

Der Ammersee im Einfluss des Klimawandels

Was hat sich bereits verändert? Was kommt auf uns zu?

Dr. Bernhard Ernst, Gewässerökologie & Fischerei, Utting am Ammersee

Klimawandel in Bayern

Es war nicht allein Greta Thunberg und die Fridays-for-Future-Bewegung, die mit ihren Schulstreiks die Problematik des Klimawandels in die Mitte unserer Gesellschaft getragen haben. Es waren auch die Hitzesommer der vergangenen Jahre, mit den vertrockneten Wiesen und Feldern, den massiven Ernteaussfällen und den dramatischen Waldschäden, die uns klimatische Veränderungen konkret sichtbar gemacht haben. Die heißen Sommerwochen haben uns vor Augen geführt: Der Klimawandel ist nicht eine ferne Bedrohung der Eisbären – die Klimaerwärmung ist ein Problem der Gegenwart und sorgt jetzt und auch hier, direkt vor unserer Haustür, für Veränderungen.

Die Weltgemeinschaft hat sich 2015 im Pariser Klimaabkommen dazu verpflichtet, die globale Erwärmung der Erde durch geeignete Maßnahmen auf weniger als 2°C zu beschränken. Eine unter anderem vom Bayerischen Landesamt für Umwelt veröffentlichte Klimaprojektion prognostiziert für Bayern bereits bis 2050 einen Anstieg der Lufttemperatur um +0,8°C bis +1,9°C (1). Dabei werden die Auswirkungen des Klimawandels regional sehr unterschiedlich eingeschätzt. Ob sich eine Region am unteren oder am oberen Ende der Skala bewegt, ist wesentlich von der geographischen Lage und von lokalen Gegebenheiten abhängig.

Klar ist dennoch: Die Temperatur der Atmosphäre wird sich in ganz Bayern sowohl im Sommer als auch im Winter erhöhen. Es wird mehr Hitzetage (>30°C Maximaltemperatur) und weniger Eistage (<0°C Maximaltemperatur) geben. Zudem wird es zu einer Verschiebung der Nieder-

schläge vom Sommer ins Winterhalbjahr kommen. Erwartet werden demzufolge regelmäßige sommerliche Wasserknappheit (so wie in den bereits erwähnten Hitzesommern) und ergiebigere Niederschlagsereignisse im Winter.

Je detaillierter sich die Forschung mit der Klimaproblematik befasst, desto deutlicher wird, wie sich Letztere auf unsere nächste Umwelt und im Besonderen auch auf die heimischen Gewässer auswirken wird. Wir Fischer an den oberbayerischen Seen sollten gewarnt sein, haben unsere Familien doch über Generationen hinweg erfahren müssen, wie schnell bereits kurzfristig auftretende Wetterphänomene und Wetterschwankungen den Fischbestand und die Fischerei beeinflussen können. Ganz gleich, ob es besonders kalte Winter oder extrem warme Sommer waren, ob Extremhochwasser oder Dürren auftraten – so manches Mal waren die Fänge besser, oft genug waren sie merklich schlechter, selten waren die Folgen für alle Fischarten gleich. In jedem Fall verdeutlichen uns diese Erfahrungswerte, wie unmittelbar diese Auswirkungen der Fischerei und wir Fischer vom Klima beeinflusst sind.

Vor diesem Hintergrund sind die aktuellen Befunde und Prognosen dringender Anlass, die Frage zu stellen: Was hat sich in unseren Seen bereits verändert? Welche Veränderungen sind noch zu erwarten? Wie können wir daraus erkennbaren Problemen begegnen?

Der Ammersee wird wärmer!

Als Fischer, der ich nahezu täglich auf dem Ammersee unterwegs bin und als Gewässerökologe, der ich mich darüber hinaus viele Jahre sehr intensiv mit dem Ammer-

see beschäftigt habe, drängt es mich, Antworten auf diese Fragen zu finden. So habe ich mich auf die Suche nach relevanten Daten gemacht, um Licht ins Dunkel zu bringen und um die Zukunft des Sees, die Aussichten für Fisch und Fischerei besser einschätzen zu können.

Aufschluss über diesbezügliche Veränderungen können am Ammersee die Wassertemperaturen geben, die vom Gewässerkundlichen Dienst seit November 1980 unmittelbar am Auslauf des Sees in Stegen aufgezeichnet werden (<https://www.gkd.bayern.de/de/seen/wassertemperatur/isar/stegen-16602008>). Da der See an dieser Stelle oberflächennah in die Amper entwässert, können diese Messwerte näherungsweise als Maß für die Temperatur der bewegten, oberen Wasserschicht (vergleichbar dem Epilimnion) angenommen werden.

Betrachtet man den Verlauf dieser Wassertemperaturen (Tagesmittelwerte), so zeigt sich, dass diese seit 1980 bereits um etwa 2,7°C (also 29%) von im Mittel 9,3°C auf heute etwa 12°C angestiegen sind (vgl. Abb. 1). Weil die Wassertemperatur der Ammer (die Amper bringt etwa drei Viertel des dem See zulaufenden Wassers) zuletzt mit nur 0,1°C in 10 Jahren angestiegen ist, scheint die Erwärmung dieser oberflächennahen Wasserschicht wesentlich durch die Erwärmung der den See umgebenden Atmosphäre bedingt (vgl. <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/wassertemperatur/isar/weilheim-16613004>).

