

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	ClimateTrout
Langtitel:	Newly emerging impacts in riverine ecosystems: combined effects of climate change and malacosporean infections in brown trout
Zitiervorschlag:	El-Matbouli, M.; Borgwardt, F.; Waldner, K.; Unfer, G. (2020) Publizierbarer Endbericht zum Projekt ClimateTrout - Newly emerging impacts in riverine ecosystems: combined effects of climate change and malacosporean infections in brown trout, Wien, 39pp
Programm inkl. Jahr:	ACRP9 2016
Dauer:	01.04.2017 bis 30.06.2020
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Univ.-Prof. Dr. Mansour El-Matbouli
Kontaktperson Name:	Univ.-Prof. Dr. Mansour El-Matbouli
Kontaktperson Adresse:	Klinische Abteilung für Fischmedizin Veterinärplatz 1 1210 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43 1 25077-4708
Kontaktperson E-Mail:	Mansour.El-Matbouli@vetmeduni.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Universität für Bodenkultur Wien Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Dr. Florian Borgwardt, Dr. Günther Unfer
Schlagwörter:	PKD, brown trout, water temperature, climate change
Projektgesamtkosten:	250,000 €

Allgemeines zum Projekt	
Fördersumme:	250,000 €
Klimafonds-Nr:	B670143, ACRP9 - ClimateTrout - KR16AC0K13263
Erstellt am:	01.03.2021

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Süßwasser-Ökosysteme werden heutzutage auf vielfältige Art und Weise bedroht (Dudgeon et al. 2006). Der Klimawandel wird diese bestehenden Belastungen mit schädlichen Auswirkungen für aquatische Organismen noch verstärken. In Österreich berichten Studien bereits von steigenden Fließgewässertemperaturen (Melcher et al. 2013; Pletterbauer et al. 2015). Neben direkten Effekten wie höheren Wassertemperaturen oder verringertem Abfluss werden auch indirekte Effekte auftreten, d.h. veränderte Bedingungen der durch den Klimawandel begünstigten Prozesse, die wiederum die Lebensräume der Biota zusätzlich verändern. Einer dieser Prozesse ist die zunehmende Abundanz von Moostierchen und Malacosporenparasiten, wie *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Hari et al. 2006; Tops et al. 2006).

Die Proliferative Nierenerkrankung (PKD) ist eine parasitäre Erkrankung von Salmoniden, die durch *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa: Malacosporea) verursacht wird (Feist und Bucke 1993; Hedrick et al. 1993; Canning et al. 2000; Okamura et al. 2011). Der Lebenszyklus des Parasiten umfasst Bryozoen als wirbellose Hauptwirte und Salmoniden, wie die Bachforelle, als Wirbeltierwirte. Die Krankheit ist temperaturabhängig, da klinische Anzeichen und PKD-bedingte Mortalität bei Salmoniden bei Wassertemperaturen über 15°C zunehmen (Clifton-Hadley et al. 1986; Ferguson 1981; Bettge et al. 2009a; Bettge et al. 2009b).

Ziel des Projekts „ClimateTrout“ war die Untersuchung der Interaktion zwischen thermalen Regimen, Bryozoen, Bachforellen für die Entstehung und Verbreitung der (PKD) im Zusammenhang mit dem Klimawandel in Österreich auf Basis von vier Fallstudien an österreichischen Flüssen.

Die Ergebnisse der beiden Feldforschungsperioden in den Jahren 2017 und 2018 zeigen eine weite Verbreitung sowohl des Erregers der PKD (*T. bryosalmonae*) als auch des wirbellosen Wirts (Bryozoenkolonien) in allen Fallstudienflüssen. Was den Fischwirt, die Bachforelle, betrifft, so wurden abnehmende Bachforellenpopulationen ersichtlich, insbesondere in Wulka, Ybbs und Traun. Wir konnten diese Situation bestätigen. In der Wulka wurde aufgrund von Vorstudien eine vitale Bachforellenpopulation erwartet, aber das Gegenteil war der Fall. Überraschenderweise gab es im Kamp trotz einer hohen PKD Prävalenz eine vitale Bachforellenpopulation. Die Prävalenz der infizierten Bachforellen in den unteren Flussabschnitten aller Fallstudien erreichte 100%.

Hinsichtlich der Wassertemperaturen wurde ersichtlich, dass im unteren Verbreitungsgebiet der Bachforelle die thermalen Regime Temperaturen erreichen, die das Auftreten von PKD begünstigen, und dass entsprechende Grenzwerte über längere Phasen hinweg überschritten werden.

Die Ergebnisse des Tierversuches zeigen, dass die Morbidität von infizierten Bachforellen die bei 19°C und 22°C gehalten werden signifikant höher ist, als die der bei 16°C gehaltenen Tiere. Zusätzlich kam es bei den bei höheren Wassertemperaturen (19°C, 22°C) gehaltenen Tieren zu einer schnelleren Zunahme der klinischen Symptome.

Im Zuge von ‚ClimateTrout‘ wurde ein Risiko-Bewertungsschema entwickelt, das eine österreichweite Abschätzung ermöglicht, ob und wie stark PKD auftreten kann. Weiters wurden für die Bachforelle physiologisch kritische Temperaturen berücksichtigt. Als Grundlage dienten Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur. Weiters wurde auf Basis des österreichischen Messnetzes für Wassertemperaturen in Flüssen ein Wassertemperatur-Modell erstellt, um die thermalen Regime für alle Gewässer abschätzen und den Einfluss des Klimawandels berücksichtigen zu können. Dabei wurde auf Hitzephase fokussiert, die über das 95%-Quantil (also einen Wert, der ca. 2 Wochen im Jahr überschritten wird) charakterisiert wurden. Dabei zeigte sich insbesondere, dass die aktuellen Temperaturverhältnisse bereits sehr nah an dem ‚near future‘ RCP4.5 Szenario liegen (+0,6 bis +0,9°C). Im ‚business-as-usual‘ Szenario kam es bis Ende des 21. Jahrhunderts zu massiven Veränderungen im thermalen Regime der Flüsse +3 bis >5°C).

Diese Veränderungen zeigen auch Auswirkungen auf die Lebensräume der Bachforelle, die sich durch den Einfluss der Erwärmung verringern. Der Anteil an Flussstrecken in den PKD Vorkommen und insbesondere auch Ausbrechen kann nehmen sehr stark zu. Im RCP8.5 „far future“ Szenario wächst der Anteil an Flussabschnitten in denen physiologisch kritische Temperaturen (2 Wochen >19,5°C) drastisch an.

ClimateTrout liefert wertvolle Hinweise, um den Herausforderungen, die durch den Klimawandel in Fließgewässerökosystemen entstehen, gewachsen zu sein. Der Aspekt, dass Krankheiten neu und verstärkt auftreten können, und so einen Einfluss auf die Tiere wie z.B. die Bachforelle ausüben, wurde bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Dies hat auch Implikationen für das Management der Ökosysteme.

2 Executive Summary

Freshwater ecosystems are under pressure in manifold ways (Dudgeon et al. 2006). Climate change will add to these existing pressures with adverse effects on aquatic organisms. In Austria, studies already report rising stream water temperatures (Melcher et al. 2013; Pletterbauer et al. 2015). In addition to direct effects such as higher water temperatures or reduced runoff, indirect effects will also occur, i.e. changed conditions under climate change will favour processes that in turn additionally change the biota habitats. One of these processes is the increasing abundance of bryozoans and malacospores parasites, such as *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Hari et al. 2006; Tops et al. 2006).

Proliferative kidney disease (PKD) is a parasitic disease of salmonids caused by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa: Malacosporea) (Feist und Bucke 1993; Hedrick et al. 1993; Canning et al. 2000; Okamura et al. 2011). The life cycle of the parasite includes freshwater bryozoans as main invertebrate hosts and salmonids, like the brown trout, as vertebrate hosts. The disease is temperature dependent, as clinical signs and PKD-related mortality in salmonids increase at water temperatures above 15°C (Clifton-Hadley et al. 1986; Ferguson 1981; Bettge et al. 2009a; Bettge et al. 2009b).

The aim of the ClimateTrout project was to study the interaction between thermal regimes, bryozoans, brown trout and the development of proliferative kidney disease (PKD) in four Austrian rivers in the context of climate change. Accordingly, this project dealt with emerging pressures in rivers in the context of climate change.

The results of the two field campaigns in 2017 and 2018 show a wide distribution of both, the PKD pathogen (*T. bryosalmonae*) and the invertebrate host bryozoan colonies, in all case study rivers. Concerning the fish host, a decreasing population of brown trout in the lower sections of two rivers has been described (Ybbs, Traun). We could confirm this situation. In one case study river (Wulka) we expected a vital brown trout population, but the opposite was the case. In the Kamp there is a vital brown trout population despite the high PKD prevalence in the lower sections of the river. The prevalence of infected brown trout in the lower river sections of all case studies reached 100%. In the upper sections of the river the brown trout populations are not affected by the parasite.

With regard to water temperatures, it was shown that in the lower distribution area of brown trout in the case study rivers, the observed thermal regimes feature temperatures that favour the occurrence of PKD and that corresponding temperature thresholds are exceeded over longer phases.

The results of the animal experiment show that the morbidity of infected brown trout kept at 19°C and 22°C is significantly higher than that of those kept at 16°C. In addition, animals kept at higher water temperatures (19°C, 22°C) showed a more rapid increase in clinical symptoms.

In the course of ClimateTrout, a risk assessment scheme was developed which enables an Austrian-wide assessment of whether and to what extent PKD can occur in rivers. Furthermore, for brown trout physiologically critical temperatures were considered. The basis for this was provided by findings from the scientific literature. Furthermore, a water temperature model was developed on the basis of the Austrian measuring network for water temperatures in rivers in order to estimate the thermal regime for all water bodies and to consider the influence of climate change. The focus was on heat phases that were characterized by the 95% quantile (i.e. a value that is exceeded for about 2 weeks per year). In particular, it was shown that the current temperature conditions are already very close to the 'near future' RCP4.5 scenario (+0.6 to +0.9°C). In the 'business-as-

usual' scenario there were massive changes in the thermal regime of the rivers (+3 to >5°C) by the end of the 21st century.

These changes also show effects on brown trout habitats, which are diminishing due to the influence of warming. The proportion of river stretches in PKD occurrences, and in particular eruptions, can increase very sharply. In the RCP8.5 "far future" scenario, the proportion of river sections in which physiologically critical temperatures (2 weeks >19.5°C) increase dramatically.

ClimateTrout provides valuable information on how to meet the challenges posed by climate change in river ecosystems. The aspect that diseases can occur in new and increased numbers, and thus have an influence on the animals, such as brown trout, has received little attention so far. This also has implications for ecosystem management.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Nach Angaben des International Panel for Climate Change (IPCC) scheint es sehr wahrscheinlich, dass die globale Oberflächentemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um 2-4°C ansteigen wird.

