



Wien, am 10.9.2024

An die
Gemeinde Kleinzell im Mühlkreis
z. Hd. Amtsleiter Florian Hofer
Kleinzell 13
A-4115 Kleinzell i. M.

Resilacke – Endbericht O₂-Anreicherung

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	2
Gewässer.....	3
Ausgangslage.....	3
Belüftung.....	4
Monitoring.....	5
Schwefelwasserstoff (H ₂ S).....	5
Eisen / Phosphor.....	6
Phytoplankton / Trübe.....	6
Sauerstoff.....	8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Situation Sauerstoff vor der Belüftung, Herbst 2018.....	3
Abbildung 2: Lage der Einrichtungen zur Belüftung.....	5
Abbildung 3: Vergleich der Tiefenprofile der Gesamphosphorkonzentrationen.....	6
Abbildung 4: Tiefenprofil der Trübe.....	7
Abbildung 5: Planktomyces bekefii, stark vererzt.....	8
Abbildung 6: Logarithmisch gemittelte Darstellung der Tiefenprofile (jeweils Frühjahrsmonitoring)	9



Zusammenfassung

Im Tiefenbereich der Resilacke wurden Elektroden verlegt, an welchen reiner Sauerstoff durch elektrolytische Aufspaltung von Wasser kontinuierlich freigesetzt wird. Dieser Sauerstoff löst sich im Wasser und belüftet somit das Tiefenwasser. Im Rahmen eines Monitorings konnten positive Effekte der Maßnahme nachgewiesen werden.

Bei den ersten beiden Probenahmen vor Start der Belüftung ist ein starker Geruch nach Schwefelwasserstoff (H_2S) im Tiefenwasser aufgefallen, nach der Belüftung über den ersten Winter war dieser komplett abgebaut. H_2S ist ein starkes Gift für die meisten Lebewesen, insbesondere für Plankton. Verschiedene Blaualgen kommen jedoch mit hohen Konzentrationen relativ gut zurecht, woraus eine unerwünschte Begünstigung der Cyanobakterien resultiert. Schwefelwasserstoff tritt bei sehr niedrigem Redoxpotential auf und ist die erste Verbindung die bei Sauerstoffeintrag zu Sulfat oxidiert und somit entgiftet wird.

Das nächst höhere Redoxpotential ist durch Eisenverbindungen ($Fe(II)/Fe(III)$) definiert. Vor der Belüftung war nur zweiwertiges Eisen ($Fe(II)$) vorhanden, welches im Tiefenwasser mit einem Wert von einigen mg/l bestimmt wurde. Durch die Belüftung erfolgt eine Oxidation zu dreiwertigem Eisen ($Fe(III)$). Dieses bildet flockig ausfallendes Eisenhydroxid, welches längere Zeit im Wasser schwebt und dabei in der Lage ist, Orthophosphat zu binden. Eine deutliche Verringerung des Phosphorgehaltes im Wassers der Resilacke konnte dokumentiert werden. Die Phosphorlimitierung ist ein wesentlicher Faktor zur Vermeidung von Algenblüten.

Der dritte wesentliche Erfolg hat sich durch die Etablierung eines stabilen Phytoplanktons im Epilimnion eingestellt. Dies wurde im Monitoring unter anderem über die Messung der Trübe dokumentiert.

Erst wenn sowohl Schwefelwasserstoff als auch Eisen und andere organische Verbindungen oxidiert worden sind, erhöht sich der im Wasser gelöste messbare Sauerstoff. Eine Sauerstofferhöhung in der Größenordnung von 2-3 mg/l konnte nachgewiesen werden.

Auf Grund der großen Menge an organischem Material am Boden der Resilacke ist zur Aufrechterhaltung der positiven Entwicklung ein Weiterbetrieb der Sauerstoff-Anreicherung erforderlich.