Was die Temperaturentwicklung der Atmosphäre betrifft, wurden für den Ammersee und sein unmittelbares Umland zuletzt zwei Klimabilanzen veröffentlicht, die jeweils auf Daten des Deutschen Wetter-

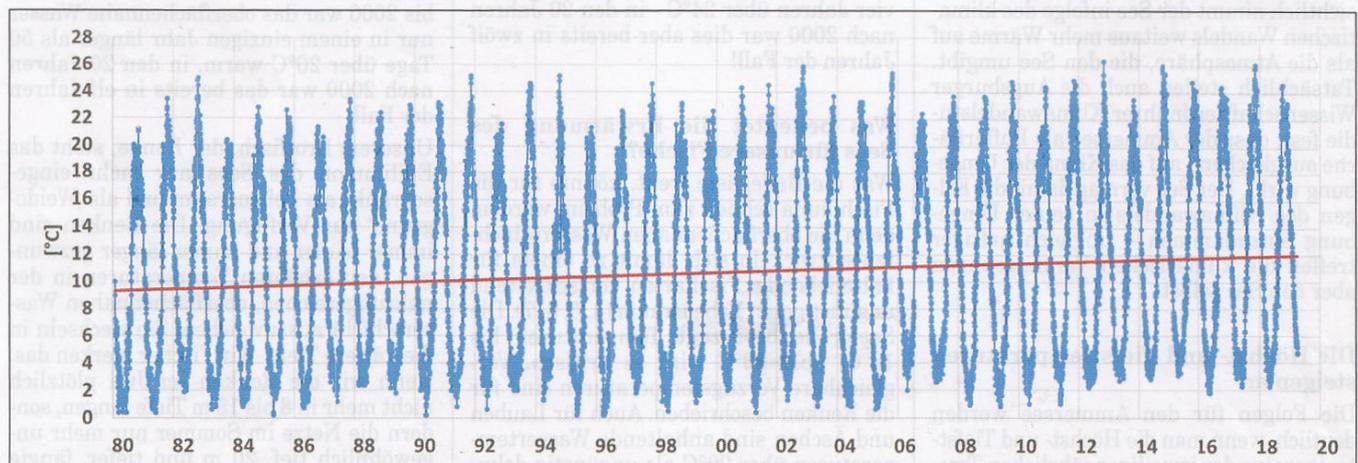


Abb. 1: Der Verlauf der Wassertemperatur (Tagesmittelwerte) am Ammersee-Auslauf in Stegen seit Ende 1980. Die Messwerte können als Maß für die Temperatur der bewegten, oberen Wasserschicht betrachtet werden. Im Trend (rote Linie = lineare Regression) ist diese Wassertemperatur in den letzten 40 Jahren um etwa 2,7°C (also 29%) von durchschnittlich 9,3°C auf heute etwa 12°C angestiegen

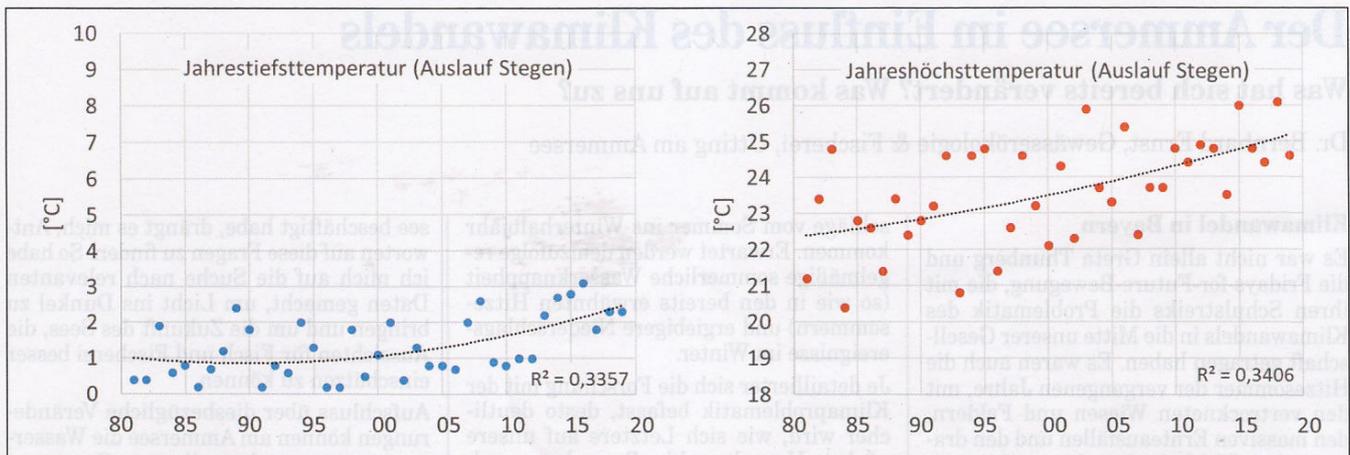


Abb. 2: Jahrestiefsttemperaturen (links) und Jahreshöchsttemperaturen (rechts) seit Ende 1980 am Auslauf* des Ammersees in Stegen. Im Trend (gepunktete Linien = polynomische Regression) liegt die Jahrestiefsttemperatur dort heute etwa 1,2°C über den Jahrestiefsttemperaturen zu Beginn der 80er Jahre, die Jahreshöchsttemperatur liegt mit etwa 2,5 °C über der Jahreshöchsttemperatur zu Beginn der 80er Jahre