Laut Austrian Panel on Climate Change (APCC) wird die Erwärmung im alpinen Raum am oder sogar über dem europäischen Durchschnitt liegen; eine zu erwartende Zunahme der Niederschläge im Winter und eine Abnahme im Sommer ist sehr wahrscheinlich; eine deutliche Zunahme der heißen Tage im Sommer ist sehr wahrscheinlich (Kromp-Kolb et al. 2014). Auch wenn es Hinweise auf einen durchschnittlichen Anstieg der Fließgewässertemperaturen in Österreich gibt (Markovic et al. 2013; Melcher et al. 2013), fehlen detaillierte Informationen darüber, wie sich das thermische Regime in Bezug auf Extremereignisse bzw. in Bezug auf ökologisch relevante Charakteristika wie Überschreitungszeiten für Kaltwasserarten verändern kann. Die meisten Informationen hängen mit Änderungen der mittleren Temperaturen zusammen, während ökologisch relevante Prozesse eher von minimalen und maximalen Schwellenwerten sowie der Dauer von Überschreitungsperioden von Schwellenwerten getrieben werden. Daher ist das Verständnis über die Zusammenhänge zwischen Klimawandel, induzierten Auswirkungen auf die Fließgewässertemperaturen und deren Folgen für die Fließgewässerökologie noch relativ gering.

Die Bachforelle ist eine in den österreichischen Fließgewässern weit verbreitete autochthone Art, die vor allem in Kaltwassergebieten vorkommt. Aus Sicht der Fischerei ist sie der wichtigste Wild- und Aquakulturfisch in Österreich. Die Bachforelle ist in der Öffentlichkeit weithin bekannt und dient daher nicht nur in der ökologischen Bewertung, sondern auch im öffentlichen Bewusstsein als Flaggschiffart. Der hohe Erholungs- und Handelswert dieser Art untermauert ihre Priorität für Erhaltungs- und Managementbemühungen, was wiederum ein hohes Verständnis der Prozesse erfordert, die sich auf ihre Verbreitung und Populationen auswirken (Filipe et al. 2013).

Die Fließgewässertemperaturen beeinflussen alle Lebensstadien ektothermer Fische auf vielfältige Weise, z.B. die Entwicklung, den Stoffwechsel, die Fruchtbarkeit, die Fitness oder das Fressverhalten. Bachforellen haben eine begrenzte Toleranz gegenüber hohen Wassertemperaturen und könnten durch die Überschreitung von Wassertemperaturschwellen negativ beeinflusst werden (Hari et al. 2006; Lahnsteiner et al. 2011; Elliott 2000). In Flüssen stellt nicht die unmittelbar tödliche Temperatur eine Bedrohung für die Art dar, sondern längere Temperaturperioden in suboptimalen Bereichen, die die Fitness verringern und die Anfälligkeit für Krankheiten erhöhen. Dementsprechend wird ClimateTrout die Fließgewässertemperaturen mit zeitlich hoher Auflösung (1-Stunden-Intervall) bewerten, um Indikatoren für die temperaturbedingte Anfälligkeit der Bachforelle zu identifizieren.

Die Fließgewässererwärmung infolge des Klimawandels kann ein weiteres Risiko für die Gesundheit der Bachforellen mit sich bringen: Wenn die Erhöhung der Wassertemperatur zu einem Anstieg der Inzidenz parasitärer Krankheiten führt, werden die Bachforellenbestände und -populationen stärker unter Krankheiten leiden. Höhere Temperaturen könnten die Krankheitsprävalenzraten durch positive Auswirkungen auf die Fitness der Parasiten in einem geschwächten Wirt zusätzlich steigern (Epstein 2001; Wrona et al. 2006; Karvonen et al. 2010). Längere warme Temperaturperioden wiederum können die Übertragungssaison verlängern, was zu einer höheren Prävalenz von Infektionen und weiter verbreiteten Epidemien führen kann. Schließlich kann sich die Verbreitung von Parasiten aufgrund von einem häufigeren Vorkommen geeigneter Umweltbedingungen und höheren Wirtshäufigkeiten erhöhen (Harvell et al. 2002; Marcogliese 2008). Daher ist es sehr wichtig, bessere Informationen über die Abhängigkeiten zwischen den Veränderungen der thermalen Regimes und den direkten und indirekten Auswirkungen auf Fische zu erhalten. Prozesse wie die Entstehung von Krankheiten hängen eher mit der Dauer der Überschreitung von Temperaturschwellen (z.B. Zeitraum der Wassertemperatur über 15°C) zusammen, die es den Krankheitserregern ermöglicht, ihren Lebenszyklus zu vollenden. Im Gegenzug erfahren Fische bereits dann Stress, wenn die Temperatur ihren optimalen Bereich verlässt. Daher verringern Fließgewässertemperaturen im suboptimalen Bereich die Fitness der Individuen und erhöhen die Krankheitsanfälligkeit. Folglich wird die Verbreitung der Arten nicht nur durch letale Temperaturen bestimmt.

Bryozoen sind die wirbellosen Wirte von Malacosporenparasiten, vor allem von *Tetracapsuloides bryosalmonae*, dem Erreger der Proliferativen Nierenerkrankung (PKD) bei Salmoniden (Morris und Adams 2006; Okamura et al. 2011). PKD ist eine temperaturabhängige, schwere parasitäre Krankheit, die sowohl Zucht- als auch Wildsalmoniden bedroht. Die durch PKD verursachten wirtschaftlichen Kosten haben für die britische Aquakulturindustrie aufgrund von Bestandsverlusten, geringeren Futterverwertungsraten und höheren Arbeitskosten bis zu 1.800.000 £ [ca. 2.500.000€] pro Jahr erreicht. Zu den klinischen Anzeichen der PKD gehören die Dunkelfärbung der Haut, Anämie,

abdominale Distension, beidseitiger Exophthalmus, Aszites, eine stark vergrößerte Niere und Splenomegalie (El-Matbouli und Hoffman 2002). Schwere Entzündungen in der Niere sind mit einer Mortalität verbunden, die bei infizierten Fischen zwischen 5% und 100% liegt. Im Sommer 2014 wurde erstmals die PKD bei einheimischen Bachforellen im Kamp in Österreich bestätigt (Unfer et al. 2015); dies war die erste offizielle Bestätigung des Vorkommens eines hoch pathogenen Malacosporenparasiten in einem österreichischen Gewässer (Gorgoglione et al. 2016).

Es ist zu erwarten, dass der Klimawandel Ausbrüche der PKD verschlimmern und das geografische Verbreitungsgebiet der PKD vergrößern wird (Tops et al. 2009). Dies zeigte sich im August 2016, als *T. bryosalmonae* Tausende von Fischen im Yellowstone River in Montana mit einer Sterblichkeitsrate von 90% tötete (http://fwp.mt.gov/news/newsReleases/headlines/nr_4278.html).

Der Bestand an Bachforellen ist in den österreichischen Flüssen wie auch in anderen europäischen Ländern, z.B. in der Schweiz, rückläufig (Fischnetz 2004). Inzwischen wurde ein Ausbruch der PKD bei wildlebenden Bachforellen in Österreich gemeldet, der möglicherweise bereits für einen Rückgang der Bachforellenpopulationen verantwortlich ist (Gorgoglione et al. 2016). Über die Auswirkungen der PKD auf die Populationen und die Faktoren, die zum Ausbruch der Krankheit führen, wird jedoch noch immer spekuliert. Als Hauptursachen für den Rückgang der Bachforellenpopulationen werden verschiedene anthropogene Belastungen der Flusslandschaft wie Kanalisierung, Habitatverschlechterung oder reduzierte Konnektivität vermutet (Lahnsteiner et al. 2009; Lahnsteiner et al. 2011; Okamura et al. 2011). Darüber hinaus wird angenommen, dass sich der Klimawandel negativ auf den Lebensraum der Bachforelle auswirkt (Filipe et al. 2013). In der Schweiz, Norwegen, Estland und Slowenien wurde der Rückgang der Populationen wildlebender Bachforellen auch mit *T. bryosalmonae* und PKD in Verbindung gebracht (Wahli et al. 2002; Sterud et al. 2007; Dash und Vasemägi 2014; Jencic et al. 2014). Da sich die Wassertemperatur direkt auf die Schwere und das Fortschreiten von *T. bryosalmonae* in Salmoniden- und Bryozoenwirten auswirkt (Tops et al. 2006; Okamura et al. 2011; El-Matbouli et al. 1992), werden die Auswirkungen veränderter Parasiten-Wirt-Beziehungen den Auswirkungen des Klimawandels und den anderen bestehenden anthropogenen Belastungen in Flüssen überlagert. Die Kombination verschiedener Auswirkungen kann synergetisch wirken, um die negativen Auswirkungen auf die Bachforellenpopulationen zu verschärfen. Hier ist weitere Forschung erforderlich, um die Beziehungen zwischen den verschiedenen Akteuren zu bewerten.

Die tatsächliche Verbreitung von Bachforellen, Moostierchen und Malacosporen-Parasiten war in österreichischen Flüssen unbekannt. Daher war ein qualitatives und quantitatives Monitoring der Malacosporenparasiten in österreichischen Flüssen erforderlich. Ziel von ClimateTrout war es, das Vorkommen von Bryozoen, die Prävalenz von *T. bryosalmonae* in Bryozoenkolonien und die Auswirkungen auf Bachforellen in vier österreichischen Flüssen (Kamp, Traun, Ybbs, Wulka) zu untersuchen. Damit lieferte diese Studie eine erste Einschätzung

über die sich verändernden Wirt-Parasit-Interaktionen aufgrund des Klimawandels in Österreich. Die besondere Berücksichtigung der Temperatur ermöglichte es, ein Szenario über die Auswirkungen der globalen Erwärmung im Zusammenhang mit einer möglichen Zunahme der PKD und deren Auswirkungen auf die Bachforelle zu erstellen. Damit stellte ClimateTrout ein herausragendes Beispiel für die Verbindung von Grundlagen- und angewandter Forschung zu einem neuen Thema dar.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

ClimateTrout untersuchte die Wechselwirkung zwischen thermalen Regimen, Bryozoen, Bachforellen und der Entstehung der Proliferativen Nierenerkrankung (PKD) in vier österreichischen Flüssen im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Dementsprechend befasste sich dieses Projekt mit neu auftretenden Belastungen in Flüssen im Zusammenhang mit dem Klimawandel.

Die Ziele von ClimateTrout waren:

- die Untersuchung einer temperaturempfindlichen Art (Bachforelle)
- Identifizierung von Lebensräumen, die für den Klimawandel anfällig sind (Kaltwasserflüsse)
- Veränderungen in Ökosystemprozessen im Zusammenhang mit dem Klimawandel beschreiben (Wassertemperatur und thermale Regime)
- Auseinandersetzung mit den Auswirkungen von Krankheitserregern (Malacosporenparasiten) und ihrem wahrscheinlich zunehmenden Auftauchen aufgrund des Klimawandels
- Bewertung eines temperaturabhängigen Risikos für den Ausbruch von PKD und PKD-bedingte Todesfälle bei Bachforellen in österreichischen Flüssen
- Beratung bei der Entwicklung robuster Bewirtschaftungsstrategien zur Erhaltung von autochthonen Forellenpopulationen im Lichte des Klimawandels und anderer menschlicher Einflüsse

Um die gesetzten Ziele zu erreichen wurde die Arbeit des Projekts in sechs Arbeitspakete (Work Packages - WP) gegliedert. Im Rahmen dieser Arbeitspakete wurden dann definierte Aktivitäten durchgeführt um die gesetzten oben genannten Ziele zu erreichen.

WP1 Projektmanagement und Disseminierungsaktivitäten

Wie bereits im Titel beschrieben waren die Hauptaufgaben dieses WPs das Projektmanagement also Organisation von Treffen, projektinterner Wissenstransfer und Planung der nächsten Schritte als auch Disseminierungsaktivitäten wie Publikationen, Teilnahme an Konferenzen und die Organisation des Projektworkshops.