Gewässer

Die Resilacke ist als ehemaliger Steinbruch in seiner Morphologie in der Region eher untypisch gestaltet. Eine vergleichsweise große Tiefe (18 m) im Verhältnis zu Oberfläche (ca. 8000 m²) sowie die Umrahmung durch drei steil aufragende Felswände (geringer Windeinfluss) führen u. a. zur Ausbildung einer über die meiste Zeit des Jahres stabile Tiefenwasserschichtung mit entsprechenden Sauerstoffzehrungen durch den Abbau der laufenden Einträge. Die Ufer sind extrem steil, es befinden sich ganze abgestürzte Bäume im Gewässer. In den tieferen Bereichen der Resilacke ist das Sediment bis an die Oberfläche sauerstofffrei (Faulschlamm). Zudem gibt es eine Mehrfachnutzung (Badebetrieb, Erholung, Fischerei).

Ausgangslage

Am 13.10.2022 wurde im Auftrag der Gemeinde Kleinzell eine innovativ Anlage zur Sauerstoffanreicherung der Resilacke auf dem Gebiet der Gemeinde installiert und in Betrieb genommen. Anlass für die Errichtung waren im Zuge von routinemäßig durchgeführten Untersuchungen wiederholt auftretende Blüten von Blaualgen (Cyanobacteria) und damit verbundene behördlich verordnete Badeverbote in der Resilacke. Bei einem Monitoring 2018 wurde festgestellt dass das Hypolimnion der Resilacke praktisch sauerstofffrei ist, wodurch es zu massiven Rücklösungen von Nährstoffen gekommen ist.

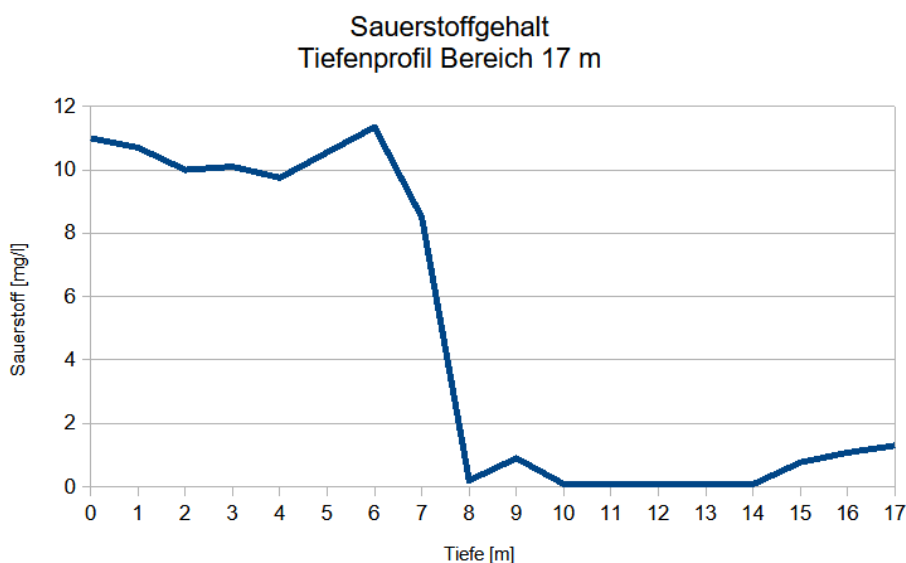


Abbildung 1: Situation Sauerstoff vor der Belüftung, Herbst 2018

Bei der Erhebung des Ist-Zustandes vor der Belüftung im Mai 2022 wurde diese Situation bestätigt.

Belüftung

Es wurde das Tiefbecken (Tiefe ca. 17 m) im südöstlichen Bereich der Resilacke mit 3x3 Elektrodenpaaren zu je 20 m Länge ausgestattet, welche über drei Zuleitungen mit Sicherheitskleinspannung versorgt werden. Die Menge an eingebrachtem Sauerstoff ist dermaßen berechnet, dass das 2018 erhobene Sauerstoff-Defizit theoretisch innerhalb eines Jahres ausgeglichen wird. Der tatsächliche Energiebedarf der Anlage beträgt rund 0,5 Kilowatt. Es werden (in Abhängigkeit von Leitfähigkeit und Temperatur des Tiefenwassers) ca. 150 Liter reiner Sauerstoff pro Stunde produziert. Die Anlage ist für Dauerbetrieb konzipiert und wurde im Versuchszeitraum von Oktober 2022 bis April 2024 durchgehend betrieben.

