

Alles neu macht der Klimawandel?

Das Thema Klimawandel ist aktueller denn je - der Sommer 2018 zum Beispiel ist uns allen in sorgenvoller Erinnerung: Im Hochrhein starben Tausende von Äschen, im Mittelland trockneten ganze Flussabschnitte aus und auch zahlreiche Bäche lagen trocken. Darunter litten zahlreiche Fischbestände. Viele Fischer hatten Angst um ihre Fische und einige haben sich sogar an Fischrettungsaktionen beteiligt. Der Sommer 2019 war zum Glück wieder kühler und feuchter. Doch was wird sich abgesehen von der Temperatur verändern und was wissen wir überhaupt über den Einfluss der Klimaveränderungen auf die Ökosysteme, in denen unsere Fische zuhause sind? Wenn ein Gewässer während einer Hitzeperiode trockenfällt, ist das Problem für seine Bewohner offensichtlich. Wenn sich aber Faktoren wie die Wassertemperatur oder die Wasserqualität nur langsam verändern, können diese Veränderungen nicht von Auge wahrgenommen werden. Sie zeigen sich aber durch ihren Einfluss auf die Wasserbewohner. Wir fassen Ausschnitte der Eawag-Publikation «Climate change and freshwater ecosystems» von Anfang dieses Jahres zusammen und möchten damit einen kleinen Überblick geben, was der Stand der Forschung bezüglich Klimawandel und Seen sowie Fließgewässern ist.

Gut zu wissen: Klimamodelle werden stark durch Annahmen geprägt, die man machen muss, wenn man ein Modell erstellt. Sie basieren zum Beispiel auf einer Vorhersage des künftigen CO₂-Ausstosses, die aber nicht zwingend so eintreffen muss. Speziell für CO₂ gibt es verschiedene Szenarien – diese rechnen mit verschiedenen Reduktionen des Ausstosses (von keine Veränderung bis ca. -50%). Wir versuchen uns in diesem Artikel auf Ereignisse zu konzentrieren, von denen angenommen wird, dass sie früher oder später eintreffen werden – und dies in allen Szenarien, die vom International Panel for Climate Change (IPCC) berücksichtigt werden. Bei einer stärkeren Reduktion dauert es aber länger, bis grosse Veränderungen passieren. Dranbleiben lohnt sich – wir schreiben zum Schluss auch etwas über Fische!

Es wird wärmer... aber nicht nur!

Zwischen 1901 und 2014 ist in der Schweiz die mittlere jährliche Lufttemperatur um rund 1.9 °C angestiegen, wobei dieser Wert lokal variiert: Im Flachland, wo es schon immer wärmer war, kann dieser Wert tiefer sein und in den Alpen höher. Ein weiterer Anstieg von bis zu 1.4°C bis 2035 scheint wahrscheinlich. Bis Ende des 21. Jahrhunderts könnte so die jährliche Anzahl an Sommertagen (max. Temperatur 25°C oder höher) von aktuell 40 auf bis zu 90 ansteigen, während sich die Anzahl der Frosttage etwa halbieren (von 60 auf ca. 30). Es wird zudem erwartet, dass Sommer und Herbst trockener werden. Die Niederschläge im Winter hingegen werden zunehmen, wobei hier die Südschweiz speziell stark betroffen sein wird. Dabei fallen mehr Niederschläge in Form von Regen als

Was ist der Unterschied zwischen Wetter und Klima?

Der Unterschied zwischen Wetter und Klima besteht darin, dass das Wetter den physikalischen Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort beschreibt, der sich sehr schnell verändern kann. Dies erschwert Vorhersagen erheblich. Klima hingegen ist ein langfristiger Zustand, der von während Jahrzehnten berechneten Durchschnittswerten bestimmt wird. Klimamodelle werden ausserdem anhand von alten Klimadaten kalibriert. Diese können zum Beispiel mithilfe von Eis- und Sedimentbohrkernen über Jahrtausende rekonstruiert werden. Es ist also einfacher, das zukünftige Klima als das Wetter vorherzusagen – während Wetter zum Teil aus sehr vielen «Ausreissern» besteht, haben diese nur einen sehr kleinen Einfluss auf das Klima.