* die Wassertemperatur am Auslauf kann näherungsweise als Maß für die obere Wasserschicht des Sees herangezogen werden

dienstes (DWD) fußen. Das Bayerische Landesamt für Umwelt zeigt in der Veröffentlichung „Der Klimawandel in Bayern – Auswertung regionaler Klimaprojektionen“ (2), dass die Jahresmitteltemperatur der Atmosphäre im Einzugsgebiet der Isar (zu dem auch der Ammersee und dessen Zuläufe gehören) in der Tat zwischen 1931 und 2010 schon um 1,2°C von 7°C auf 8,2°C angestiegen ist. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt ein an der Universität Augsburg ansässiges Forscherteam um Prof. Dr. Harald Kunstmann in der „Klimawandelstudie für den Landkreis Landsberg“ (3). So ist es beispielsweise auch knapp 20 km südwestlich des Ammersees, an der DWD-Station Hohenpeißenberg, seit 1781 um 1,55°C wärmer geworden.

Stellt man die Erwärmung von See und See-umgebender Atmosphäre gegenüber, fällt auf, dass sich die oberflächennahe Wasserschicht im Ammersee allein über die letzten 40 Jahre mehr als doppelt so stark erwärmt hat wie die Atmosphäre während der letzten 80 Jahre. Ganz offensichtlich nimmt der See infolge des klimatischen Wandels weitaus mehr Wärme auf als die Atmosphäre, die den See umgibt. Tatsächlich stellen auch die Augsburger Wissenschaftler in ihrer Klimawandelstudie fest, dass der Ammersee als Pufferfläche ausgleichend auf das Klima der Umgebung wirkt. Der See vermag damit die Folgen des Klimawandels in seiner Umgebung einzudämmen – ungleich heftiger treffen die klimatischen Veränderungen aber den See selbst.

Die Höchst- und Tiefsttemperaturen steigen an

Die Folgen für den Ammersee werden deutlich, wenn man die Höchst- und Tiefsttemperatur des jeweiligen jährlichen Temperaturverlaufs betrachtet. So liegt die Jahrestiefsttemperatur im See (besseren an der Wassertemperatur am Auslauf Stegen) heute tendenziell etwa 1,2°C über den

Jahrestiefsttemperaturen zu Beginn der 80er Jahre (vgl. Abb. 2). In den 20 Jahren bis 2000 erreichte die Jahrestiefsttemperatur noch in zwölf Jahren Temperaturen unter 1 °C, in den 20 Jahren nach 2000 nur mehr in sechs Jahren. Dementsprechend war der Ammersee zwischen 1980 und 2000 noch viermal (1985, 1986, 1987 & 1997), nach 2000 nur mehr einmal (2006) mit einer geschlossenen Eisdecke bedeckt.

Noch deutlicher werden die Veränderungen, wenn man nur die Jahreshöchsttemperaturen heranzieht. Nach 2000 lag die Jahreshöchsttemperatur (gemäß Temperatur Auslauf Stegen) in keinem Jahr mehr unter 22°C. Tendenziell liegt die Jahreshöchsttemperatur in der oberflächennahen Wasserschicht heute mit etwa 2,5 °C deutlich über der Jahreshöchsttemperatur zu Beginn der 80er Jahre (vgl. Abb. 2). Dabei erreichte die mittlere Tagestemperatur im August 2003 schon 25°C und im Juli 2015 erstmals sogar 26°C. Von 1980 bis 2000 lag die Jahreshöchsttemperatur lediglich in vier Jahren über 24°C - in den 20 Jahren nach 2000 war dies aber bereits in zwölf Jahren der Fall!

Was bedeutet die Erwärmung des Sees für unsere Fische?

Was die Badegäste freut, könnte für die Fischfauna schnell zum Problem werden, denn die oberflächennahen Wasserschichten entwickeln sich damit zu einem für kälteliebende Fischarten fortschreitend ungünstigeren Lebensraum (4, 5, 6, 7). Die Seeforelle bevorzugt Temperaturen bis 19°C, über 23°C wird es kritisch. Vergleichbare Vorzugstemperaturen sind für die Renken beschrieben. Auch für Lauben und Äschen sind anhaltende Wassertemperaturen über 20°C als ungünstig dokumentiert. Hinzu kommt, dass Wassertemperaturen über 20°C auch den Befall mit bakteriellen Erregern, Parasiten und Viren (z.B. Aal-Herpes-Virus) begünstigen.

Gemessen am Seeauslauf werden Wassertemperaturen von 20°C und mehr bis zur Sprungschicht des Sees jetzt bereits durchschnittlich um den 15. Juni und damit einen Monat früher erreicht als anfangs der 1980er Jahre. 2017 und 2018 wurde die 20°C sogar bereits Ende Mai überschritten – so früh wie in den letzten 40 Jahren nie zuvor!