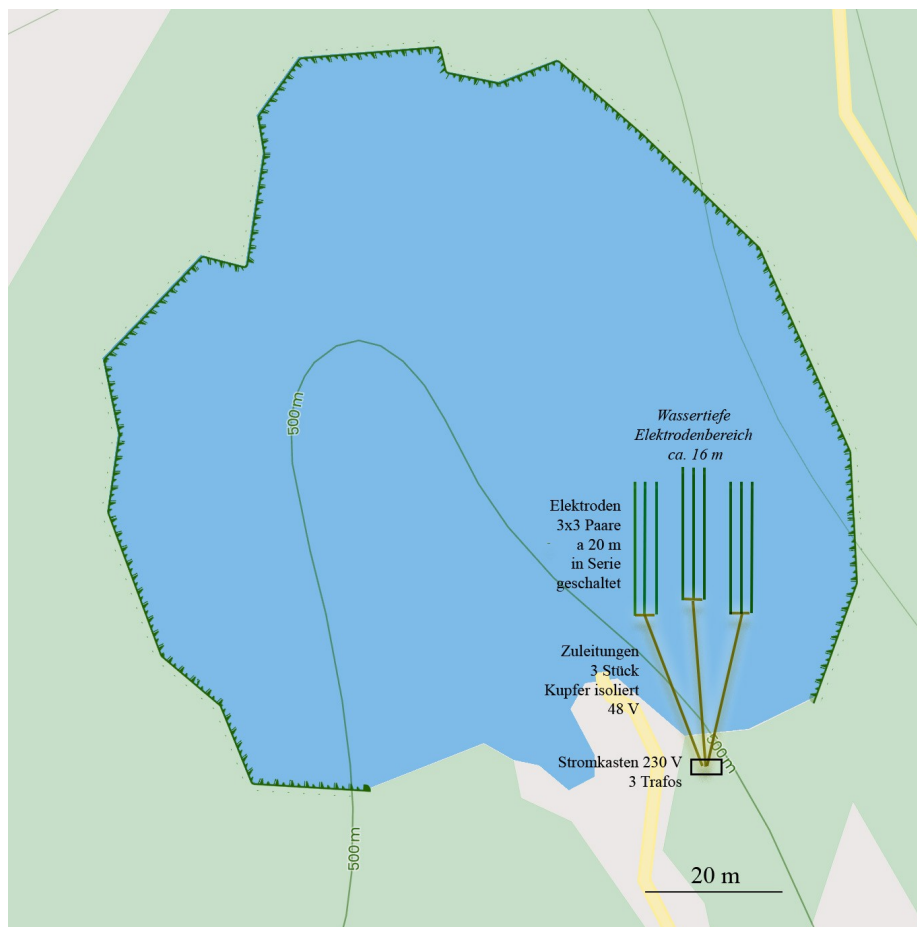


Abbildung 2: Lage der Einrichtungen zur Belüftung

Monitoring

Schwefelwasserstoff (H₂S)

Im September 2018 war der Geruch nach Schwefelwasserstoff ab einer Tiefe von 8 m wahrnehmbar, im Mai 2022 ab einer Tiefe von 11 m. Bereits beim ersten Monitoring 6 Monate nach Inbetriebnahme der Belüftung (Monitoring April 2023) war in keiner Tiefe mehr H₂S feststellbar. Auch in den folgenden Monitorings war in keiner Tiefe Schwefelwasserstoff nachzuweisen.

Anmerkung: Schwefelwasserstoff ist schon in sehr geringen Konzentrationen am Geruch eindeutig feststellbar. Die Geruchsschwelle liegt bei 0,5 bis 2 Mikrogramm pro Kubikmeter. Da eine chemische Nachweismethode keine zusätzlichen Informationen liefert, konnte darauf verzichtet werden.