WP2 Feldarbeit

Die Feldarbeit wurde in drei Teilbereiche gegliedert.

WP2.1 Beurteilung der Bryozoen im Feld

WP2.2 Beprobung der Bachforellen

WP2.3 Aufzeichnung der Fließgewässertemperaturen

WP3 Laborarbeit

WP3 fasste alle Aufgaben im Zusammenhang mit Laborarbeit zusammen. Dazu zählte die Beurteilung von Bryozoen, molekularbiologischen Analysen, die Histologie sowie der Tierversuch.

WP4 Analysen der Fließgewässertemperaturen und Modellierung zukünftiger Überschreitungsperioden in österreichischen Flüssen

Dieses Arbeitspaket untersuchte die thermalen Regime österreichischer Flüsse auf Basis von Wassertemperaturdaten von Bundespegelstationen, die vom hydrologischen Dienst zur Verfügung gestellt wurden, und Fließgewässertemperaturdaten, die während des Projekts aufgezeichnet (WP2.3) wurden. Beide Datenquellen lieferten Aufzeichnungen in stündlicher Auflösung, die unter Berücksichtigung von Überschreitungsperioden kritischer Temperaturschwellenwerte für Bachforellen bewertet wurden.

WP5 Künftige Verbreitung der Bachforelle

Es wurde mittels Verbreitungsmodellierung, einer gut etablierten Technik zur Bewertung des biogeografischen Verbreitungsgebiets einer Art, die zukünftige Verbreitung der Bachforelle modelliert. Dabei wurden verschiedene Variablen wie die zukünftigen Klimabedingungen und einige Umweltfaktoren wie z.B. Flussabhang, Geologie, Landnutzung berücksichtigt.

WP6 Synthese - Verknüpfung gesammelter Erkenntnisse mit dem Rückgang der Bachforellenpopulationen

Da das ClimateTrout Projekt Forschung aus verschiedenen Bereichen kombinierte, diente WP6 als abschließende Zusammenfassung, um die sektoralen Ergebnisse der anderen WPs zusammenzufassen und sie zu neuen und wertvollen Informationen für das Ökosystemmanagement und die Erhaltung der biologischen Vielfalt zu kombinieren.

Die oben genannten Aktivitäten führten zu Ergebnissen, die nun nach Arbeitspaketen gegliedert beschrieben werden.

WP1 Projektmanagement und Disseminierungsaktivitäten

Der erste Schritt war die Erstellung des Projektlogos und der Projekthomepage. Diese wurde im September 2017 unter folgendem Link online gestellt.

<http://climatetrout.boku.ac.at/index.php/homed.html>. Die Webseite ist auf Deutsch als auch auf Englisch verfügbar um alle Informationen für die nationalen Interessenvertreter und die internationale Forschungsgemeinschaft zugänglich zu machen.

Es wurden regelmäßig Treffen abgehalten um den Wissenstransfer zu gewährleisten, Ergebnisse zu besprechen und die nächsten Schritte sowie Publikationsstrategien zu planen. Zusätzlich herrschte intensiver Informationsaustausch per E-Mail, Telefon und Telekommunikation.

Der zweite essentielle Teilbereich des WP1 waren die Disseminierungsaktivitäten. Die Projektergebnisse wurden auf zahlreichen Konferenzen und Stakeholder-Treffen (siehe Punkt 8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten) sowie auf dem ClimateTrout-Workshop präsentiert. Der Workshop fand am 7. November 2019 an der VetMedUni Wien für die interessierte Öffentlichkeit und Stakeholder statt. Etwa 40 Personen aus Verwaltung, Forschung und Fischerei folgten der Einladung, sich zum Thema Proliferative Nierenkrankheit (PKD) in Österreichs Fließgewässern und den möglichen Auswirkungen des Klimawandels informieren zu lassen, und die zukünftigen Herausforderungen zu diskutieren.

In einem abwechslungsreichen Programm wurden den BesucherInnen Hintergründe zu Klimawandel und PKD sowie die Ergebnisse aus ClimateTrout vorgestellt. Der Schweizer Thomas Wahli ergänzte die nationale Sichtweise der ClimateTrout-ExpertInnen mit den Erfahrungen und Erkenntnissen aus der Schweiz, in der die PKD seit mehr als 10 Jahren als möglicher Mitverursacher für den Rückgang der Bachforellen-Populationen erforscht wird.

In der Diskussion wurden die Auswirkungen auf das Management der Fließgewässer besonders ins Auge gefasst. Ein entscheidender Faktor ist das fischereiliche Management. Da die PKD nicht meldepflichtig ist, kann die Krankheit durch Besatzmaterial eingebracht werden. Ebenso können durch Besatz erzielte Dichten die Ausbreitung der Krankheit begünstigen. Hinsichtlich Klimawandel-Auswirkungen wurde angesprochen, dass das Gewässer-Management ganzheitlicher umgesetzt werden muss. Das alleinige Management von Fischbeständen ist in Anbetracht der sich ständig ändernden Umweltbedingungen nicht ausreichend. Die Info-Veranstaltung war ein erster wichtiger Schritt, um das Bewusstsein für PKD zu schärfen.

Im Rahmen von ClimateTrout wurden bereits ein Review über PKD und zwei Forschungsartikel in Fachzeitschriften mit Peer-Review veröffentlicht (siehe Punkt 8 - Publikationen und Disseminierungsaktivitäten). Ein weiterer Forschungsartikel ist in Arbeit.

WP2 Feldarbeit

Das Untersuchungsgebiet der Feldarbeiten umfasste den nordöstlichen Teil Österreichs und schloss den Übergang von alpinen Gebieten zum Flachland ein. Die Feldarbeit der drei Teile in WP2 erstreckte sich auf die gleichen Abschnitte in den vier Fallstudienflüssen: Traun, Ybbs, Kamp und Wulka (Abbildung 1).

Die Flüsse wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt: Sie mussten im nordöstlichen Teil Österreichs liegen und die Flüsse mussten das untere Verbreitungsgebiet der Bachforellen abdecken.

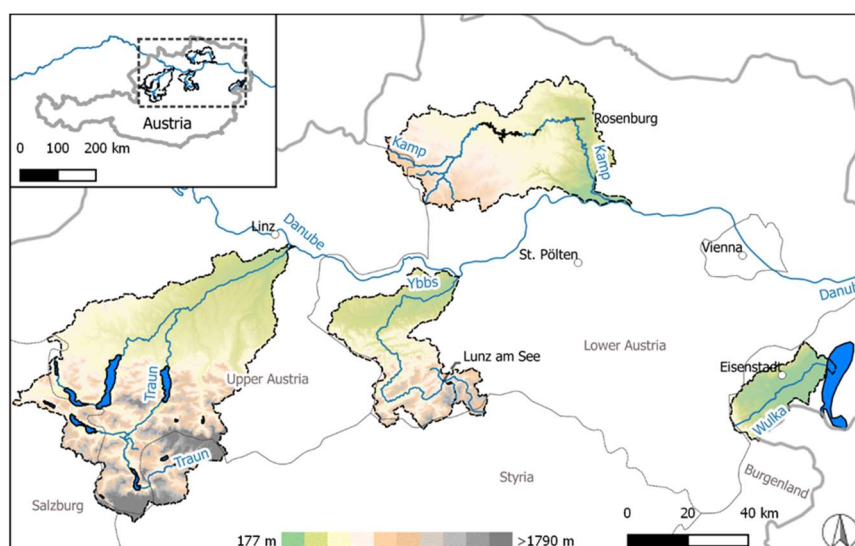


Abbildung 1: Überblick über die vier Fallstudienflüsse und ihrer Topographie

WP2.1 Bewertung von Bryozoen im Freiland

Während der Felduntersuchungen im Jahr 2017 wurden in jedem Fallstudienfluss Bryozoenkolonien entdeckt.

Im Fallbeispiel Kamp wurden Moostierchenkolonien an zwei Standorten (Fischaufstieg Rosenberg, Dürnbergbach), in der Traun an drei Standorten (Mündung Rettenbach, Ausrinn Hallstätter See, Goiserner Mühlbach), in der Ybbs an einem Standort (unterer Seebach) und in der Wulka an zwei Standorten (Siegendorfer Straße, Trausdorf) gefunden. Nur die in der Siegendorfer Straße (Wulka) gefundenen Kolonien wurden positiv auf die Parasiten-DNA getestet.

Die Wasserbeprobung mit anschließendem eDNA-Nachweis mittels PCR während der Feldbeprobungskampagne im Jahr 2018 zeigte eine weitere Verbreitung von *F. sultana* in den Fallstudienflüssen als die makroskopische Suche 2017. Die detaillierten Ergebnisse dieser Probenahme sind in Tabelle 1 aufgeführt.

*Tabelle 1: Die Anzahl der Standorte, an denen Wasserproben entnommen wurden und die Anzahl der Orte mit positiven Testergebnissen für *F. sultana* und *T. bryosalmonae*, ist pro Fluss angegeben.*

Fluss	Anzahl an Probenahme stellen (n)	Anzahl an <i>F. sultana</i> Fundstellen (n)	Anzahl an Fundstellen mit <i>T. bryosalmonae</i> Nachweis (n)
Kamp	16	9	3
Ybbs	6	1	0
Traun	7	6	0
Wulka	5	4	3

WP2.2 Probenahme bei Bachforellen

Die Studie konzentrierte sich auf die Bachforelle als Flaggschiffart in österreichischen Flüssen. Dementsprechend wurden Bachforellen durch eine halbquantitative Elektrofischerei (catch per unit effort) in den Flussabschnitten der Fallstudienflüsse beprobt (Abbildung 2). Die Probenahmestandorte wurden so gewählt, dass möglichst ein Bild der Längsverteilung der PKD in den Flüssen mit Fokus auf die untere Verbreitungsgrenze der Bachforelle entsteht. Grundsätzlich wurden so viele Fische beprobt, bis eine Stichprobengröße von mindestens 10 Fischen erreicht war. Für jeden Abschnitt wurde die Zeit und die Abschnittslänge, die für die Entnahme der Probe benötigt wurde, aufgezeichnet. Es war jedoch nicht an allen Gewässern möglich, die gewünschte Probenmenge zu erhalten, da die Bachforellenbestände in einigen Bereichen sehr gering waren. Die Probenahme wurde mit einem tragbaren, benzinbetriebenen Rucksackgerät durchgeführt. Das Gerät des Herstellers Grassl hat eine Leistung von 1,5 kW und erzeugt ein Gleichstromfeld mit einer Spannung von ca. 300-600V. Die Leitfähigkeit der beprobten Flüsse variierte zwischen 130-450 μS . Alle Fischprobenahmen wurden mit Genehmigung der örtlichen Behörden durchgeführt. Elektrofischereierlaubnisse wurden für die gesamten Flussabschnitte eingeholt.

Die Beprobung lieferte Daten über die Abundanzen der Bachforellen für die Bewertung des Populationsstatus (WP5/6). Anschließend wurden die beprobten Bachforellen in das Labor der klinischen Abteilung für Fischmedizin der Veterinärmedizinischen Universität Wien (VetMedUni) transportiert. Die Bachforellenproben werden lebend in die Aquarien- und Laboreinrichtungen der VetMedUni, Wien, geliefert. Generell kann hinsichtlich des Bachforellenvorkommens gesagt werden, dass im Fallstudienfluss Kamp eine vitale Bachforellenpopulation sesshaft ist, während sich in den anderen untersuchten Flüssen ein gegenteiliges Bild zeigt. Im Fallstudienfluss Wulka wurde im Rahmen des Projekts ein drastischer Populationsrückgang zwischen

2010 und 2017 nachgewiesen, der mit PKD und einem Anstieg der Wassertemperatur in Verbindung gebracht werden konnte. Diese Erkenntnisse wurden zu einer Publikation zusammengefasst (Waldner et al. 2019). In Traun und Ybbs sind im Hauptstrom nur noch wenige Bachforellen zu finden. Mit den in dieser Studie erhobenen Daten kann dies jedoch nicht allein auf PKD und das thermale Regime der Flüsse zurückgeführt werden.

