

Der Regierungsrat des Kantons Thurgau an den Grossen Rat

Frauenfeld, 13. Mai 2025
Nr. 265

24	EA 54	136
----	-------	-----

Einfache Anfrage von Reto Ammann vom 19. März 2025 „Kippt der See und geht dem Untersee schon bald der Sauerstoff aus?“

Beantwortung

Sehr geehrter Herr Präsident
Sehr geehrte Damen und Herren

Der Untersee ist heute ein sehr sauberer, nährstoffarmer See, der während der Monate August bis November natürlicherweise über Seegrund sauerstoffarm (d.h. Sauerstoffgehalt kleiner 4 mg/L) ist. Die zunehmende Erwärmung der Lufttemperatur spiegelt sich in den zunehmend höheren Wassertemperaturen. In heissen Sommern wie 2018 oder 2022 ist die sauerstoffarme Zone im September von natürlicherweise ca. 17.5 m Wassertiefe auf 12.5 m Wassertiefe hochgewandert. Dies wird durch die natürlichen Mischungsprozesse (Zirkulation), typischerweise im Herbst, wieder ausgeglichen. Anders als der Obersee, der als Folge der steigenden Wassertemperaturen seltener zirkuliert, findet im Untersee wegen der deutlich geringeren Wassertiefe jährlich im Herbst/Winter eine vollständige Zirkulation des Seewassers statt. Dieser Prozess ist essenziell, da während der Zirkulationsphase Sauerstoff in die Tiefe transportiert und somit das Sauerstoffdefizit wieder ausgeglichen wird.

Solange diese Vollzirkulation im Untersee weiter stattfindet, gibt es keinen Grund zur Annahme, dass dem Untersee der Sauerstoff ausgeht. Für die Gewässerbiologie bedeutet die sauerstoffarme Periode eine vorübergehende Reduktion ihres Lebensraums, da sie in sauerstoffreichere Zonen ausweichen müssen. Ein Fischsterben infolge der natürlichen periodischen Sauerstoffarmut konnte bisher nicht festgestellt werden.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden die Zusammenhänge nachfolgend detaillierter am Beispiel des Rheinsees aufgezeigt.

Der Obersee und der Untersee (bestehend aus Gnaden-, Zeller- und Rheinsee) bilden gemeinsam den Bodensee. Die beiden Seeteile unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht,

2/5

darunter im Sauerstoffgehalt. Dies wurde am 16. Januar 2025 am letzten Ökologieforum des Fördervereins Seenforschung Bodensee im Referat „Geht dem Bodensee die „Puste“ aus? Warum Sauerstoff für den See so wichtig ist! Der Unterschied zwischen Ober- und Untersee“ im Detail thematisiert.

Seeteil	Seevolumen (km ³)	Zufluss (km ³ /a)	Theoretische Aufenthaltszeit des Wassers	Fläche (km ²)	Tiefe (m)
Obersee	47.7	11	4.3 Jahre	473	250
Untersee	0.83	11	1 Monat	63	45

Tabelle 1: Kennzahlen Ober- und Untersee

Während der Obersee (mit Ausnahme zu Zeiten der höchsten Eutrophierung, also der erhöhten und unerwünschten Versorgung von Gewässern mit Nährstoffen, in den 1970er-Jahren) über Seegrund immer eine ausreichende Sauerstoffversorgung hat, zeigt der Untersee (Rheinsee wie auch Zellersee) aufgrund seiner Beckenform und der massiv geringeren theoretischen Aufenthaltszeit des Wassers (1 Monat versus 4.3 Jahre im Obersee) natürlicherweise eine sommerliche und herbstliche Sauerstoffarmut über dem Seegrund.