Hinzu kommt, dass das Wasser auch länger warm bleibt. Betrachtet man die letzten 40 Jahre, so wurden 1992 erstmals über 40 Tage, 1994 erstmals über 50 Tage und 2003 erstmals über 70 Tage mehr als 20°C gemessen. Im Jahr 2018 war der See oberflächennah sogar an 88 Tagen (ein Vierteljahr lang!) über 20°C warm. Anfang der 1980er Jahre war es im Mittel nur etwa 20 Tage über 20°C warm, zuletzt waren es im Trend bereits knapp 75 Tage im Jahr (Abb. 3). Gemessen am Auslauf ist die oberflächennahe Schicht des Ammersees heute damit über 55 Tage (fast zwei Monate!) länger > 20°C warm als noch Anfang der 1980er Jahre. In den 20 Jahren bis 2000 war das oberflächennahe Wasser nur in einem einzigen Jahr länger als 50 Tage über 20°C warm, in den 20 Jahren nach 2000 war das bereits in elf Jahren der Fall.

Unserem Brotfisch, der Renke, steht das Epilimnion des Sees nur mehr eingeschränkt als Lebensraum und als ‚Weidegrund‘ zur Verfügung. Die Renken sind immer früher und immer länger gezwungen, den erhöhten Temperaturen in der nahrungsreichen, oberflächennahen Wasserschicht auszuweichen. Sie wechseln in die kältere Tiefe. Wir Fischer merken das, wenn wir die Renken im Juli plötzlich nicht mehr in 8 bis 15 m Tiefe fangen, sondern die Netze im Sommer nur mehr ungewöhnlich tief, 20 m und tiefer, fängig sind.

In 20 bis 30 m Tiefe finden die Renken nur mehr dort angemessenes Futter, wo sie an Bodennahrung gelangen können. Im über-

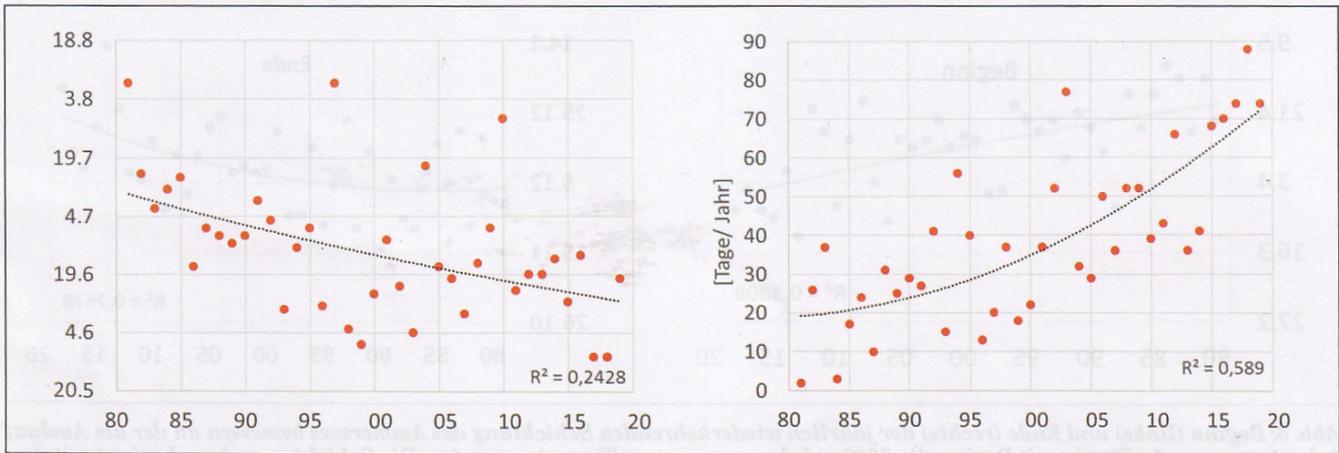


Abb. 3: Beginn (links) und Dauer (rechts) der jährlichen wiederkehrenden Zeitspanne in der am Auslauf* des Ammersees Wassertemperaturen $>20^{\circ}\text{C}$ gemessen wurden. Im Trend (gepunktete Linien = polynomische Regression) werden die 20°C Wassertemperatur heute rund 25 Tage früher erreicht als zu Beginn der 1980er Jahre. Darüber hinaus ist das Wasser inzwischen auch fast 50 Tage länger über 20°C warm

* die Wassertemperatur am Auslauf kann näherungsweise als Maß für die Temperatur in der im Sommer erwärmten und bewegten, oberen Wasserschicht des Sees herangezogen werden.

wiegend sehr tiefen Ammersee sind solche Areale aber nur sehr spärlich vorhanden, weshalb sich der Renkenbestand an diesen Stellen dann oft massiv zusammendrängt (Abb. 4). Diese Situationen wirken sich gewiss nicht positiv auf den Ernährungszustand und die Kondition der Renken aus (6, 8, 9).

Wenn die sich abzeichnenden und dargelegten Trends so weiter anhalten, ist zu befürchten

- dass im Ammersee bereits in den nächsten Jahren regelmäßig Jahreshöchsttemperaturen von 25°C und mehr erreicht werden.
- In etwa 10 Jahren, ab 2030, könnte die durchschnittliche Jahrestiefsttemperatur auf 4°C ansteigen. Eisbildung wäre damit unwahrscheinlich. Weil der See an der Oberfläche nicht mehr regelmäßig unter 4°C abkühlt, würde der See sich in ein überwiegend monomiktisches Gewässer wandeln und im Winter nur mehr einmal durchmischt werden. Gleichzeitig würde die Wassertempera-

tur bis zur Sprungschicht regelmäßig 100 Tage und länger über 20°C liegen und die Jahreshöchsttemperatur würde mutmaßlich auf durchschnittlich 26°C und dann sogar auf über 27°C ansteigen.