Insgesamt wurden 426 Bachforellen in 35 Flussabschnitten der vier Fallstudienflüsse mittels Elektrofischen gefangen (Abbildung 2), pathologisch untersucht und auf PKD getestet. Dasselbe Protokoll wurde auch mit 17 Bachforellen aus zwei Fischzuchten durchgeführt (Tabelle 3).

Die für jeden Fluss berechnete PKD-Prävalenz ist in Tabelle 2 aufgelistet. Die Prävalenz des Parasiten in den Bachforellenpopulationen nimmt in Fließrichtung des Gewässers zu. Während es in der Nähe der Quelle (obere Forellenregion) keine oder kaum infizierte Bachforellen gibt, steigt die Prävalenz bis zur Barbenregion hin auf bis zu 100 % an, wie in Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 2: Es wird die PKD-Prävalenz für jeden Fluss sowie die PKD-Prävalenz in der am weitesten flussabwärts gelegenen Stelle von jedem Fluss gezeigt.

Fluss	PKD-Prävalenz (%)	PKD-Prävalenz in der am weitesten flussabwärts gelegenen Stelle (%)
Kamp	36	100
Traun	32	67
Ybbs	20	100
Wulka	92	100

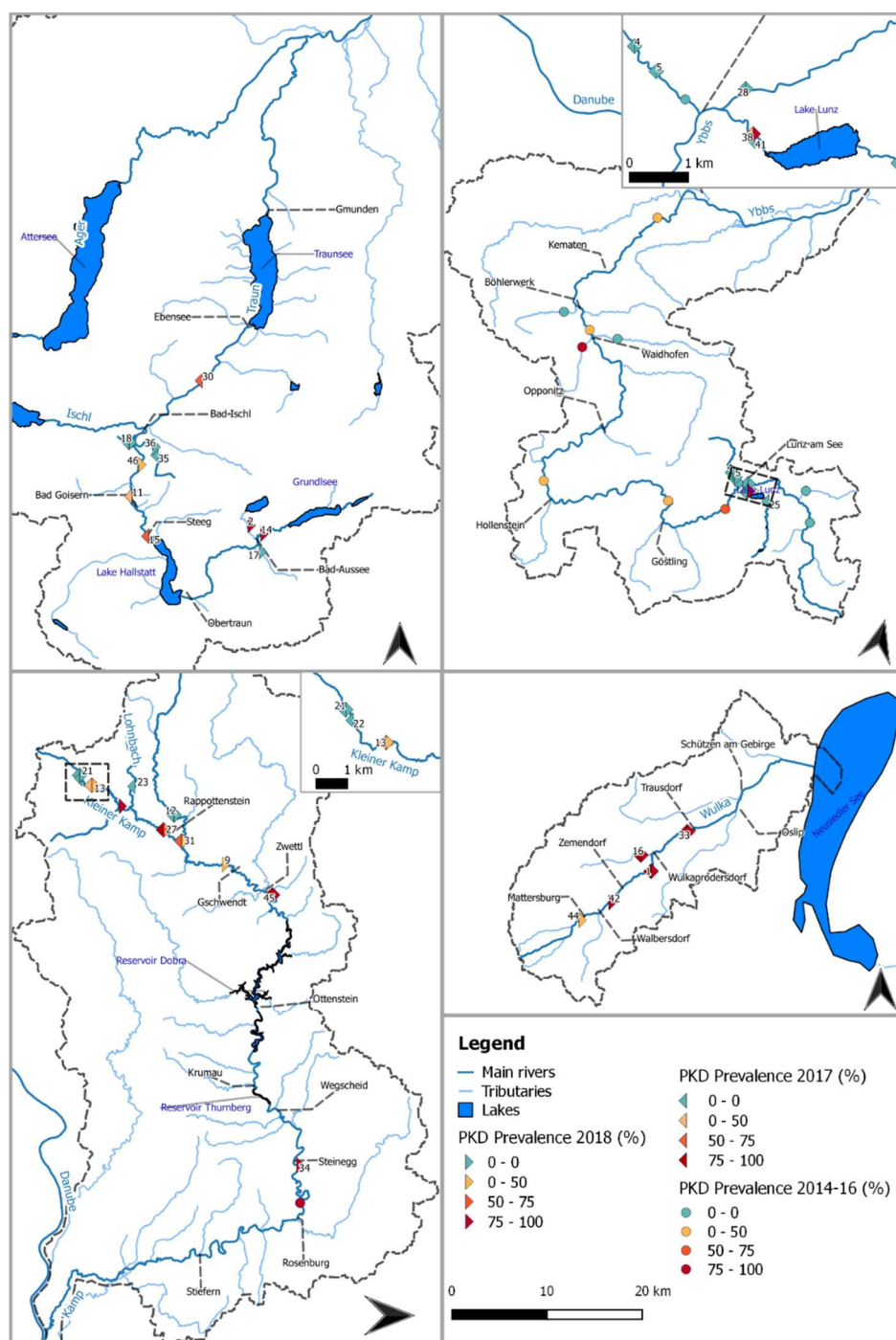
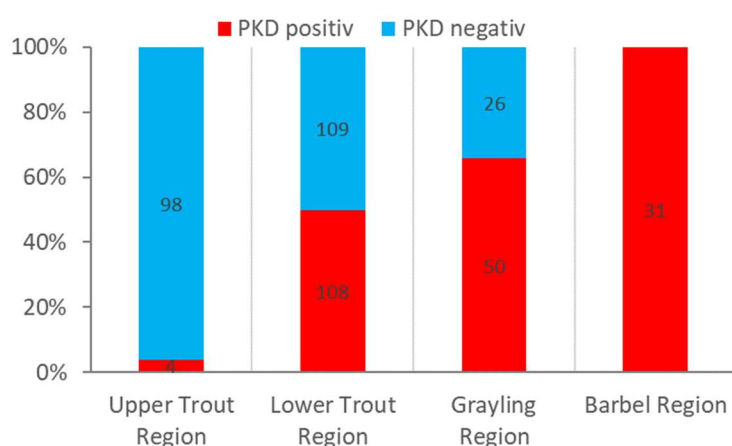


Abbildung 2: Bachforellen-Probenahmestellen der Feldkampagnen 2017/2018 an den vier Fallstudienflüssen einschließlich Prävalenz der PKD (%). Zusätzliche Daten der Jahre 2014 und 2016 wurden aus Lewisch et al., (2018), und Gorgoglione et al. (2016) übernommen.



*Abbildung 3: Die PKD-Prävalenz und Anzahl der mit *T. bryosalmonae* infizierten (PKD+) sowie nicht infizierten (PKD-) Bachforellen in den vier Fischregionen (Upper Trout region, Lower trout region, Grayling region, Barbel region) der vier Fallstudienflüsse ist dargestellt.*

Während der patho-anatomischen Untersuchung wurden alle pathologischen Veränderungen aufgezeichnet und mit den PCR-Ergebnissen verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die Mehrzahl der infizierten Fische keine PKD-Symptome wie eine Vergrößerung von Niere und Milz zeigten und daher als asymptomatische Carrierfische betrachtet werden können (Tabelle 3). Diese Carrierfische haben sich nach der Infektion mit dem Parasiten von den klinischen Symptomen erholt, scheiden aber weiterhin Sporen aus, die den Lebenszyklus von *T. bryosalmonae* aufrechterhalten. Aus diesem Grund sind die asymptomatisch infizierten Fische aus Fischzuchtanlagen besonders besorgniserregend, da diese äußerlich gesunden Bachforellen für den Besatz von Freigewässern verwendet werden und damit zur Verbreitung der Krankheit beitragen können.

Bei ungefähr der Hälfte der PKD-infizierten Bachforellen konnten klinische Symptome einer *T. bryosalmonae* Infektion wie die Vergrößerung von Niere und Milz beobachtet werden (Tabelle 3). Auf Basis der Daten von aus der Wulka entnommenen Bachforellen konnte gezeigt werden, dass bis auf eine Ausnahme alle Bachforellen, die klinische Anzeichen zeigten der 0+ Altersgruppe angehörten. Innerhalb dieser Altersklasse waren kleinere Fische signifikant stärker betroffen als größere Bachforellen.

Tabelle 3: Dargestellt ist die Anzahl der entnommenen, PKD-infizierten, symptomatischen (mit klinischen Anzeichen) und asymptomatischen Bachforellen.

Fluss	Probe- stellen (n)	Entnomm- ene Bach- forellen (n)	Min – max Fischlänge (cm)	Min – max Fisch- gewicht (g)	PKD- infizierte Bach- forellen (n)	Bach- forellen mit Symptom- en (n)	asymptom- atische Carrier- fische (n)
Kamp	10	150	5,3-28,6	1,4-202,4	54	23	31
Traun	10	105	4,5-41,0	1,3-873,9	34	15	19
Ybbs	7	76	6,5-25,7	2,1-169,2	15	2	13
Wulka	6	95	6,5-31,9	3,0-391,6	87	27	60
Fisch- betriebe	2	17			5	0	5

WP2.3 Aufzeichnung der Fließgewässertemperaturen

Obwohl ein gut ausgebautes Netz von Pegelstellen (einschließlich Aufzeichnung der Wassertemperatur) in Österreich existiert, gibt es kaum Längsprofile der Fließgewässertemperaturen (mehrere Messstellen im Längsverlauf desselben Gewässers). Die Wassertemperaturen wurden in den Jahren 2017 und 2018 an 51 Standorten an den vier Fallstudienflüssen erfolgreich mit stündlicher Auflösung aufgezeichnet. Davon wurden 20 Standorte von bestehenden Pegelstationen abgefragt und weitere 15 Temperaturlogger (iButton-Logger Maxim Integrated - DS1922L) wurden vom Projektteam im März/April 2017 bzw 2018 installiert und jeweils im folgenden Oktober ausgelesen.