Schnee und die extremen Niederschlagsereignisse nehmen zu. Die Zeit zwischen der Schneeschmelze am Anfang und dem ersten Schneefall am Ende des Jahres verlängert sich ausserdem um geschätzte 9 Tage pro Jahrzehnt. Veränderungen bei weiteren klimatischen Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Bewölkung, relativer Luftfeuchtigkeit und Wind sind schwieriger vorherzusagen, aber auch sie werden Einfluss auf aquatische Lebensräume haben.

Wassertemperaturen, Abflüsse, Wasserherkunft und Wasserqualität – das verändert sich in Fliessgewässern

Die Lufttemperatur beeinflusst die Wassertemperatur von Bächen und Flüssen, wobei die Effekte von diversen Faktoren verstärkt oder abgeschwächt werden. Ein flaches, langsam fliessendes Gewässer wird sich speziell schnell aufwärmen, besonders wenn die Quelle – aus der in der Regel kühles Wasser fliesst - weit weg ist. Ufervegetation hingegen kann einen Teil der Erwärmung sowie tägliche Temperaturschwankungen ein Stück weit abfangen. Zwischen 1970 und 2010 haben sich die Schweizer Fliessgewässer im regionalen Mittel um 0.1 (in Gletschergebieten) bis -1.2 °C (im Mittelland) und somit rund ein Grad weniger als die Luft erwärmt. Weniger Probleme haben bisher alpine Fliessgewässer in Quellnähe (Abbildung 1), da ihre Wassertemperatur in erster Linie von Schnee- und Eisschmelze abhängt und andere Faktoren wenig Einfluss haben.

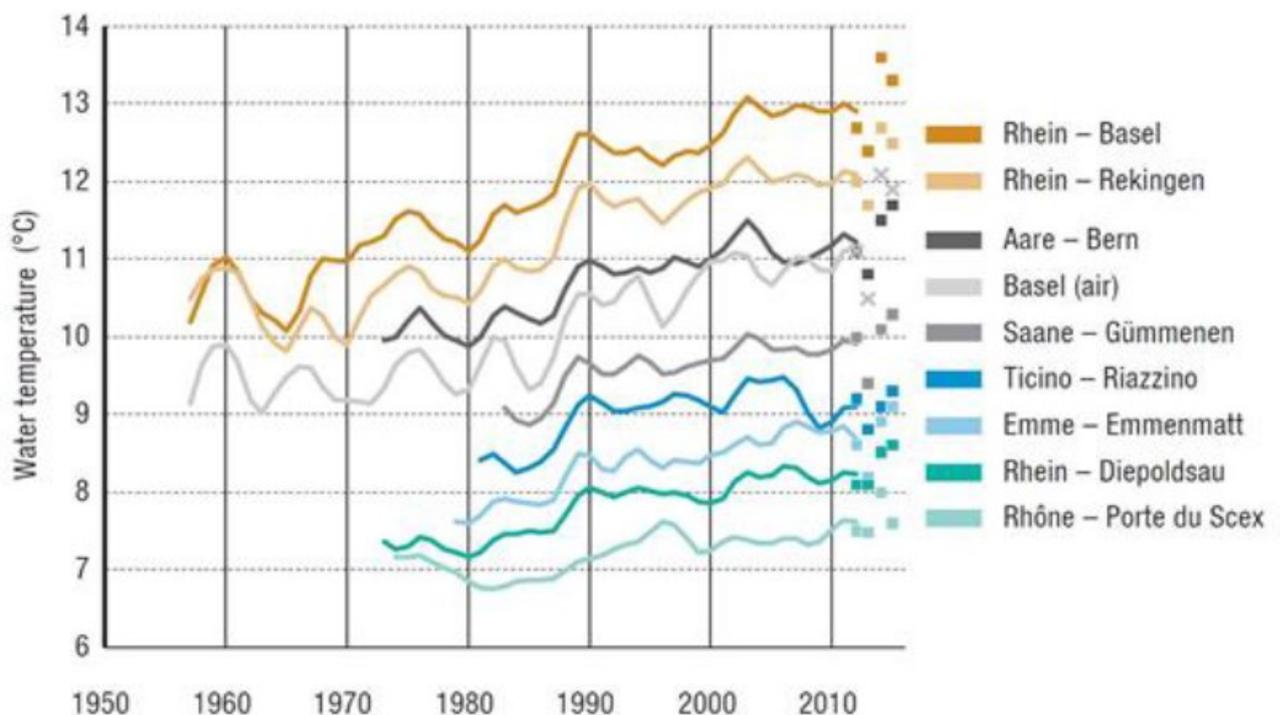


Abbildung 1: Veränderung der mittleren jährlichen Wassertemperatur über die letzten 40-60 Jahre. Lange Fliessgewässer und Seeausflüsse im Flachland sind stärker betroffen als alpine Fliessgewässer in Quellnähe.