- Der See würde ab etwa 2040 bis zur Sprungschicht regelmäßig bereits ab Anfang Juni Temperaturen $>20^{\circ}\text{C}$ aufweisen und u. U. 140 Tage und länger über 20°C warm bleiben.

Es ist absehbar, dass sich die beschriebenen kritischen Phasen für die Renken und alle anderen kälteliebenden Fischarten im See ausweiten werden. Darüber hinaus kann es aber auch schnell für weitere Fischarten schwer werden (4, 5).

Wie verändert die Erwärmung des Sees das aquatische System

Da die Wassertemperatur generell eine der wichtigsten Einflussgrößen auf die Lebensgemeinschaften eines Sees ist, wirken sich die Temperaturveränderungen unweigerlich auf die biologischen Prozesse im Gewässer allgemein aus (10). Der Tempe-

raturanstieg wird die Zusammensetzung und das Aufkommen des Phytoplanktons und des Zooplanktons verändern und auch nachgeordnete trophische Ebenen beeinflussen.

So erreichen beispielsweise die meisten Cyanobakterienarten (Blaualgen) im Gegensatz zu den 'echten' (eukaryonten) Algen maximale Wachstumsraten bei Temperaturen über 25°C (11). In den Seen wird bei Wassertemperaturen $>20^{\circ}$ das Cyanobakterienaufkommen entsprechend begünstigt, was sich nachhaltig auf die Beschaffenheit des Zooplanktons auswirken und damit auch weitreichende negative Folgen auf den Fischbestand haben kann (12).

Es liegt auf der Hand, dass es dann Auswirkungen auf die gesamte Fischpopulation des Sees geben wird und nicht nur einzelne Fischarten betroffen sein werden, weil ihre Vorzugstemperaturen überschritten werden. Fische sind wechselwarme Organismen; neben indirekten Effekten, etwa durch den eben beschriebenen Einfluss auf das Fischnährtieraufkommen, ist grundsätzlich vor allem auch ein direkter

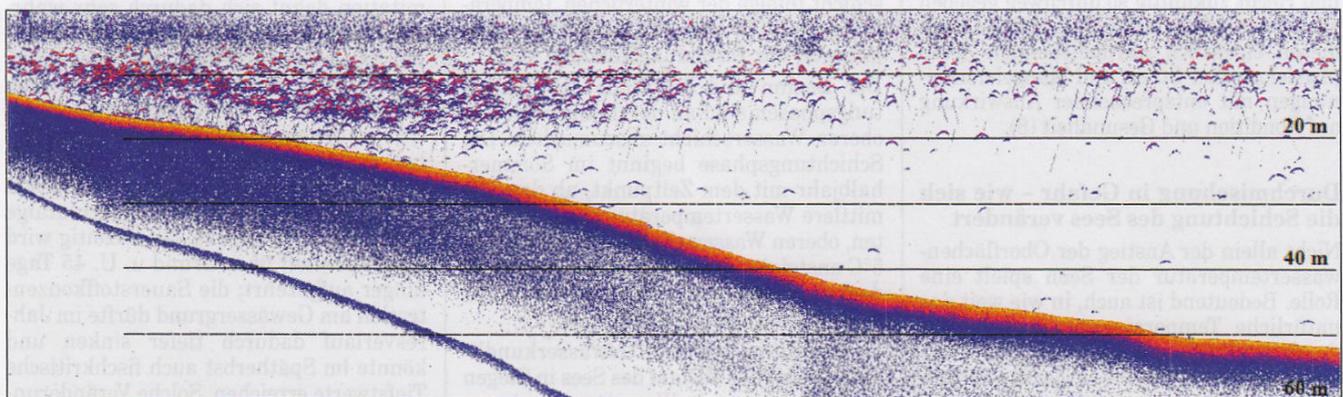


Abb. 4: Echolotaufzeichnung aus der ersten Julihälfte 2005. Nach einer mehrwöchigen Warmphase mit Wassertemperaturen von 20°C und mehr drängte sich der Renkenbestand im Ammersee unter anderem vor Schondorf dicht zusammen, wo der See nicht tiefer als 30 m ist. Vergleichbare Verhaltensauffälligkeiten beobachten die Ammerseefischer seit geraumer Zeit immer häufiger