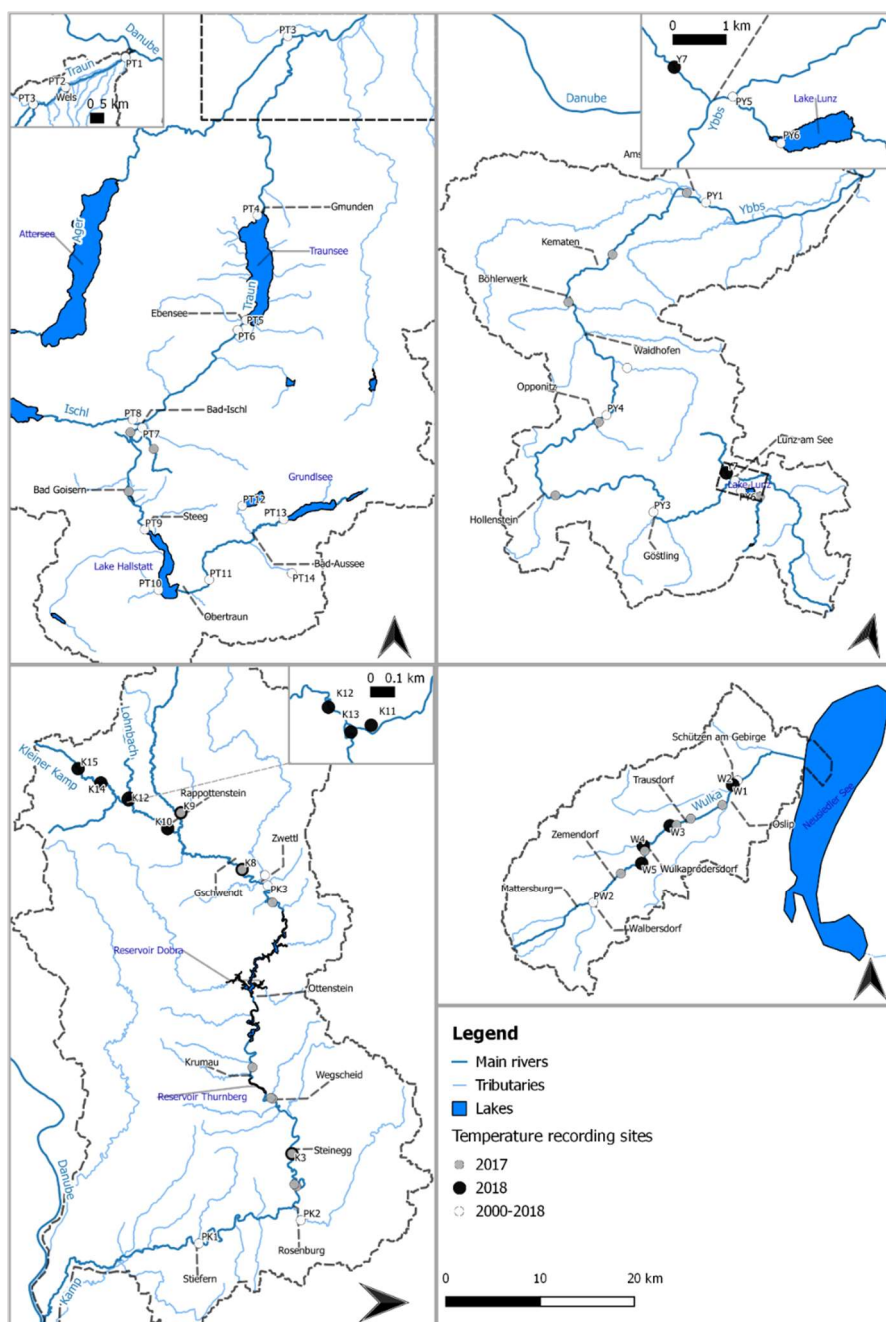


Abbildung 4: Überblick über die Wassertemperatur-Messstellen an den Untersuchungsflüssen der Feldkampagnen 2017 und 2018 sowie der vorhandenen Flusspegelstationen (Lewisch, Unfer, Pinter, Bechter, & El-Matbouli, 2018) (Gorgoglione, Kotob, Unfer, & El-Matbouli, 2016).

Tabelle 4: Überblick über die Daten zur Wassertemperatur (WT), die von hydrologischen Diensten und von Datenloggern, die die WT an den vier Fallstudienflüssen aufzeichneten, zur Verfügung stehen.

Catchment	WT gauging stations (n)	Period	WT logger 2015/2017 (n)	Period	WT logger 2018 (n)/new	Period
Kamp	2	01.2000 -09.2018	9	02.05. - 10.10.17	9/6	27.03.- 15.09.2018
Ybbs	5	01.2000 - 09.2018 01.2009 - 09.2018	5	20.05. - 12.10.17; 27.06. - 12.10.17	1/1	23.04.- 09.10.2018
Traun	11	01.2000 - 01.2018	3	13.07. - 11.10.17	-	-
Wulka	2	01.2000 - 10.2018	4	26.04. - 13.10.17	5/3	18.04. - 05.10.2018
Total	20		21		15/10	

WP3 Laborarbeit

Die Bewertung des Parasitismus in Bryozoenkolonien, molekularbiologische Analysen und histologische Untersuchungen wurden wie oben und in Punkt 6 "Methodik" beschrieben durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind oben in "WP2 Feldarbeit" dargestellt.

Ergebnisse Tierversuch

Während des Tierversuchs wurde jeder Fisch, der aufgrund klinischer Symptome eingeschläfert wurde, aufgezeichnet und eine Überlebenskurve erstellt (siehe Abbildung 5). Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, war das Überleben der infizierten Bachforellen bei 16°C signifikant höher als bei 19°C und 22°C. Ebenso war die Anzahl der DNA-Kopien (MSQ) im Nierengewebe der 16°C-Fische bei jedem Zeitpunkt der Probenahme signifikant niedriger als die der 19°C- und 22°C-Fische.

Darüber hinaus unterschied sich der Verlauf der Nierenvergrößerung zwischen den Temperaturgruppen. Bei 19°C und 22°C gab es einen schnelleren Anstieg des KSI (Index für Nierenvergrößerung) im Vergleich zu 16°C (siehe Abbildung 6).

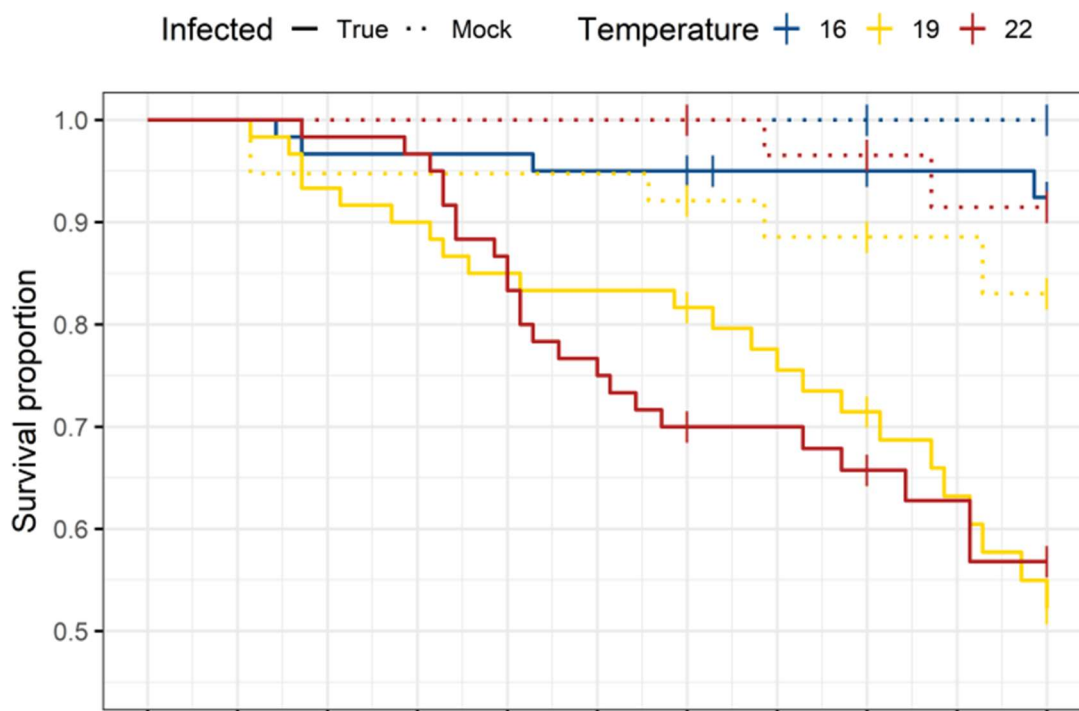


Abbildung 5: Survival Plot zeigt das Überleben der Bachforelle bei 16°C (blau), 19°C (gelb) und 22°C (rot). Kontinuierliche Linien zeigen das Überleben der infizierten Gruppen (True). Gestrichelte Linien zeigen das Überleben der Kontrollgruppen (Mock).

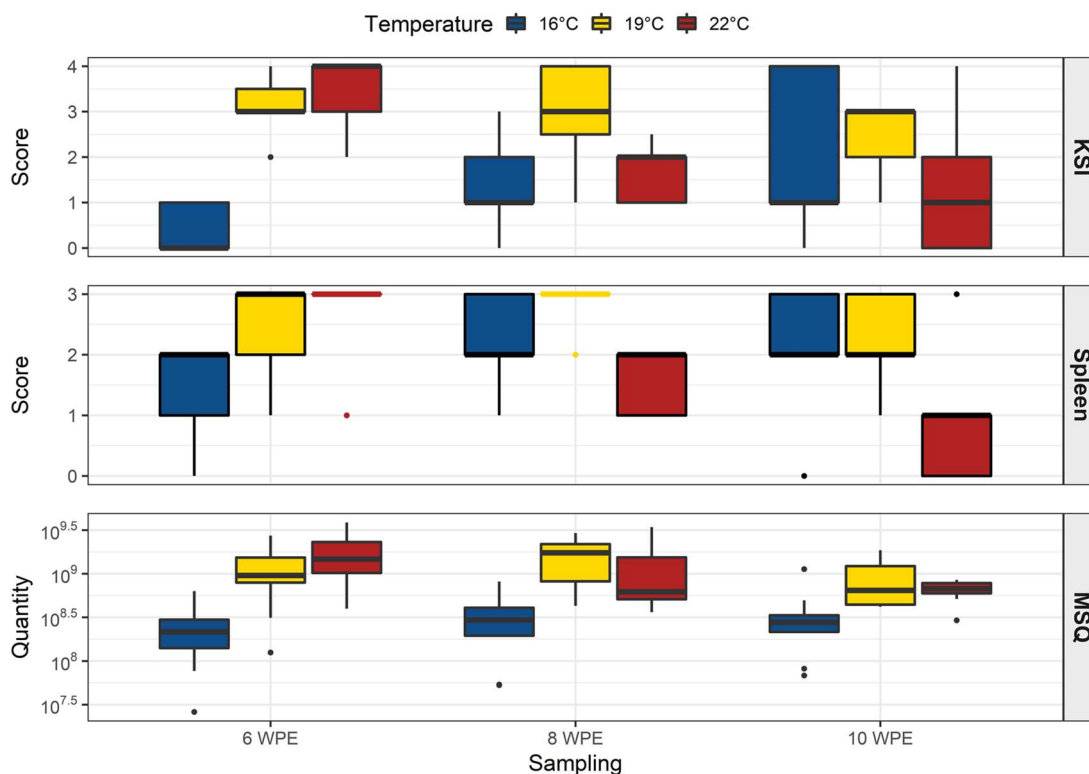


Abbildung 6: Box-Plots zeigen den KSI (Nierenschwellungsindex; Bereich: 0-4), Milz-Score (Bereich: 0-3) und MSQ (mittlere Standard-Quantifizierung der qPCR, die auf *T. bryosalmonae* abzielt) für die drei infizierten Temperaturgruppen (16°C in blau, 19°C in gelb, 22°C in rot) bei 6, 8 und 10 WPE (Wochen nach der Exposition).