Neben der Temperatur wird ausserdem bei der Wasserherkunft und dem Abflussregime ein starker Einfluss des Klimas erwartet. Der Rhein wird heute zum Beispiel mehrheitlich durch Regen gespeist (55%), die Aare oberhalb von Brienz hingegen hauptsächlich durch Schnee- und Eisschmelze (total 68%). In Zukunft werden aber in den meisten Regionen Niederschläge in Form von Regen einen grösseren Anteil ausmachen. Dies führt je nach Jahreszeit zu unterschiedlichen Auswirkungen. Da im Sommer

voraussichtlich weniger Regen fallen wird, werden viele Fliessgewässer während der warmen Jahreszeit geringere Abflüsse haben und noch anfälliger auf Austrocknung sein. Im Winter hingegen steigt der Abfluss, da die Niederschläge eher in Form von Regen direkt ins Gewässer gelangen und nicht in Form von Schnee am Ufer gespeichert werden. Nicht alle Fliessgewässer sind oder werden in gleichem Masse betroffen sein. Während dem Hitzesommer 2003 waren zum Beispiel vor allem Fliessgewässer mit Einzugsgebieten ohne grössere Seen – welche den Abfluss stabilisieren können - und mit sehr geringen Wassereinträgen aus der Schneeschmelze betroffen. Grundwasser kann ebenfalls eine ganzjährig stabile Wasserquelle sein.

Das Abflussregime wird sich voraussichtlich aber auch auf andere Arten verändern. Frühlinghochwasser werden früher stattfinden, da die Schneeschmelze früher eintritt und es mehr Regen gibt. Ausserdem ist eine erhöhte Erosion im Winter zu erwarten, was den saisonalen Transport von organischem Material und Sedimenten verändert. In hoch gelegenen Einzugsgebieten wird durch das Schmelzen der Gletscher in Zukunft mehr Sediment freigesetzt und in den Fliessgewässern mittransportiert werden. In Hitzesommern wird die chemische Zusammensetzung des Wassers durch Niedrigwasser in Zukunft vermutlich verändert sein, da der Anteil an Grundwasser grösser wird, wenn der Eintrag aus Regen und Schneeschmelze abnimmt. Durch diese Prozesse wird die Wasserqualität beeinflusst. Die Ionenkonzentrationen und die Leitfähigkeit des Wassers verändern sich, und chemische Stoffe werden vom Regen eher in die Gewässer gespült. Gleichzeitig werden die Wasserstände aber oft tiefer sein als heute wodurch die Verdünnung von Schadstoffen geringer wird. Am stärksten davon betroffen sind alpine Gewässer mit hohen Sedimenteinträgen und Gewässer in Einzugsgebieten mit viel Landwirtschaft oder Kläranlagen. Mit einer Erhöhung der Wassertemperatur geht auch eine Erhöhung des Sauerstoffbedarfs einher. Speziell in warmen Sommernächten kann es deshalb dazu kommen, dass Fliessgewässer nicht mehr genügend gelösten Sauerstoff enthalten.



Abbildung: Durch mehr Niederschläge in Form von Regen statt Schnee erwartet man zukünftig höhere Abflüsse im Winter und mehr extreme Niederschlagsereignisse. Zudem werden die Frühlingshochwasser früher im Jahr stattfinden, da die Schneeschmelze früher eintritt und mehr Regen fällt. Bild: M. Roggo