Eisen/Phosphor

Vor der Inbetriebnahme der Sauerstoffanreicherung im Mai 2022 wurde wasserlösliches Eisen gemessen, wobei im Tiefenwasser bei 15 m 0,2 mg/l Fe, auf 16 m und 4 mg/l Fe festgestellt wurden. Wasserlöslich ist Eisen nur in reduzierter Form, also als Fe(II). In dieser Form ist Eisen nicht in der Lage Orthophosphat zu binden. Das Auftreten von wasserlöslichem Eisen ist daher ein sicherer Zeiger für erfolgte Nährstoffrücklösung aus Eisenphosphaten aus dem Sediment. Bei den weiteren Monitorings wurde kein wasserlösliches Eisen mehr gemessen. Gleichzeitig hat sich wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist, die Konzentration an Totalphosphor im Hypolimnion mit Inbetriebnahme der Belüftung kontinuierlich reduziert.

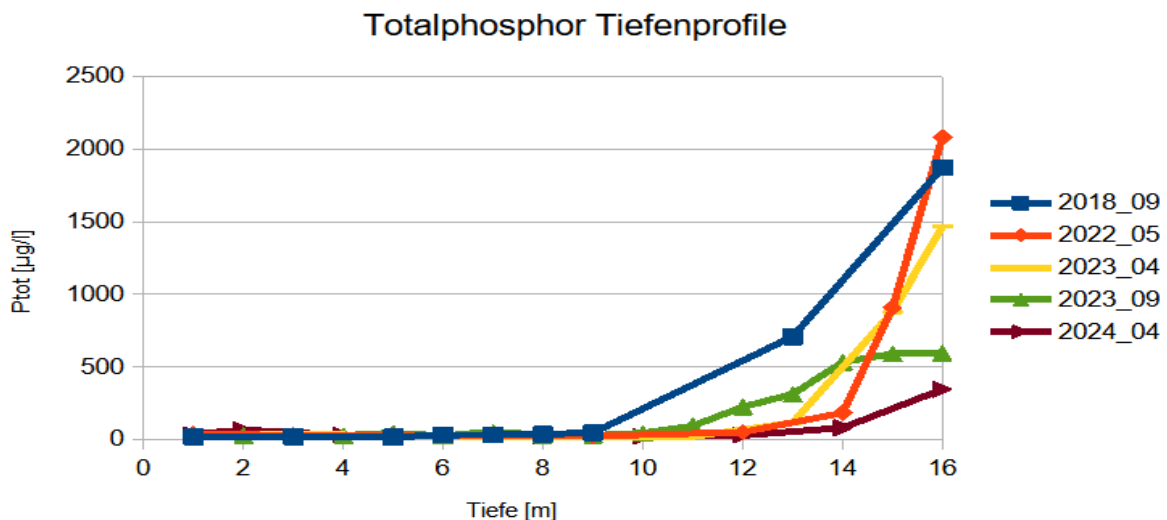


Abbildung 3: Vergleich der Tiefenprofile der Gesamtphosphorkonzentrationen

Phytoplankton / Trübe

Im Epilimnion wird die Trübe durch die Abundanz des Phytoplanktons bestimmt. In der Abbildung 4 ist zu sehen dass beim Monitoring vor inbetriebnahme der Sauerstoffanreicherung bis zu 3 m Tiefe praktisch kein Phytoplankton vorhanden war. Dies hat auch die mikroskopische Auswertung bestätigt. Dies ist besonders ungewöhnlich da in dieser Schicht Phosphorgehalte von bis zu 50 µg/l P_{tot} gefunden wurden. Bei derartigen Phosphor-Gehalten wäre eine gute Entwicklung des Phytoplanktons zu erwarten, die Einstellung dieses Gleichgewichts wurde offensichtlich durch eine Hemmung verhindert. Es kann davon ausgegangen werden dass die Hemmung mit dem Auftreten von H_2S oder



von Blaualgentoxinen im Zusammenhang steht.