WP4 Analysen der Fließgewässertemperaturen und Modellierung zukünftiger Überschreitungssperioden in österreichischen Flüssen

Um ein österreichweites Wassertemperaturmodell zu entwickeln, folgten wir den in Abbildung 7 dargestellten Schritten. Zunächst sammelten und berechneten wir die Parameter und Klimavariablen für die in Abbildung 4 dargestellten Standorte. Klimavariablen, wie Niederschlags- und Temperaturindizes, stammen aus dem auf dem CCCA-Datenserver veröffentlichten Datensatz der österreichischen Klimaszenarien ÖKS15 (Chimani et al., 2016). Dieser Datensatz enthält ein Klimaänderungssignal für die Variablen in naher und ferner Zukunft unter den Szenarien RCP4.5 ("wirksame Maßnahmen") und RCP8.5 ("business as usual").

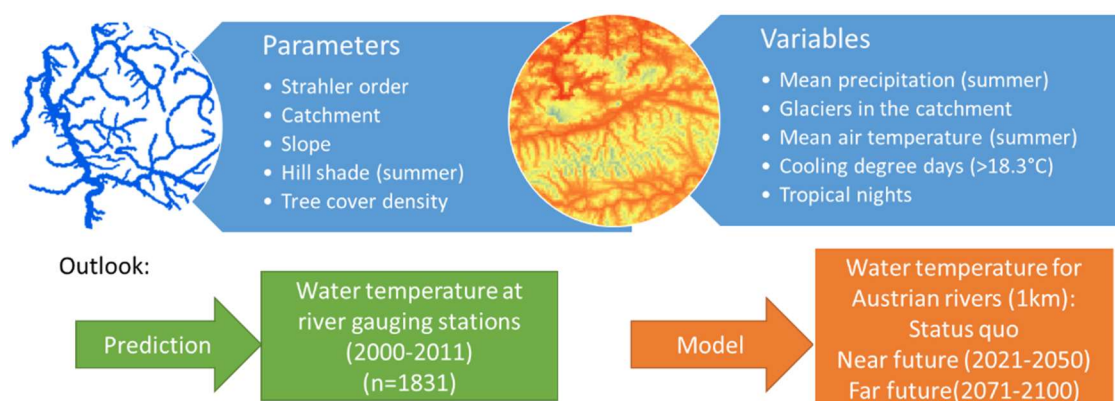


Abbildung 7: Schema des österreichweiten Wassertemperaturmodells.

Basierend auf diesen Parametern und Variablen wurde für die Flusspegelstationen im Zeitraum 2000-2011 ein sommerlicher extremer Wassertemperaturwert WTQ95 (°C) vorhergesagt, der in den Jahren nur um 18 Tage überschritten wird (Abbildung 8).

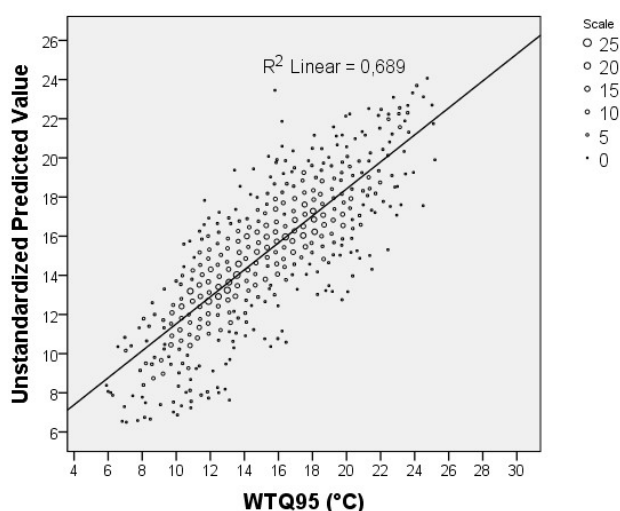


Abbildung 8: Lineare Beziehung der gemessenen Wassertemperaturdaten: WTQ95 (°C) mit den nicht standardisierten Vorhersagewerten des Temperaturmodells (n=1831).

Diese Trainingsdaten wurden für ein Wassertemperaturmodell, einschließlich Zukunftsszenarien, für 1km-Segmente aller österreichischen Flüsse verwendet (Strahler-Auftrag ≥ 3). Exemplarisch ist in Abbildung 9 das Signal der WTQ95 (°C)-Änderung für das Klimaszenario RCP4.5 ("wirksame Maßnahmen") im Vergleich zum Basisszenario (2000-2011) dargestellt. Der modellierte mittlere Anstieg von WTQ95 (°C) in naher Zukunft reicht von +0,6 - 0,9°C (RCP 4,5 - 8,5) und von +1,3 - 4,0°C bis zum Ende des Jahrhunderts (RCP 4,5 - 8,5).

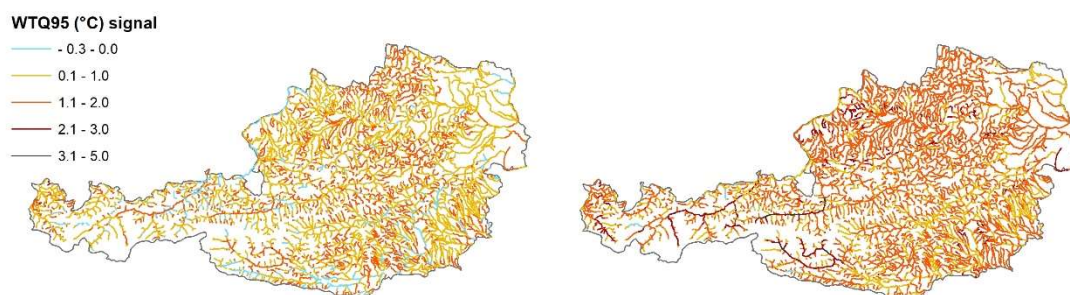


Abbildung 9: Signal der Änderung des Wassertemperaturmodells für WTQ95 (°C) in naher Zukunft (links) und ferner Zukunft (rechts) unter dem Klimaszenario 4.5 ("wirksame Maßnahmen") zum Basisszenario (2000-2011).

WP5 Künftige Verbreitung der Bachforelle

Zur Beurteilung der Auswirkungen von Temperaturänderungen auf Bachforellen haben wir eine Risikobewertung entwickelt. Das literaturbasierte Risikobewertungsschema wurde entwickelt, um thermische Regime zu identifizieren, die zu einer höheren PKD-Prävalenz bei Bachforellen führen können. Die aussagekräftigsten Parameter basierten auf konsekutiven Tagen (ConsD) und Stunden (ConsH), die bestimmte mittlere Wassertemperaturwerte (mittlere °C) überschritten. Im Einzelnen wird ein möglicher Ausbruch von PKD unter ≥ 13 ConsD über 15°C (Burkhardt-Holm, 2009) als möglich angesehen. Niedrige Sterblichkeitsraten in Feldstudien traten bei ≥ 29 ConsD über 15°C und mindestens weitere 10 d ($\geq 15^\circ\text{C}$) bis zum Herbst auf (Schmidt-Posthaus, Hirschi, & Schneider, 2015). Hohe Sterblichkeitsraten mit klinischen Anzeichen einer PKD können unter $\geq$ auftreten. 26 ConsD über 18°C unter Laborbedingungen (Bettge, Segner, Burki, Schmidt-Posthaus, & Wahli, 2009). Diese Schwellenwerte wurden in vier Gruppen von TR-PKD zusammengefasst, die von keinem Ausbruch (0) bis zu hoher Mortalität (3) reichten.

Angewandt auf die 336 Wassertemperatur-Messstationen in Österreich überschreiten 57,4% mindestens einmal im Zeitraum 2000-2015 die Schwelle für einen Ausbruch. In 29,2 % aller Standorte überschritt der häufigste Wert (Modus) innerhalb dieses Zeitraums die Schwelle für die PKD-bedingte Mortalität von Bachforellen. Nicht betroffene Flussstandorte (TR-PKD = 0) sind hauptsächlich auf alpine Gebiete beschränkt (Abbildung 10), mit einer mittleren Höhe von 802 m (SD: 272 m).

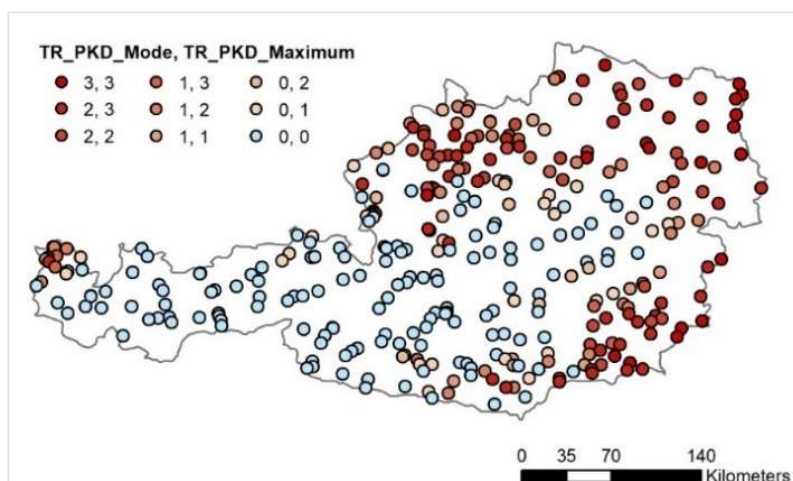


Abbildung 10: Temperaturbedingtes PKD-Risiko (TR-PKD) an 336 Wassertemperatur-Messstellen (Modus und Maximum) im Zeitraum 2000-2015. TR-PKD mit 0 = kein Ausbruch, 1 = möglicher Ausbruch, 2 = niedrige Mortalität, 3 = hohe Mortalität.

Darüber hinaus wurden die WTQ95 (°C)-Werte auf der Grundlage eines Entscheidungsbaums mit Kreuzvalidierung zu den TR-PKD-Werten gruppiert. Davon wurden 86,5 % der Trainingsdaten als korrekt eingestuft (Test: 85,2 %). Das Wassertemperaturmodell sagt einen möglichen Ausbruch für 33-38% (RCP 4,5 - 8,5) in naher Zukunft und 41 - 63% (RCP 4,5 - 8,5) in ferner Zukunft für alle ausgewählten Flussabschnitte voraus, verglichen mit einem Status Quo von 19% (Basisszenario 2000-2011) (Abbildung 6)

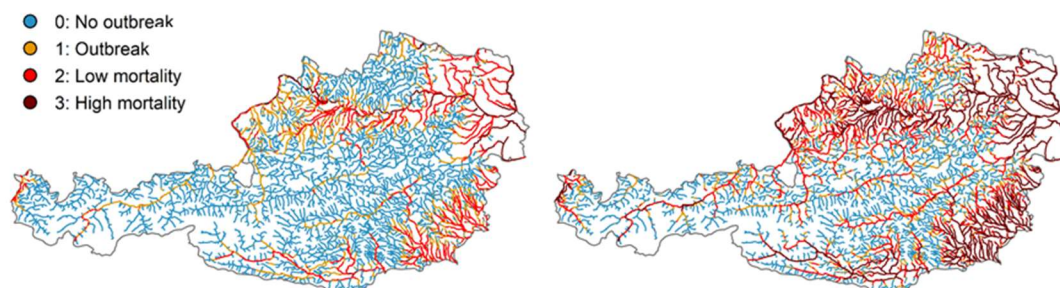


Abbildung 11: Modell des TR-PKD in österreichischen Flüssen (nahe Zukunft, links) und (ferne Zukunft, rechts) unter dem Klimaszenario 8.5 ("business as usual").