Veränderte Temperaturen, Wasserzirkulation und Wasserqualität in Seen

Die Wassertemperaturen von Seen steigen, wie die der Fliessgewässer, mit der Lufttemperatur an. Der Bodensee wurde zum Beispiel von 1962 bis 1998 um 0.17 Grad Celsius pro Jahrzehnt wärmer. Es wird erwartet, dass sich die Seen in Europa bis Ende des 21. Jahrhundert um bis zu 4 Grad Celsius erwärmen. Dabei wird die Wassertemperatur in Oberflächennähe (Deckschicht) sowie im Frühling und Sommer besonders hoch sein. Dadurch erhöht sich der Temperaturunterschied zur Tiefenschicht und die Schichtung des Sees wird stärker, was durch die zusätzlichen Sommertage noch gesteigert wird. In

tiefere Lagen kann dies dazu führen, dass sich die Seezirkulation (siehe Box) verändert und das Mischen des Wassers von Deck- und Tiefenschicht weniger häufig oder gar nicht mehr stattfindet.

Da die Seezirkulation Sauerstoff im ganzen Gewässer verteilt, wird der Sauerstoffgehalt in erster Linie in der Tiefenschicht von Flachlandseen problematisch, vor allem wenn in diesen bereits heute temporär Sauerstoffknappheit herrscht. Ausserdem sinkt die jährliche Produktivität von nährstoffarmen Seen, die Nährstoffmenge (speziell Phosphor) wird aber im Wasser der Deckschicht erhöht. Erhöhte Temperaturen und Nährstoffkonzentrationen können Cyanobakterien (auch Blaualgen genannt) im Spätsommer fördern. Viele dieser Kleinstlebewesen produzieren Giftstoffe, die die Wasserqualität beeinträchtigen. Ausserdem werden sie, wenn sie in Massen vorkommen, auch von Fischen gefressen. Vor allem Jungfische, aber auch die adulten Tiere gewisser Arten fressen mehrheitlich Plankton und sind darauf angewiesen, möglichst viel davon zu bekommen um genügend Nährstoffe aufzunehmen. Die meisten dieser Fische sind aber nicht in der Lage Blaualgen richtig zu verdauen. Wenn sie ihren Magen also damit auffüllen, haben sie weniger Platz für nahrhaftes Plankton und wachsen dadurch langsamer.

Seezirkulation

Bei der Seenzirkulation wird Sauerstoff in die Tiefe transportiert und Nährstoffe aus der Tiefe kommen an die Wasseroberfläche. Das ist notwendig, damit Seen produktiv sind. Die meisten Schweizer Seen weisen speziell im Sommer eine Schichtung auf. Warmes Wasser ist weniger dicht als kaltes, so dass sich eine warme leichtere Deckschicht bildet, welche über der kalten schwereren Tiefenschicht liegt. Dazwischen bildet sich ein mehr oder weniger ausgeprägter Übergang, der Sprungschicht genannt wird. Viele Seen in der Schweiz sind monomiktisch – einmal im Jahr, meist im späten Herbst und Winter, gleicht sich die Wassertemperatur von Deck- und Tiefenschicht an, wodurch sich die Schichten mischen. Dadurch werden Nährstoffe und Sauerstoff in die Tiefen des Sees transportiert. In Seen in höheren Lagen kann dies auch zweimal (im Herbst und Frühling) geschehen, man spricht von einem dimiktischen See. Wenn sich die Wassertemperaturen aber erhöhen, können dimiktische Seen zu monomiktischen Seen werden. Monomiktische Seen werden bei höheren Wassertemperaturen oligomiktisch, das heisst sie mischen sich nur noch alle paar Jahre. Dieses Phänomen kann zum Beispiel beim Zürichsee beobachtet werden. Bei zu hohen Temperaturen können Seen sogar meromiktisch werden, das heisst sie mischen sicher gar nicht mehr. Erhöhte Winterabflüsse oder starke Winde können diesen Prozessen ein Stück weit entgegenwirken, sind aber schwierig vorherzusagen.

Die Ökosysteme verändern sich – ausweichen ist schwierig

Der Klimawandel beeinflusst bereits heute unsere Ökosysteme (siehe Box) und man geht davon aus, dass sich viele Bereiche von aquatischen Ökosystemen weiter verändern werden. Viele der beobachteten Veränderungen basieren auf einer Kombination von Faktoren: allgemeine Lebensraumveränderungen (auch durch den Menschen) und Verschmutzungen interagieren mit dem Klimawandel. Deshalb ist es schwierig, die Wirkung eines einzelnen Faktors zu beziffern. Die Schwierigkeiten von Vorhersagen werden durch die hohe Komplexität von Ökosystemen mit ihren unzähligen Interaktionen noch verschärft.