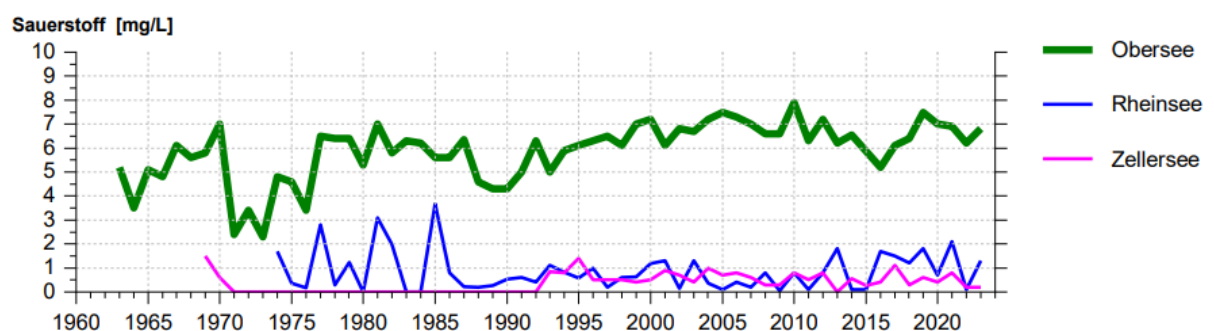


Abb. 1: Minimale Sauerstoffkonzentration über Grund. Für Seen gilt ein ganzjähriges gesetzliches Qualitätsziel von 4 mg/L Sauerstoff über die gesamte Seetiefe. Natürliche Verhältnisse wie im Untersee bleiben vorbehalten.

Dieser auftretende Sauerstoffmangel in den tieferen Wasserschichten des Untersees während der Sommermonate stellt – wie auch bei vergleichbaren Seen – eine jährlich wiederkehrende Erscheinung dar. Diese beruht auf natürlichen Prozessen (thermische

3/5

Schichtung) des Sees und wird beeinflusst z.B. durch klimatisch bedingte Veränderungen (heissere Sommer und mildere Winter als Folge des Klimawandels).

Die thermische Schichtung eines Sees ist dadurch bedingt, dass der See hauptsächlich über die Oberfläche Wärme austauscht, beeinflusst durch die Sonneneinstrahlung und Windereignisse. Die Temperaturen in den tiefen Schichten des Sees sind hingegen das ganze Jahr kalt (im Untersee liegen die Werte zwischen ca. 4 bis 10 °C) und werden durch Mischungsprozesse (Zirkulation) des Sees bestimmt.

Im Winter ist die Temperatur über alle Tiefen im ähnlichen Bereich. Im Frühling beginnt sich das Oberflächenwasser aufzuwärmen. Da wärmeres Wasser eine geringere Dichte als kälteres Wasser besitzt, liegt es oberhalb des dichteren, kälteren Tiefenwassers. Dadurch entsteht eine thermische Schichtung, und der Wasserkörper wird in stabile Schichten unterteilt. Die tieferen, kälteren Schichten erwärmen sich nur sehr langsam, da der vertikale Austausch zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser durch die Dichteunterschiede stark eingeschränkt ist. Dies führt dazu, dass die Sauerstoffkonzentration im Verlauf des Sommers und Herbstes in der Tiefe immer mehr abnimmt und die sauerstoffarme Zone nach oben wandert. In den Sommermonaten ist die Schichtung des Sees am stärksten ausgeprägt. Im Rheinsee liegt die oberflächliche Wassertemperatur im Bereich von 20 bis 25 °C, während sie über Grund bei 8 bis 10 °C liegt. Im Herbst kühlt sich das Wasser an der Oberfläche ab, und der Mischungsprozess (Zirkulation) mit den tieferen Wasserschichten setzt ein. Je nach Temperaturverlauf und Häufigkeit durchmischender Windereignisse setzt die vollständige Durchmischung des Rheinsees ab November bis Ende Jahr ein.

Die langjährigen Messungen des Amtes für Umwelt in Zusammenarbeit mit der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) zeigen diese periodische Erscheinung im Rheinsee auf: Ab August bis in den November fällt die Sauerstoffkonzentration über Seegrund natürlicherweise auf unter 4 mg/L (siehe Abbildung 2, dunkelorange Bereiche), wobei ab November bis zur eintretenden Seenzirkulation zwischen 0 bis 2 mg/L Sauerstoff vorhanden ist.