Die detaillierten Ergebnisse der Analysen aus WP4 und WP5 sind im SCI-Artikel publiziert: Borgwardt, F., Unfer, G., Auer, S., Waldner, K., El-Matbouli, M., Bechter, T., 2020. Direct and Indirect Climate Change Impacts on Brown Trout in Central Europe: How Thermal Regimes Reinforce Physiological Stress and Support the Emergence of Diseases. *Front. Environ. Sci.* 8, 59. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00059>

WP6 Synthese - Verknüpfung gesammelter Erkenntnisse mit dem Rückgang der Bachforellenpopulationen

Die Ergebnisse der Fischuntersuchungen und der Suche nach Bryozoen zeigen eine weite Verteilung des Parasiten und der Bryozoenkolonien in den vier Fallstudienflüssen. Besonders Bachforellenpopulationen im unteren Verbreitungsgebiet der Bachforelle der Flüsse (Barbenregion) sind betroffen. Analysen der Wassertemperatur zeigen, dass an 57% der österreichischen Wassertemperaturmessstellen die Schwelle für einen PKD-Ausbruch im Zeitraum von 2000-2015 mindestens einmal überschritten wurde. Modellierungen zeigen, dass der natürliche Lebensraum für Bachforellen in österreichischen Gewässern stark reduziert wird. Dies liegt zum einen an den Wassertemperaturen selbst, die aufgrund des Klimawandels über die Temperaturgrenzen für die Art steigen. Zum anderen durch die zusätzlich erhöhte Anfälligkeit für die Wassertemperatur aufgrund der PKD. Das Wassertemperaturmodell für die ferne Zukunft (RCP8.5) sagt für 63% aller ausgewählten Flussabschnitte einen möglichen Ausbruch der PKD voraus (Status quo: 19%). Besonders besorgniserregend ist die Tatsache, dass die Modellierung des PKD-Risikos für die nahe Zukunft (2021-2050) unter der Annahme von RCP4.5 bereits größtenteils mit der aktuellen Situation übereinstimmt. Die Verknüpfung dieser Ergebnisse mit den aus dem Tierversuch gewonnenen Informationen zeigt, dass das potentielle Verbreitungsgebiet der Bachforelle in österreichischen Flüssen stark reduziert wird.

In dem Fallstudienfluss Wulka wurde zwischen 2010 und 2017 ein Rückgang der Bachforellenpopulation beobachtet. Besonders die juvenile Altersgruppe 0+ war stark betroffen. Darüber hinaus zeigen innerhalb dieser Altersklasse kleinere Bachforellen signifikant mehr Symptome der PKD. Zusätzlich wurde zwischen 2000 und 2018 ein Anstieg der mittleren Wassertemperatur um fast 3°C festgestellt. All diese Faktoren zusammen begünstigten einen drastischen Rückgang der ansässigen Bachforellenpopulation. Diese Ergebnisse wurden in der Zeitschrift *Ecology of Freshwater Fish* mit dem Titel *Ecology of Freshwater Fish veröffentlicht: A brown trout (*Salmo trutta*) population faces devastating consequences due to proliferative kidney disease and temperature increase: A case study from Austria.*

Die Verknüpfung dieser Ergebnisse unterstreicht deutlich die Dringlichkeit, dass nachhaltige Bewirtschaftungs- und Erhaltungsmaßnahmen für die Wildbestände der Bachforellen, aber für Süßwasserökosysteme insgesamt entwickelt und angewandt werden müssen. Unter beiden künftigen Konzentrationsweg-Szenarien (RCP4.5 und RCP8.5) zeigte unser Modell eine Zunahme des temperaturbedingten Risikos für PKD und eine Abnahme des geeigneten thermischen Habitats für *S. trutta*. Interessanterweise ist die Verteilung des PKD-Risikos für die nahe Zukunft unter RCP4.5 bereits vergleichbar mit dem Risiko unter den gegenwärtigen Bedingungen (2000-2011). Dies unterstreicht die fortschreitende und bereits beobachtbare Veränderung der Umweltbedingungen aufgrund des Klimawandels. Es überrascht nicht, dass stromabwärts gelegene Flussabschnitte zuerst von PKD betroffen sind, da diese Flussabschnitte im

Allgemeinen wärmer sind als die stromaufwärts gelegenen Teile. In der Schweiz wurden PKD-infizierte Fische hauptsächlich unterhalb von 800 m.ü.M. gefunden (Wahli et al., 2008).

Die Ergebnisse unterstreichen aber auch, dass im Alpenraum auch unter künftigen schweren Klimaszenarien wie dem RCP8.5 geeignete Lebensräume erhalten bleiben werden. Dies unterstreicht die enorme Bedeutung des Alpenraums als Rückzugsgebiet für Bachforellen in Europa. Daher ist es äußerst wichtig, erstens die bestehenden Lebensräume in diesen Gebieten zu schützen und wiederherzustellen und zweitens den neu entstehenden Druck auf die wilden Bachforellenpopulationen zu berücksichtigen, der durch weitere menschliche Einflüsse und/oder Veränderungen infolge des Klimawandels entsteht. Eine weitere Habitatfragmentierung kann ein weiterer möglicher Effekt des Klimawandels sein. Die zunehmende Zahl ungeeigneter Lebensräume führt auch zu Abtrennungen von Flussabschnitten, die geeignete Lebensräume bieten. Durch den Verlust von Wanderwegen können die Populationen weiter fragmentiert werden. Darüber hinaus führt der Klimawandel auch zu neuen Landnutzungsmustern entlang der Flüsse mit möglichen Auswirkungen auf die Populationen wildlebender Bachforellen.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das wichtigste Ergebnis des ClimateTrout-Projekts war die weite Verbreitung der PKD in den Flüssen der Fallstudie, die im Vorfeld der Feldbeprobungskampagnen nicht erwartet worden war. Daher kann das österreichweite PKD-Risikobewertungsschema dazu beitragen, einen Monitoringrahmen zu entwickeln. Ein solcher Rahmen ist notwendig, um mehr Einblicke in die tatsächliche Lage der weiten Verbreitung des Parasiten und der assoziierten Krankheit PKD zu gewinnen sowie die Auswirkungen der Krankheit auf die Populationen der wilden Bachforelle zu überwachen. sowie die

Wassertemperaturregime, die PKD-Ausbrüche ermöglichen würden, sind derzeit in 19% der österreichischen Flussabschnitte gegeben, mit einer möglichen zukünftigen Zunahme von bis zu 63%. Allerdings können Temperaturanstieg und PKD allein den Rückgang der Bachforelle in allen Fallstudienflüssen und vielen anderen Flüssen Österreichs nicht erklären. Es gibt zwar genügend Hinweise auf einen Rückgang der Bachforellenpopulation im Fallstudienfluss Wulka, der durch eine Wechselwirkung zwischen PKD und einem Anstieg der Wassertemperaturen verursacht wurde, doch sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um zu erklären, warum der Kamp immer noch von einer lebenswichtigen Bachforellenpopulation besiedelt ist, obwohl die PKD-Prävalenz 100% beträgt. Es bleibt eine offene Frage, ob der Kamp nicht von PKD-Ausbrüchen betroffen ist, obwohl das Wassertemperaturregime solche Ausbrüche sehr wahrscheinlich macht, oder ob die Bachforellenpopulation in der Lage ist, mit der Krankheit fertig zu werden. Im Gegensatz dazu ist die

Bachforellenpopulation im Studienfluss Ybbs in den letzten Jahren massiv zurückgegangen, obwohl die Temperaturen dort kälter sind als im Fluss Kamp.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass auch Bachforellen, die als Besatzfische verkauft werden, mit *T. bryosalmonae* infiziert sind. Von insgesamt 17 Bachforellen konnte in den Nierenproben von fünf Tieren der Erreger der PKD nachgewiesen werden. Makroskopisch waren jedoch keine Organveränderungen feststellbar. Daher wurden diese Bachforellen als asymptomatische Carrierfische klassifiziert. Äußerlich gesund, werden sie als Besatzfische in natürliche Freigewässer entlassen. In ihrem neuen Habitat scheiden sie infektiöse Sporen aus, die Moostierchen infizieren. In diesem wirbellosen Wirt vermehrt sich der Parasit und kann so eine Vielzahl an Fischen infizieren. Wird ein solcher asymptomatischer Carrierfisch in einen Flussabschnitt mit einer naiven Bachforellenpopulation eingebracht, in dem sich Moostierchen befinden, bedeutet dies eine irreversible Einschleppung des Erregers in einen neuen Lebensraum. Einem Besatzvorgang sollte daher eine gründliche Untersuchung einer repräsentativen Stichprobe vorausgehen. Diese Untersuchung sollte eine allgemeine patho-anatomische Untersuchung und PCR auf die häufigsten Krankheitserreger einschließlich *T. bryosalmonae* umfassen.

Die Wassertemperaturmodelle zeigten Flussabschnitte im Alpenraum Österreichs auf, die auch unter den Bedingungen des Klimawandels geeignete thermische Bedingungen für Bachforellen aufweisen werden. Somit sind diese Gebiete von hohem Wert für die Erhaltung der wilden Bachforellenpopulationen. Dementsprechend sind weitere Veränderungen der Lebensraumbedingungen durch menschliche Nutzungen (wie Wasserkraft oder Hochwasserschutz) zu unterlassen bzw. mit hoher Vorsicht zu planen, da die thermisch geeigneten Lebensräume für Bachforellen in Zukunft schrumpfen werden.

In der Fallstudie Fluss Wulka wurde zwischen 2010 und 2017 ein Rückgang der Bachforellenpopulation beobachtet. Besonders die juvenile Alterskategorie 0+ war stark betroffen. Darüber hinaus zeigen innerhalb dieser Altersklasse kleinere Bachforellen deutlich mehr und schwerwiegendere Symptome der PKD. Zusätzlich wurde zwischen 2000 und 2018 ein Anstieg der mittleren Wassertemperatur um fast 3°C festgestellt. All diese Faktoren zusammen begünstigten einen drastischen Rückgang der ansässigen Bachforellenpopulation. Diese Ergebnisse wurden in der Zeitschrift „Ecology of Freshwater Fish“ mit dem Titel Ecology of Freshwater Fish veröffentlicht: Eine Bachforellenpopulation (*Salmo trutta*) sieht sich aufgrund einer proliferativen Nierenerkrankung und des Temperaturanstiegs mit verheerenden Folgen konfrontiert: Eine Fallstudie aus Österreich. Eine kürzlich aus der Wulka (Mai 2020) entnommene Probe hat gezeigt, dass die Population der Bachforelle weiter dramatisch zurückgegangen ist. Die Hypothese des Artikels, dass die Bachforelle vollständig aus der Wulka verschwinden könnte, hat sich damit leider manifestiert.

Ein wichtiger Krankheitsmechanismus, der zum durch PKD verursachten Rückgang der Bachforellen führen kann, ist die besondere Vulnerabilität der

Jungfische (0+ Altersklasse). Da diese Tiere dem Erreger gegenüber naiv sind – also noch nie mit *T. bryosalmonae* Kontakt hatten, führt eine Infektion mit dem Parasiten zu einer klinischen Manifestation der PKD. Zusätzlich konnten wir zeigen, dass kleinere Tiere stärker ausgeprägte Symptome zeigen. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass die PKD assoziierte Mortalität insbesondere bei diesen juvenilen Bachforellen zum Tragen kommt. Durch eine jährlich wiederkehrende Beeinträchtigung des Nachwuchses, wachsen weniger Bachforellen zu adulten Fischen heran. Dies kann längerfristig zu einem Bachforellentrückgang führen.