Die selbe Kurve zeigt in der Tiefe bei 10 und 13 Metern hohe Trübewerte. Im mikroskopischen Bild konnten diese als Massenvermehrung von Cyanobakterien aus der Gruppe Oscillatoria identifiziert werden. Beim ersten Frühjahrsmonitoring nach Inbetriebnahme der Anlage zeigte sich ein dem Nährstoffangebot entsprechendes Phytoplankton, welches von mehreren Arten von Grünalgen (dominant: *Chlorella sp.*, *Synedra agg.*, *Oocystis sp.*), gebildet wurde. Auch die weiteren Untersuchungen zeigten ähnliche Bilder, erwartungsgemäß mäßige Trüben im Epilimnion, eine Abnahme in der Tiefe und schließlich einen leichten Anstieg unter 10 m.

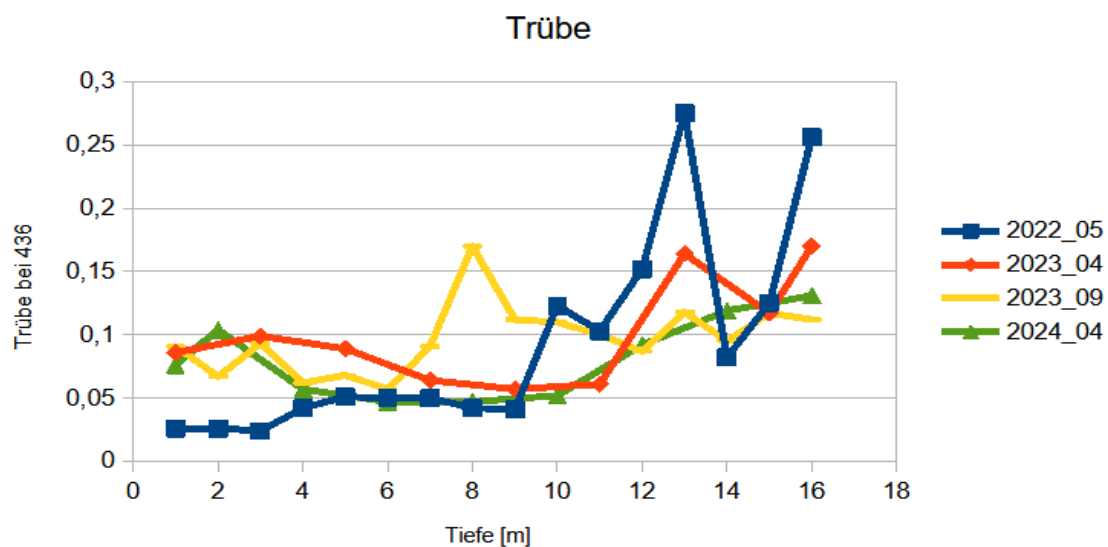


Abbildung 4: Tiefenprofil der Trübe

Ein interessantes Detail zeigt die Kurve vom September 2023 mit einem deutlichen Peak in der Tiefe von 7-9 Metern. Dieser Anstieg der Trübe konnte im Mikroskop als Massenvorkommen des Bakteriums *Planktomyces bekefii* identifiziert werden. Diese Gattung ist in der Lage Eisen anzulagern und sich so selbst mit Eisenoxid zu inkrustieren.