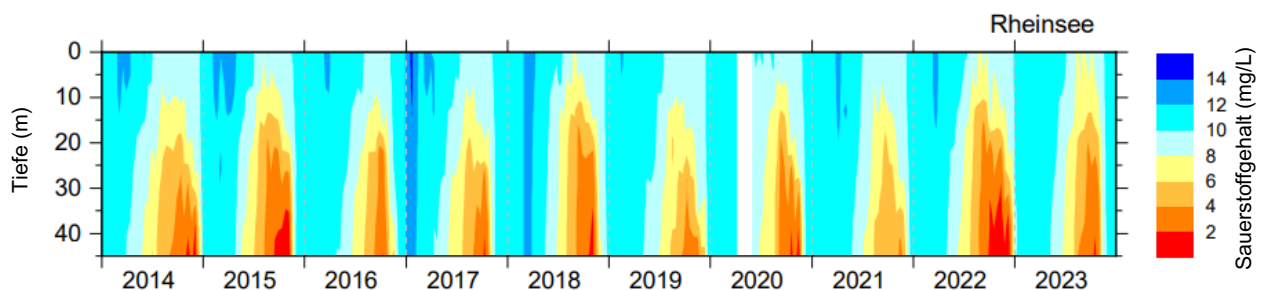


Abb. 2: Räumlich und zeitlicher Jahresverlauf der Sauerstoffkonzentration im Rheinsee

4/5

Neben den natürlichen Prozessen (thermische Schichtung) beeinflussen auch klimatisch bedingte Veränderungen die Sauerstoffversorgung des Sees. Betrachtet man die Zeiträume seit der Gesundung des Untersees, d.h. ca. ab Mitte der 1990er-Jahre, fällt auf, dass die sauerstoffarme Zone (Sauerstoffgehalt kleiner 4 mg/L) im September im Bereich von rund 17.5 m Wassertiefe lag. Als Folge der steigenden Wassertemperaturen während heissen Sommern ist die sauerstoffarme Zone in den Jahren 2018 und 2022 bis auf 12.5 m Wassertiefe hinaufgewandert (3.6 mg/L Sauerstoff im Jahr 2018 und 1.3 mg/L im 2022).