Was ist ein Ökosystem?

Ein Ökosystem ist eine Gemeinschaft von Lebewesen, die miteinander und mit ihrer Umgebung interagieren. Wälder oder Landwirtschaftszonen sind für die Schweiz typische und häufige terrestrische Ökosysteme, Flüsse, Seen und Bäche sind klassische aquatische Ökosysteme.

Der Klimawandel kann aber hauptsächlich über zwei Wege auf Süsswasser-Ökosysteme wirken: Einer davon ist die Veränderung der abiotischen Faktoren (z.B. Temperatur, Sauerstoff- oder Nährstoffgehalt) im Lebensraum. Alle Organismen stellen gewisse Ansprüche an ihren Lebensraum. Wenn sich die Bedingungen ihres Lebensraums ändern und sie sich nicht anpassen oder ausweichen können, werden sie aussterben. Zudem wird durch den Klimawandel das Aussehen von Gewässern verändert, wobei insbesondere Fließgewässer betroffen sind. Teile von Fließgewässern werden austrocknen und vorher verbundene Gewässersysteme können voneinander getrennt werden. Die Konnektivität spielt aber speziell in Fließgewässern eine zentrale Rolle für die Bewohner dieses Ökosystems. In einem gut vernetzten Fließgewässer können sich die Bewohner allenfalls in höhere Lagen verschieben um zum Beispiel ungünstigen Temperaturen auszuweichen. Zu erwähnen ist hier, dass dazu aber auch die Habitatsstrukturen (Gefälle, Kiesgrösse, Fließgeschwindigkeit,...) in höheren Lagen ähnlich sein müssen. Ansonsten wird sich eine Art nur schwer verschieben können, auch wenn die Temperatur stimmt. Vom Menschen geschaffene Barrieren können diesen Prozess erschweren oder gar unmöglich machen.

Einheitsbrei – die (heimische) Artenvielfalt nimmt ab

Durch den Klimawandel werden sich aquatische Artengemeinschaften ähnlicher. Oft breiten sich Generalisten, also Arten, die sich sehr gut an unterschiedlichste Bedingungen anpassen können, stark aus. Dadurch erhöht sich speziell in höheren Lagen oftmals die Artenzahl. Obwohl dies auf den ersten Blick positiv erscheint, fällt bei näherer Betrachtung auf, dass höher gelegene Fließgewässer ursprünglich oft artenarm sind, weil zum Beispiel nur speziell angepasste Fischarten wie Forellen oder allenfalls noch Groppen darin vorkommen. Wenn die Gewässer sich erwärmen, können solche kälteliebenden Arten verloren gehen und durch wärmeliebende Arten ersetzt werden. Dadurch steigt zwar die Artenzahl lokal in einem bestimmten Bach, im grösseren Massstab (regional) nimmt die Artenvielfalt jedoch ab.

An Wärme angepasste Arten werden von den durch den Klimawandel herbeigeführten Veränderungen profitieren und die Artenzusammensetzung sowohl in Gewässern als auch an Land grundlegend verändern. Vor allem an Trockenheit und Störungen angepasste Arten werden häufiger werden. Dadurch werden auch standortfremde Arten aus Ökosystemen, die schon lange oder sogar immer warm und von Störungen geprägt waren, begünstigt. Die Invasion und Vermehrung von solchen Arten kann zu einer weiteren Verdrängung von einheimischen Arten führen, weil diese in ihrem «neuen» Lebensraum nicht mehr konkurrenzfähig sind.



Abbildung: Die Forelle ist eine kälteliebende Art. Mit ansteigenden Wassertemperaturen können andere Fischarten, die mit wärmeren Temperaturen besser zurechtkommen, in den Lebensraum der Forelle vordringen und diese allenfalls konkurrieren. Dadurch erhöht sich lokal zwar die Artenvielfalt, regional nimmt sie aber ab, da die Kaltwasserspezialisten langfristig verloren gehen. Foto: M. Roggo

Veränderte Lebensbedingungen für unsere Fische

Die Fischvielfalt wird durch Faktoren wie Lebensraumveränderungen, Wanderbarrieren, Eutrophierung (Anreicherung von Nährstoffen, z.B. Phosphat) und nicht einheimische Fischarten verändert. Wie genau der Klimawandel sie beeinflusst und wie relevant er in Kombination mit den anderen Faktoren ist, ist schwierig zu sagen.