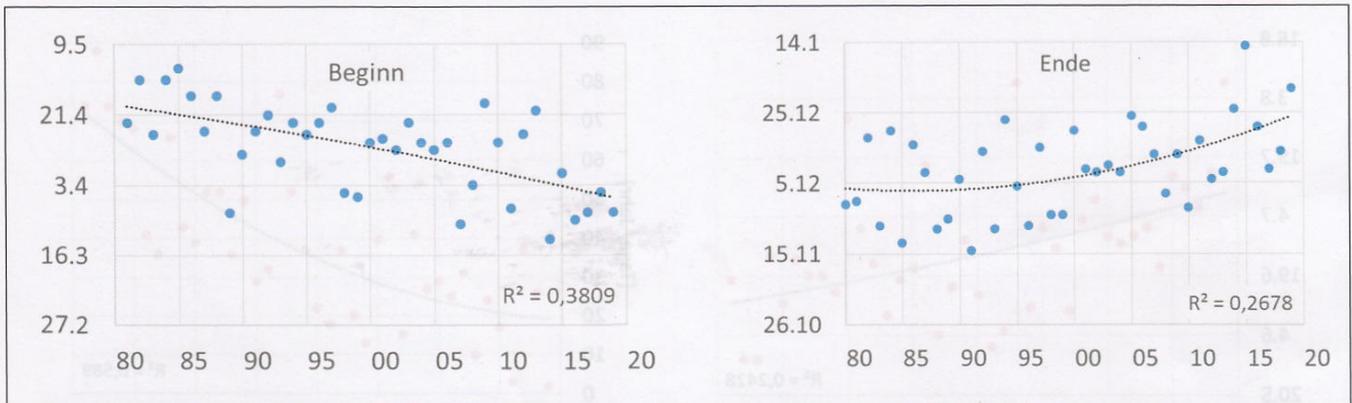


Abb. 5: Beginn (links) und Ende (rechts) der jährlich wiederkehrenden Schichtung des Ammersees bemessen an der am Auslauf * des Ammersees in Stegen seit Beginn der 1980er Jahre gemessenen Wassertemperatur. Die Schichtungsphase beginnt mit dem Zeitpunkt ab dem die mittlere Wassertemperatur im Jahresverlauf anhaltend über 5°C ansteigt und sie endet jeweils mit dem Tag, an dem die Wassertemperatur erstmals wieder unter 4,5°C absinkt. Im Trend (gepunktete Linien = polynomische Regression) schichtet der Ammersee bereits heute drei Wochen früher und drei Wochen länger als Anfang der 1980er Jahre

* die Wassertemperatur am Auslauf kann näherungsweise als Maß für die Temperatur in der im Sommer erwärmten und bewegten, oberen Wasserschicht des Sees herangezogen werden.

Einfluss auf die Stoffwechselaktivität der Fische abzusehen (9).

Bei einem Temperaturanstieg um 10°C verdoppelt sich die Geschwindigkeit der Stoffwechselreaktionen (Q10-Effekt). Mit einem Anstieg der Wassertemperatur verändert sich entsprechend die Umsatzgeschwindigkeit der Verdauung, der Atmung, des Stoff- und Energieaustauschs, des Muskelstoffwechsels und vieler anderer physiologischer Funktionen. Wahrscheinlich werden vor allem jene Fischarten von steigenden Wassertemperaturen profitieren, deren Vorzugstemperaturen deutlich über 20°C liegen: Karpfen, Zander, Hecht, Waller – jene Arten, die solche Temperaturen direkt in Zuwachs umsetzen können.

Damit diese Fischarten die wärmeren Bedingungen dann aber tatsächlich nutzen können, müssen auch anderen Voraussetzungen (z.B. ausreichend Nahrung, ausreichend Sauerstoff etc.) vorhanden sein. Wenn die Klimaerwärmung Renken, Lauben und anderen, ursprünglichen Massenfischarten das Leben zunehmend erschwert, ist aber fraglich, ob die Nahrungsgrundlagen insbesondere für Zander, Wels und Hecht zukünftig so durchweg gegeben sind. Ist dies nicht der Fall, drohen auch diesen eigentlich wärmeliebenden Arten physiologischer Stress und Mangelerscheinungen mit entsprechender Auswirkung auf Kondition und Gesundheit (8).

Durchmischung in Gefahr – wie sich die Schichtung des Sees verändert

Nicht allein der Anstieg der Oberflächentemperatur der Seen spielt eine Rolle. Bedeutend ist auch, in wie weit das natürliche Temperaturregime der Seen durch den Einfluss des Klimawandels verändert wird. Der Wechsel zwischen Schichtung und Durchmischung ist die Kraftquelle dieser Ökosysteme. Mit jeder Durchmischung erfährt der See aufs Neue ein ‚Reset‘ – jedes Ungleichgewicht wird

ausgeglichen, alles wird wieder auf „Beginn“ gesetzt und Grundlagen für eine neue Vegetationsperiode werden geschaffen. Die regelmäßige Durchmischung des Sees ist die Basis für die Vielfalt des Lebens in unseren Seen.

Der Ammersee gehört zu den ‚dimiktischen‘ Seen, die zumeist zweimal im Jahr einer Vollzirkulation bis zum Seegrund unterliegen. Die sommerliche Stagnationsschichtungsphase endet, wenn sich die erwärmte, bewegte, obere Wasserschicht soweit abkühlt, dass sie sich mit der 4°C kalten Tiefenschicht homogen vereint (Homothermie). Die Schichtung bildet sich aufs Neue, wenn die Frühjahrssonne die obere Wasserschicht im See soweit erwärmt, dass sich erneut eine obere, bewegte Wasserschicht ausbildet, die von der kalten, unbewegten Tiefenschicht durch die sogenannte „Sprungschicht“ getrennt wird. Nur zwischen Ende und Neubildung dieser Schichtung kann sich der Wasserkörper des Sees durchmischen. Dieser Durchmischungszeitraum wird in ‚dimiktischen‘ Gewässern wie dem Ammersee meist durch eine zweite, kürzere, inverse Schichtung ergänzt, wenn sich die obere Wasserschicht infolge der winterlichen Temperaturen deutlich unter 4°C abkühlt und es mitunter zur Eisbildung kommen kann.