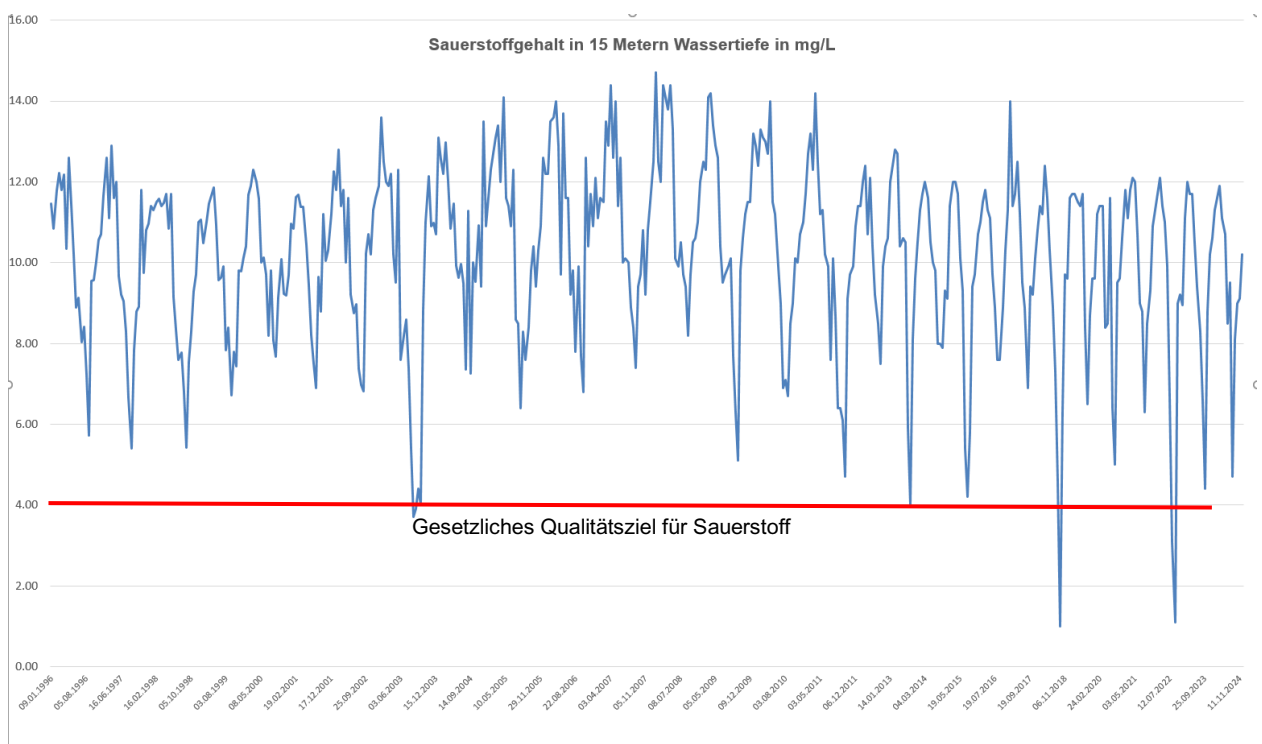


Abb. 3: Jahresverlauf der Sauerstoffkonzentration im Rheinsee in 15 m Wassertiefe

Mit zunehmenden Sommertemperaturen erhöht sich u.a. auch die biologische Aktivität eines Sees (z.B. das Algenwachstum). Sterben die Organismen ab, sinken sie zum Seegrund ab und werden auf ihrem Weg in die Tiefe zersetzt. Dieser Prozess bedarf Sauerstoffs. In heissen Sommern verschärft sich somit das Sauerstoffdefizit in der Tiefe.

Im Vordergrund steht deswegen die weitere Beobachtung der Sauerstoffentwicklung des Untersees. Diese erfolgt in Zusammenarbeit mit der IGKB, d.h. auch mit einer Vertretung aus Baden-Württemberg. Dazu hat das Amt für Umwelt im Mai 2024 eine Messboje auf dem Untersee installiert, die hochaufgelöst verschiedenste Parameter, darunter

5/5

auch den Sauerstoff, misst. Diese Daten sollen längerfristig ergänzende Hinweise geben, welchen Einfluss die Temperatur und die Klimaerwärmung oder auch die Quaggamuscheln auf die Sauerstoffverhältnisse im Untersee haben.

Frage 1: Gibt es ökonomisch vertretbare Möglichkeiten, im Sommer die Seewasser-Durchmischung zu fördern, um ein mögliches Kippen des Untersees über die kommenden Jahre zu verhindern?

Wie einleitend festgehalten, besteht nach aktuellem Wissensstand keine Gefahr des „Kippens“ des Untersees. Technische Massnahmen sind deshalb aus fachlicher Perspektive nicht nötig.

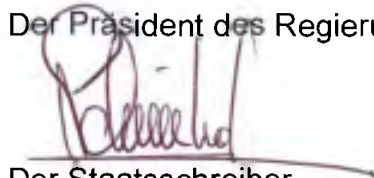
Eine sommerliche Seewasserdurchmischung würde zudem zu einer massiven ökologischen Beeinträchtigung des Sees führen. Genauere Informationen zu alternativen technischen Lösungen sind nicht möglich, da sowohl die Auswirkungen auf die Seenökologie als auch die finanziellen Aufwendungen im Detail evaluiert werden müssten.

Frage 2: Diskutiert die Regierung, ob und wie allenfalls Interregio-Mittel oder neu auch Mittel aus dem im deutschen Bundestag besprochenen riesigen Investitionspaket für das Klima für ein Projekt für mehr Sauerstoff in den grenzüberschreitenden Untersee genutzt werden kann?

Der Regierungsrat sieht gestützt auf die fachlichen Grundlagen derzeit keinen Handlungsbedarf für eine Sauerstoffzufuhr im Untersee.

Wir weisen in diesem Zusammenhang auf das noch laufende, auch von der IGKB unterstützte Interregio-Projekt „SeeWandel Klima – Modellierung der Folgen von Klimawandel und Neobiota für den Bodensee“ (www.Seewandel-klima.org) hin. Dieses hat zum Ziel, aktualisierte Vorhersagen der Folgen des Klimawandels – unter Einbezug der Auswirkungen von invasiven Arten – auf das Ökosystem Bodensee und dessen nachhaltige Nutzung zu liefern. Das Projekt wird eng vom Amt für Umwelt verfolgt.

Der Präsident des Regierungsrates



Der Staatsschreiber