Die Forelle (*Salmo trutta*) ist eine der meisterforschten Fischarten der Schweiz, auch im Hinblick auf den Klimawandel. Ihre Bestände sind in den letzten Jahrzehnten vor allem im Mittelland geschrumpft. Sie ist in kühlen und sauerstoffreichen Bächen und Flüssen zuhause, ihr Wohlfühlbereich liegt je nach Lebensstadium und Population zwischen 8 und 19°C. Durch wärmere Wassertemperaturen kann sich das Laichverhalten, die Entwicklung der Eier, die Verfügbarkeit von Futter und die Dynamik von Fischkrankheiten wie der proliferativen Nierenkrankheit PKD (vor allem in Gewässern mit Temperaturen über 15°C, mit zunehmender Temperatur erhöht sich die Sterblichkeit der Forellen durch PKD) verändern und das Überleben der Forellen gefährden. Im Flachland werden Forellenpopulationen generell stärker von Temperaturveränderungen betroffen sein, da sie dort bereits näher an ihrem oberen Temperaturlimit leben als Forellen in höheren Lagen. Cypriniden wie Alet und Barben, welche sich bei wärmeren Temperaturen sehr wohl fühlen, werden sich in solchen Gewässern immer mehr ausbreiten und das Artenspektrum dominieren.

Durch den Klimawandel erhöht sich das Risiko, dass Gewässer, oder zumindest Teilabschnitte, komplett austrocknen oder die Wassertemperaturen Höhen erreichen, die zu Massensterben von Fischen und anderen Lebewesen führen. Für die meisten Forellen sind Wassertemperaturen über 25°C tödlich. Ein Ausweichen in Seitengewässer oder höhere Lagen ist wegen Barrieren (sowohl natürlich aber oft auch menschgemacht) oftmals leider nicht möglich. Die Vernetzung wird in Zukunft auch für die natürliche Fortpflanzung noch mehr Bedeutung gewinnen: Durch häufigere und stärkere Hochwasser im Winter wird sich das Sedimentregime und die Trübung vor allem in alpinen Einzugsgebieten verändern. Dies kann das Funktionieren eines Ökosystems stark beeinflussen und zum Beispiel vielerorts die sich im Kies entwickelnde Forellenbrut beeinträchtigen (Abbildung), welche auf sauberen und wasserdurchlässigen Kies angewiesen ist.



Abbildung: Der Nachwuchs von Kieslaichern entwickelt sich vergraben im Kies. Bei Herbstlaichern wie den Forellen ist die Brut während gut einem halben Jahr in der Kiessohle des Gewässers vergraben. Starke Abflüsse und mehr Sediment im Wasser können ihre Entwicklung beeinträchtigen, da das Kieslückensystem eher verstopft und die Sauerstoffzufuhr nicht mehr gewährleistet ist oder die Eier weggeschwemmt werden. Foto: M. Roggo

In natürlichen und kleineren Seitengewässern erwartet man geringere Einflüsse, da Hochwasser eher gepuffert werden können und eine grössere Lebensraumvielfalt herrscht. Auch die Phänologie, also der jahreszeitliche Verlauf von biologischen Prozessen, wird vom Klimawandel nicht verschont bleiben: viele Prozesse, wie zum Beispiel die Blattbildung von Bäumen oder das Algenwachstum, werden früher im Jahr anlaufen und die Wachstumsperiode von Pflanzen wird verlängert. Wie sich veränderte Temperaturen im Jahresverlauf zum Beispiel auf die Entwicklung von Forelleneiern auswirken wird, wird derzeit untersucht. Auf welche Art und Weise solche biologischen Veränderungen auch noch mit veränderten saisonalen Abflüssen interagieren und so weitere ökologische Veränderungen mit sich ziehen werden, ist unklar.