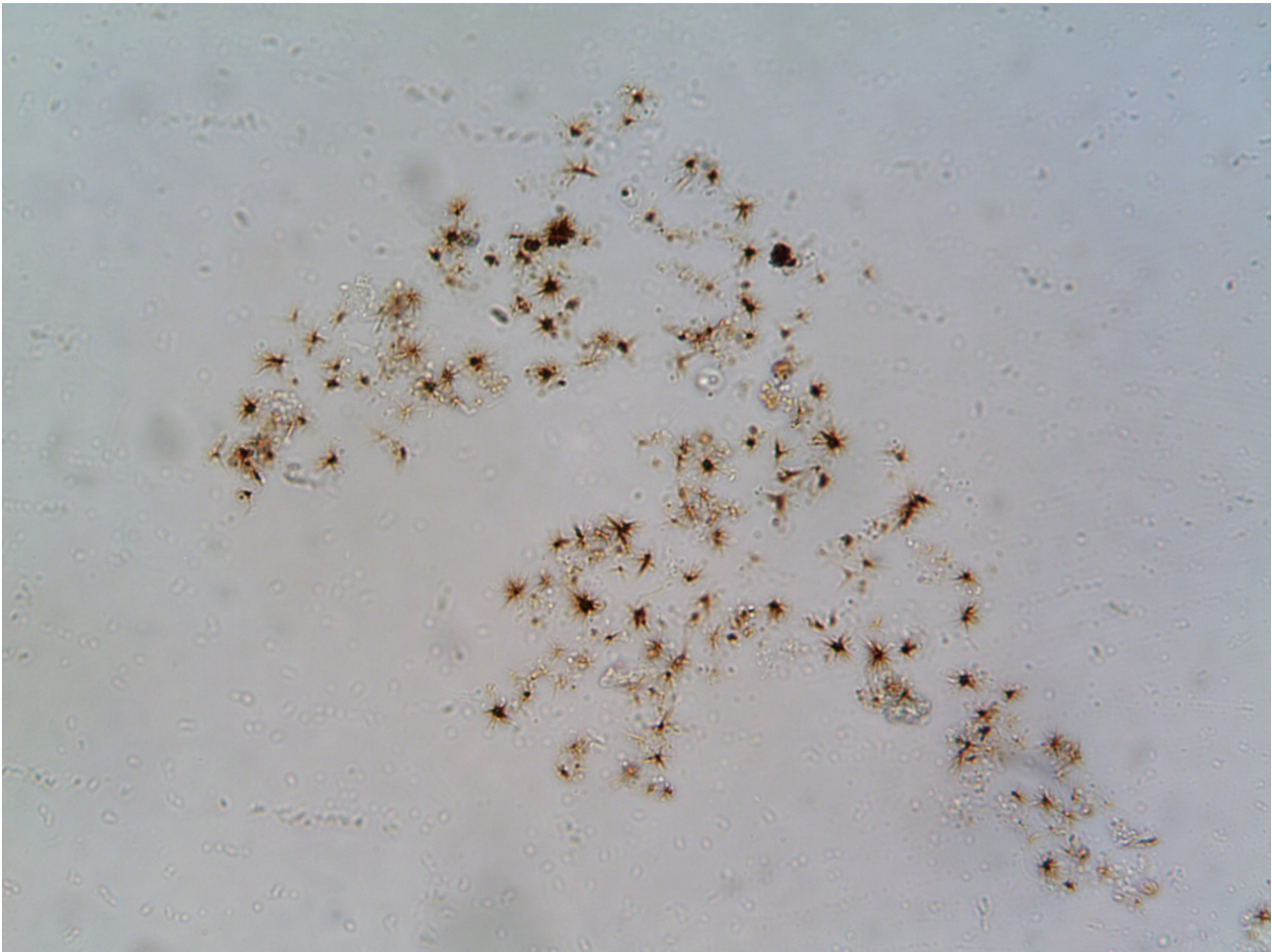


Abbildung 5: *Planktomyces bekefii*, stark vererzt

Sauerstoff

Da der Großteil des eingebrachten Sauerstoffes bereits für Oxidationsreaktionen im Tiefenwasser (Eisen, Schwefelwasserstoff, Kohlenstoffverbindungen) aufgebraucht wird, ist in den Messungen nur jener Sauerstoff sichtbar, der im Wasser gelöst, aber in der Tiefe nicht verbraucht wurde. Um den Erfolg der Maßnahme zu dokumentieren ist der gemessene Restsauerstoff weniger bedeutend. Dennoch kann man indirekt eine Aussage treffen, wenn sich nach Umsetzung aller Oxidationsprozesse der Sauerstoffgehalt in der gesamten Wassersäule tendenziell erhöht. Man kann dann davon ausgehen, dass ausreichend Sauerstoff für die zu erwartenden Oxidationsprozesse und damit die gewünschte Wirkung eingebracht wurde. Der Abbildung 6 kann man eine mittlere Erhöhung des Wertes für gelösten Sauerstoff bei den Frühjahrsmonitorings von ca. 2-3 mg/l deutlich erkennen.