Der Beginn und das Ende der Schichtungsphasen sind an der Temperatur der oberen Wasserschicht auszumachen. Die Schichtungsphase beginnt im Sommerhalbjahr mit dem Zeitpunkt, ab dem die mittlere Wassertemperatur in der bewegten, oberen Wasserschicht anhaltend über 5°C ansteigt und sie endet mit dem Tag an dem die Wassertemperatur dort erstmals wieder unter 4,5°C absinkt.

Bemessen an den vom Gewässerkundlichen Dienst am Auslauf des Sees in Stegen aufgezeichneten Wassertemperaturen werden die 5°C und der Beginn der Schichtung im Ammersee heute nicht mehr wie Anfang der 1980er Jahre durchschnittlich

um den 20. April, sondern bereits drei Wochen früher, also bereits Ende März, erreicht. Zugleich schichtet der Ammersee auch länger. So begann die Durchmischung des Sees mit der Abkühlung der oberen Wasserschicht auf < 4,5°C zu Beginn der 1980er Jahre noch regelmäßig um Nikolaus (6. Dezember) – heute ist das gewöhnlich erst drei Wochen später um Weihnachten (24. Dezember) der Fall. In diesem Winter war es gar erst am 2. Januar und 2015 sogar erst am 14. Januar soweit. In Summe schichtet der Ammersee damit bereits heute tatsächlich durchschnittlich rund 45 Tage, also 1 ½ Monate (20%) länger als vor 40 Jahren. Der Zeitraum für eine mögliche Durchmischung des Sees hat sich entsprechend um 45 Tage verringert.

Diese Veränderungen im natürlichen Temperaturregime dürften sich schon jetzt weitreichend auf das Ökosystem auswirken. Die wachstumslimitierenden Nährstoffe werden in der Oberflächenschicht im Jahresverlauf vermutlich jeweils früher und durch die höheren Wassertemperaturen auch schneller aufgebraucht. Die Zeitspanne mit oberflächennaher Nährstofflimitation dehnt sich dadurch sehr wahrscheinlich aus und die natürliche Planktonsuccession dürfte sich verschoben (verfrüht) haben. Wenn keine Hochwasser den See temporär eintrüben, nimmt die Sichttiefe im See zu, das Sonnenlicht dringt früher und länger bis in die Sprungschicht vor und begünstigt dort das Wachstum der fischungünstigen Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens*. Gleichzeitig wird der Sauerstoff über Grund u. U. 45 Tage länger aufgezehrt; die Sauerstoffkonzentration am Gewässergrund dürfte im Jahresverlauf dadurch tiefer sinken und könnte im Spätherbst auch fischkritische Tiefstwerte erreichen. Solche Veränderungen sind bereits für verschiedene Seen der Alpenregion beschrieben worden (13, 14). Ob bzw. in welchem Ausmaß diese Verän-

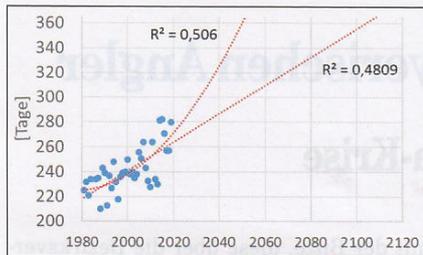


Abb. 6: Dauer der jährlich wiederkehrenden Schichtung des Ammersees bemessen an der am Auslauf* des Ammersees seit 1980 gemessenen Wassertemperatur. Über kurz (polynomische Regression) oder lang (lineare Regression) ist die Volldurchmischung des Sees gefährdet, weil der See dann wenigstens 365 Tage geschichtet ist

* die Wassertemperatur am Auslauf kann näherungsweise als Maß für die Temperatur in der im Sommer erwärmten und bewegten, oberen Wasserschicht des Sees herangezogen werden.

derungen am Ammersee bereits eingetreten sind, kann noch nicht zuverlässig gezeigt werden. Die dafür notwendigen Datenreihen liegen nicht vor, weil das Messraster (meist eine Erhebung pro Monat) nicht dicht genug ist. Auffallend lang anhaltende Klarwasserstadien im Sommer und das vermehrte Burgunderblutalgen-Aufkommen der vergangenen Jahre zeigen aber deutlich, dass diesbezüglich bereits Veränderungen stattgefunden haben.

Fest steht: Sollte die Volldurchmischung des Sees einmal ausbleiben, sind gravierenden Störungen im Ökosystem und vor allem massiven Sauerstoffdefizite am Gewässergrund unvermeidbar. Wie aus Abbildung 6 hervorgeht, ist die jährlich wiederkehrende Volldurchmischung des Sees in 30, spätestens 90 Jahren gefährdet, wenn sich das Temperaturregime des Ammersees dergestalt weiter verändert: Wenn ein See über 365 Tage geschichtet ist, kann er nicht mehr bis zum Grund durchmischt werden. Diese Einschätzung deckt sich mit der Prognose einer französischen Forschergruppe, die bereits 2004 auf Basis komplexer Modellrechnungen prognostiziert, dass der Ammersee ab etwa 2025 nicht mehr regelmäßig und ab etwa 2060 nur mehr in vereinzelten Jahren bis zum Gewässergrund umgewälzt wird (15).