Über den Einfluss des Klimawandels auf in Seen lebende Fische ist bisher wenig bekannt. Wenn sich die Seen aber weniger häufig oder gar nicht mehr mischen, wird besonders in der Tiefenschicht der Sauerstoff fehlen. Dies hat vor allem für tiefliebende oder tieflaichende Arten wie Felchen, Saiblinge oder Trüschen fatale Folgen. Was das zum Beispiel für Felchen bedeuten kann, hat auch die Eutrophierung und der damit einhergehende Sauerstoffmangel am Grund vieler Schweizer Seen in der Vergangenheit gezeigt: Rund ein Drittel der ursprünglichen Felchenarten sind in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts ausgestorben.

Wie weiter?

Auch wenn die extremsten Prognosen für den Klimawandel nicht eintreffen sollten, müssen wir damit rechnen, dass sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten ändern und einen stärkeren Einfluss auf unsere Gewässer haben wird. Ob wir den erwarteten Folgen entgegenwirken können, ist ungewiss – es lohnt sich aber auf alle Fälle, Lebensräume aufzuwerten und möglichst natürliche Bedingungen im und um unsere Gewässer wiederherzustellen. Dazu gehört natürlich auch das Vernetzen von Gewässern, damit eine freie Fischwanderung möglich ist und das Anlegen von schattenspendender Uferbestockung. Dabei kann man auch im kleinen Rahmen bereits einiges bewirken: Die Kampagne «Fischer schaffen Lebensraum» vom Schweizerischen Fischereiverband zeigt Möglichkeiten auf, wie wir Fischer aktiv den Lebensraum Wasser verbessern können.

Auch wenn nicht klar ist, wie gross der Einfluss der Angelfischerei im Vergleich zu Lebensraumbeeinträchtigungen und Klimawandel auf eine Population ist, können bereits beeinträchtigte Fischbestände dadurch zusätzlich unter Druck geraten. Gerade bei wärmerem Wasser erholen sich zum Beispiel Äschen und Forellen deutlich schlechter vom Stress eines Drills und verpilzen eher. Dies kann in solchen Situationen dazu führen, dass gefangene untermassige Fische sterben und damit nie die

Möglichkeit haben, sich fortzupflanzen. Als Fischer haben wir die Verantwortung und Möglichkeit, unser eigenes Verhalten zum Schutz unserer Fische anzupassen. Dies könnte zum Beispiel bedeuten, dass speziell gefährdete Arten wie eben die Forelle oder die Äsche – auch freiwillig – stärker geschont werden. Selbstverständlich ist es primär die Aufgabe der kantonalen Behörden während Hitzeperioden die Fischerei bei Bedarf einzuschränken. Dies wird in einigen Kantonen bereits umgesetzt – zum Beispiel durch lokale Moratorien, neue Schutzzonen sowie eine Verlängerung der Schonzeit. So können wir allenfalls Zeit gewinnen um lebensraumverbessernde Massnahmen umzusetzen, welche die Überlebenschance für solche Arten hoffentlich verbessern werden.

Von Corinne Schmid und Philip Dermond

Dieser Artikel basiert hauptsächlich auf der englischen Publikation der Eawag «Climate change and freshwater ecosystems» von S. Benateau und Kollegen. Wir konnten in dieser Zusammenfassung nicht auf sämtliche Aspekte und Details eingehen – die Originalpublikation findet ihr hier:

https://www.eawag.ch/fileadmin/user_upload/Benateau-2019-Climate_change_and_freshwater_ecosystems.-_published_version_.pdf

Weitere Quellen:

*Britton et al. "Non-native fishes and climate change: predicting species responses to warming temperatures in a temperate region." *Freshwater Biology* 55.5 (2010): 1130-1141.*

IPCC, 2014: "Climate Change 2014: Synthesis Report." Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

*Kamjunke et al. "Consumption of cyanobacteria by roach (*Rutilus rutilus*): useful or harmful to the fish?." *Freshwater Biology* 47.2 (2002): 243-250.*

*Perroud and Bader. „Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen.“ *Umwelt-Zustand* (2013). Federal Office for the Environment and Federal Office of Meteorology and Climatology.*

*Poesch et al. "Climate change impacts on freshwater fishes: a Canadian perspective." *Fisheries* 41.7 (2016): 385-391.*

*Rangwala and Miller. "Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes." *Climatic Change* 114.3-4 (2012): 527-547.*

*Vonlanthen et al. "Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations." *Nature* 482.7385 (2012): 357.*