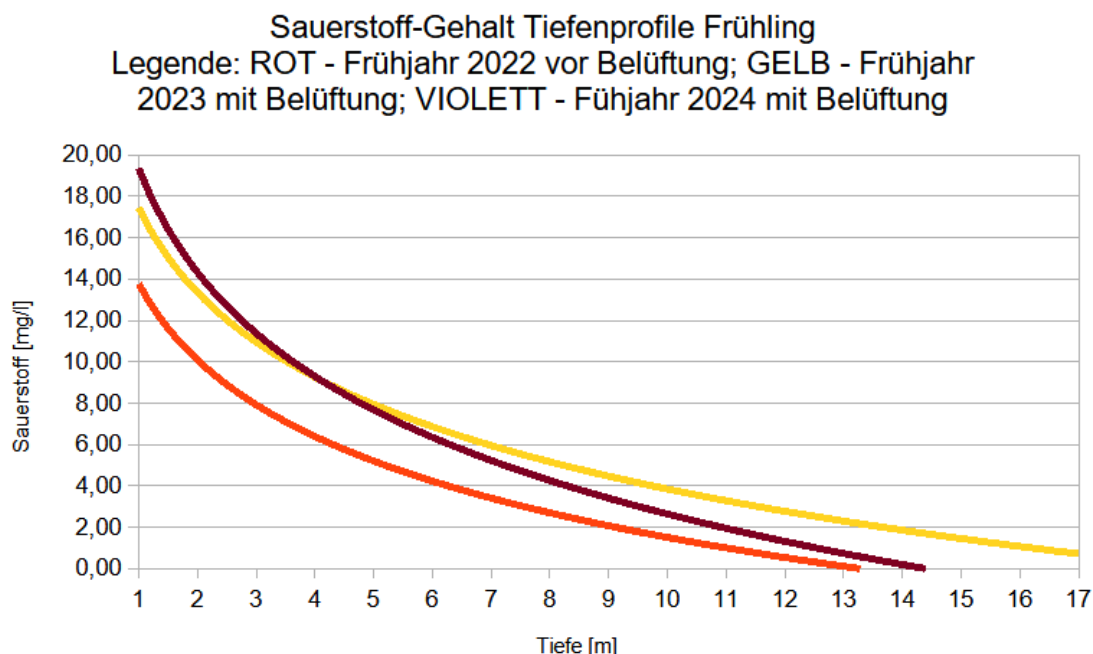


Abbildung 6: Logarithmisch gemittelte Darstellung der Tiefenprofile (jeweils Frühjahrsmonitoring)

Ausblick

Nach 2 Saisonen ohne Badeverbote oder nennenswerte Blaualgenblüten kann davon ausgegangen werden, dass die künstliche Sauerstoffzufuhr eine geeignete Maßnahme darstellt, um die Badewasserqualität zu stabilisieren. Das Konzept ist als dauerhafte Maßnahme konzipiert. Im Falle des Ausfalls der Belüftung bzw. einer Reduktion der Sauerstoffzufuhr (z. B. Leistungsabfall oder Intervallschaltung), ist zu erwarten, dass das Gewässer sich nach einiger Zeit wieder dem ursprünglichen Zustand annähert oder in diesen zurückfällt. Eine regelmäßige Überprüfung der Anlage inkl. Monitoring des Gewässerzustands wäre daher sinnvoll, um rechtzeitig auf Veränderungen reagieren zu können.

Mit freundlichen Grüßen,
Dr. Heinz Jaksch, Biologisches Labor Wien-Ost
Mag. DI Wolfgang Wesner, wissenschaftlicher Berater