Wie wird es unserem „Brotfisch“ in Zukunft ergehen?

Die Veränderung des natürlichen Temperaturregimes hat für die Fischfauna zweifelsfrei einschneidende Folgen. Positiv wirkt vermutlich, dass sich für viele Fischarten der reserveraubende Winter verkürzt und dass im Frühling früher und im Herbst länger Nahrung im Epilimnion zu nutzen ist. Im Gegenzug tut sich aber für viele Fischarten die beschriebene, sommerliche Hungerphase auf, in der vor allem die Renken immer länger durch Oberflächentemperaturen $>20^{\circ}\text{C}$ in die Tiefe und bisweilen durch die in der

Sprungschicht gedeihende Burgunderblutalge sogar in die Tiefenschicht gezwungen werden. Bis dato halten sich Nutzen und Einbußen dieser Veränderungen offenbar noch weitgehend die Waage: Gemessen an der ausgedehnten Schichtung darben die Renken über den Winter jetzt im Durchschnitt 45 Tagen weniger, verharren dafür im Sommer regelmäßig etwa 55 Tage in den kalten Tiefenschicht.

Gravierend wiegt in jedem Fall aber die Sauerstoffproblematik über dem Gewässergrund. Wenn die Renken im Ammersee, wie üblich, Anfang Dezember laichen, sinkt der Laich unter den eben beschriebenen Umständen schon bald in Bereiche mit stark abnehmenden bzw. bereits defizitären Sauerstoffkonzentrationen. Die Fischeier werden beschädigt bzw. verenden; die natürliche Fortpflanzung der Renken kann in erheblichem Maß beeinträchtigt werden.

Wenn der Tiefensauerstoff fehlt, werden sich auch die Lebensbedingungen des einzigartigen Tiefseesaiblings verschlechtern. Diese Fischart lebt ganzjährig über dem Seegrund und laicht im Herbst in 40 bis 80 m Wassertiefe. Wenn dort der Sauerstoffgehalt unzureichend wird, ist der Fortbestand dieser Fischart unweigerlich in Gefahr.

Die steigenden Wassertemperaturen und die Abweichungen vom ursprünglichen Temperaturregime des Ammersees sind, zusammenfassend und genau betrachtet, ein untrüglicher Beleg dafür, dass der Klimawandel schon längst auch unter der Wasseroberfläche unserer Seen Veränderungen bewirkt. Die heimischen Fische, unsere Fischerei und wir Fischer werden davon nicht unberührt bleiben. Wir müssen uns deshalb auf Veränderungen einstellen und uns überlegen, ob, wo und wie wir absehbaren Problemen begegnen kön-

nen. Möglicherweise müssen wir uns auch irgendwann von wichtigen Wirtschaftsfischen verabschieden; dafür könnten andere Arten an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen. Ebenso werden Erfahrungswerte hinsichtlich saisonaler Verteilungs- und Verhaltensmuster unserer Fische nicht mehr in vollem Umfang zutreffen. Da vor allem das Laichverhalten der Fische von der Wassertemperatur beeinflusst ist, müssen wir mit Veränderungen rechnen.

Wir sollten rechtzeitig Vorkehrungen treffen und vor allem den Auswirkungen des Klimawandels auf die natürliche Fortpflanzung unseres Brotfisches Rechnung tragen. Durch Laichfischereien und der Optimierung der Bruthäuser sollten wir, soweit möglich, Einbrüche zu kompensieren versuchen. Bei dauerhaften Sauerstoffdefiziten am Gewässergrund wird das Bruthaus zum entscheidenden Garant für den Renkenbestand des Ammersees.

Vor allem aber ist es höchste Zeit, Probleme grundsätzlich anzugehen und dem Anstieg der globalen Temperatur durch Reduzierung der „Treibhausgase“ entgegenzusteuern. Warum sollen wir untätig zusehen, bis es zu irreversiblen, schwerwiegenden Schäden des Systems gekommen ist? Noch ist es nicht zu spät. Selbstverständlich bedarf es vor allem politischer Weichenstellungen, aber es ist auch ein Umdenken bei uns allen gefordert. Bei jedem Einzelnen – in Politik, in Behörden, in der gesamten Gesellschaft. Wir müssen **jetzt** handeln, bevor den Eisbären die Eisschollen unter den Füßen wegtauen und bevor die Renken von den oberbayerischen Grilltellern verschwinden!

Literatur beim Autor erhältlich



Die Renke könnte zu den Verlierern des Klimawandels gehören. Dies hätte gewiss enorme Auswirkungen auf die Fischereierträge an den oberbayerischen Seen. Wir sind gut beraten rechtzeitig Vorkehrungen zu treffen und im Besonderen den Auswirkungen auf die natürliche Fortpflanzung unseres Brotfisches durch Laichfischereien und sorgfältige Bruthausarbeit soweit möglich entgegenzuwirken