakes. *Limnology and Oceanography* 48, 895-919

HLNUG 2020, <https://www.hlnug.de/themen/wasser/seen-und-badegewaesser>

Preusse, M.; Peeters, F. & Lorke, A. (2010), Internal waves and the generation of turbulence in the thermocline of a large lake. *Limnology and Oceanography* 55, 2353-2365

## Danksagung:

Wir danken Herrn Boehner und Kollegen von der WSA Edersee für die tatkräftige Unterstützung bei den Messungen und die Durchführung der Sondenmessungen 2022. Dem RP Kassel danken wir für das entgegen gebrachte Vertrauen.