Weitere Forschung ist notwendig, um die Verbreitung von *T. bryosalmonae* österreichweit zu untersuchen. Eine Möglichkeit wäre die PKD-Überwachung mittels eDNA. Die Etablierung der eDNA-Methode zum Nachweis von *T. bryosalmonae* und *F. sultana* war ein Erfolg des ClimateTrout-Projekts. Diese Methode sollte weiterentwickelt werden um in Kombination mit Fischprobenahmen für eine österreichweite Monitoring-Studie des Parasiten eingesetzt zu werden. Zu wissen, welche Flüsse oder Flussabschnitte nicht von der PKD betroffen sind, ist entscheidend, um sie durch Managementstrategien wie das Stoppen des Fischbesatzes und die Umsetzung strenger Hygienevorschriften zu schützen.

Darüber hinaus sollte geklärt werden, was für den Unterschied zwischen den Bachforellenvorkommen in den Flüssen Kamp und Ybbs verantwortlich ist. Um dies zu ergründen bietet sich die Wiederholung des Feldversuchs an. Das Feldexperiment, das im Sommer 2018 durchgeführt wurde, aber keine auswertbaren Daten lieferte, sollte wiederholt werden, da es eine gute Möglichkeit darstellt, Fische unterschiedlicher Herkunft unterschiedlichen Bedingungen auszusetzen und so herauszufinden, ob die Fische eines Flusses besonders resistent sind oder ob die unterschiedlichen Sterblichkeitsraten auf die Standortbedingungen zurückzuführen sind. Um valide Ergebnisse zu gewährleisten, sollte das technische Setting verbessert werden, um Umwelteinflüssen widerstehen zu können und eine Betreuung vor Ort eingeplant werden.

C) Projektdetails

6 Methodik

WP1 Projektmanagement und Disseminierungsaktivitäten

Management und Disseminierungsaktivitäten sind zwei essentielle Teile für ein erfolgreiches Forschungsprojekt. Der Leiter des WP1 hatte die Aufgabe, den Projektfortschritt zu kontrollieren und die Erfolge zu verfolgen.

Die leitenden Wissenschaftler, als ständige Mitarbeiter an beiden Universitäten, waren für das Management der Arbeitspakete und die Sicherstellung des Wissenstransfers zwischen den Arbeitspaketen und innerhalb des Projekts verantwortlich.

Die Hauptziele des WP1 waren die Verbreitungsbemühungen einschließlich der Präsentation der Projektergebnisse auf wissenschaftlichen Konferenzen und Treffen von Interessengruppen, die Veröffentlichung der Projektergebnisse in Fachzeitschriften mit Peer-Review sowie die Organisation eines Workshops. Der erste Schritt von WP1 war die Erstellung einer Projektwebseite, um die Ziele des Projekts, das Arbeitsteam, sowie die laufenden und geplanten Aktivitäten einem breiten Publikum vorzustellen. Neben der gemeinsamen Feldarbeit (WP 2.3) stellten mehrere Treffen des Teams den projektinternen Wissenstransfer und die Zusammenarbeit an den Projektzielen sicher.

WP2 Feldarbeit

Der Forschungsrahmen von ClimateTrout wurde auf drei Hauptteilen aufgebaut: (1) Analysen von Bryozoen und Malacosporenparasiten, (2) Informationen über die Verteilung und den Gesundheitszustand von Bachforellen und (3) Untersuchungen zu Fließgewässertemperaturen. Alle drei Teile erforderten Feldarbeit, die daher in drei Unter-WPs (2.1-2.3) organisiert wurde. Die Beprobung von Bryozoenkolonien und Bachforellen wurde zur gleichen Zeit zweimal im Jahr 2017 und einmal im Jahr 2018 zwischen Juni und November durchgeführt. Zusätzlich wurden in diesen Gebieten über die gesamte warme Jahreszeit (zumindest von Anfang Juni bis Ende August) Fließgewässertemperaturen gemessen.

WP2.1 Beurteilung der Bryozoen im Feld

Im Jahr 2017 wurde zweimal nach Bryozoen-Kolonien gesucht, und zwar gleichzeitig mit der Entnahme von Fischproben. Zusätzlich zu den Fangorten wurden Flussabschnitte mit geeignetem Lebensraum untersucht. An den ausgewählten Standorten wurden untergetauchte Äste, Zweige, Wurzeln, Felsen, Wasserpflanzen etc. auf Moostierchenbewuchs überprüft. Substrate mit Kolonien wurden zur weiteren Untersuchung in das Labor der Klinischen Abteilung für Fischmedizin der VetMedUni, Wien, gebracht. Die Wassertiefe und die Lage der Kolonie (flacher Bereich, Oberflächenbereich/Wassersäule/Wasserboden, Sonneneinstrahlung/Schatten) wurden aufgezeichnet.

Im Labor wurden lichtmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Koloniegröße (bedecktes Substrat und Anzahl der Zooide), Anteil lebender und toter Zooide und Reproduktionsstatus (Vorhandensein/Fehlen von Statoblasten) wurden erfasst.

Es wurden in jedem Fluss Bryozoen-Kolonien gefunden. Da die Suche aber sehr umfangreich, zeitaufwendig und oft nicht erfolgreich war, nahmen wir auch Wasserproben, um *T. bryosalmonae* und *F. sultana* mittels eDNA nachzuweisen. Zu diesem Zweck wurden an allen Probenahmestellen saubere 1,5-l-Wasserflaschen abgefüllt und gekühlt ins Labor transportiert.

WP2.2 Probenahme bei Bachforellen

Die Studie konzentrierte sich auf die Bachforelle als Flaggschiffart in österreichischen Flüssen. Dementsprechend wurden in Flussabschnitten der Fallstudienflüsse Bachforellen mittels Elektrofischen (Standard-Elektrofischaggregat 5 kW) entnommen. Das gesamte Fischen wurde mit Genehmigung der örtlichen Behörden durchgeführt. In jedem der Flussabschnitte wurde nach Bachforellen gefischt, bis die Stichprobengröße von mindestens 10 Fischen erreicht war. Die zur Entnahme der Probe benötigte Zeit und Abschnittslänge wurden aufgezeichnet. Die Probenahme lieferte Daten über das Vorkommen von Bachforellen für die Bewertung des Populationsstatus (WP5/6). Die entnommenen Bachforellen wurden in das Labor der Klinischen Abteilung für Fischmedizin der VetMedUni, Wien, transportiert.

Dort wurde eine vollständige patho-anatomische Untersuchung durchgeführt. Anschließend wurden Proben von Niere, Leber und Milz für die molekularbiologische und histologische Analyse (WP3) entnommen. Darüber hinaus wurden, falls erforderlich, bakteriologische Standarduntersuchungen durchgeführt. Zusätzlich wurden Quetschpräparate von Niere, Leber und Milz sowie Blutaussstriche angefertigt und unter dem Lichtmikroskop beobachtet, um Parasitenstadien zu erkennen.

WP2.3 Aufzeichnung der Fließgewässertemperaturen

Es gibt kaum Längsprofile von Strömungstemperaturen. Daher erfasste WP2.3 die Längsentwicklung der Fließgewässertemperaturen der untersuchten Flussabschnitte während der warmen Jahreszeit (vollständige zeitliche Erfassung Juni/Juli/August). Die Fließgewässertemperaturen wurden von Temperaturloggern aufgezeichnet, die in den Flüssen befestigt wurden und die Wassertemperaturen in stündlichen Intervallen aufzeichneten. Zusätzlich wurden in diesem WP vorhandene Fließgewässertemperaturdaten einschließlich jener der hydrographischen Ämter der Bundesländer gesammelt und aufbereitet, um sie für österreichweite Analysen von Extremereignissen und Überschreitungsperioden im thermalen Regime von Flüssen zu verwenden (als Input für WP4). Diese Daten wurden beim Hydrografischen Dienst des österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) gespeichert.

WP3 Laborarbeit

WP3 fasste alle Aufgaben im Zusammenhang mit Laborarbeit zusammen. Dazu zählte die Beurteilung von Bryozoen, molekularbiologischen Analysen, die Histologie sowie der Tierversuch.

Beurteilung des Parasitismus in Bryozoen-Kolonien

Im Labor wurden die Bryozoen-Arten nach der Morphologie der Kolonie und der Statoblasten bestimmt. Teile der Kolonien wurden molekularbiologisch mittels malacosporenspezifischer PCR analysiert (Grabner und El-Matbouli 2009).

Für den eDNA-Ansatz wurden die Wasserproben mit Hilfe einer Vakuumpumpe durch einen Nitrozellulosefilter filtriert (Fontes et al. 2017). Die DNA wurde mit dem DNeasy PowerSoil Kit (QIAGEN) nach Herstelleranweisungen aus dem Filter extrahiert und zum Nachweis des Parasiten und von *F. sultana* mittels konventioneller und qPCR verwendet.

Molekularbiologische Analysen

Die DNA wurde aus Nieren- und Milzproben von Bachforellen mit einem DNeasy Blood & Tissue Kit (QIAGEN) entsprechend den Herstelleranweisungen extrahiert. Eine nested PCR wurde mit den Primerpaaren PKD 5F/6R (Kent et al. 1998) gefolgt von dem Primerpaar PKD real F/real R (Grabner und El-Matbouli 2009) durchgeführt. Ein paar positive PCR-Produkte wurden ausgewählt, gereinigt und zur Sequenzierung geschickt. Die erhaltenen Sequenzen wurden analysiert und mit der GenBank-Datenbank verglichen.

Histologische Untersuchung

Organproben von Bachforellen für die Histologie wurden in 10% gepuffertem Formalin fixiert, verarbeitet und in Paraffin eingebettet. Es wurden 5 µm dicke Schnitte angefertigt und mit Hämatoxylin und Eosin gefärbt oder für die malacosporenspezifische Immunhistochemie mit *T. bryosalmonae* spezifischen monoklonalen Antikörpern aufbereitet (Aquatic Diagnostic, UK). Auf diese Weise konnte die Lokalisierung der Parasiten im Wirtsgewebe eindeutig nachgewiesen werden.

Einfluss der Wassertemperatur auf die Infektiosität von *T. bryosalmonae* auf Bachforellen unter Laborbedingungen

Um den Einfluss der Wassertemperatur auf die Pathologie und Morbidität von *T. bryosalmonae*-infizierten Bachforellen unter Laborbedingungen zu untersuchen, wurden insgesamt 294 Bachforellen infiziert und 10 Wochen lang bei 16°C, 19°C und 22°C gehalten. Um die gewünschte Wassertemperatur für alle Temperaturgruppen konstant halten zu können, wurde das Experiment mit den 19°C und 22°C-Gruppen im September 2019 begonnen. Die 16°C-Gruppe hingegen wurde 3 Monate später im Dezember 2019 begonnen. Die Infektion wurde, wie zuvor in (Kumar et al. 2013) beschrieben, mit Sporensäcken durchgeführt, die aus im Labor kultivierten *Fredericella sultana*-Kolonien gewonnen wurden. Pro Temperaturgruppe wurden 60 Bachforellen infiziert und in Triplikaten gehalten. Für jede Temperaturgruppe wurde eine Kontrollgruppe,

bestehend aus 38 Bachforellen, unter den gleichen Bedingungen in Duplikaten gehalten. 6, 8 und 10 Wochen nach der Exposition wurden 9 Fische aus jeder infizierten und Kontrollgruppe mit Natriumhydrogencarbonat-gepuffertem MS222 (1g/l) eingeschläfert und untersucht. Niere (KSI) und Milz wurden bewertet um den Fortschritt der Krankheit zu überwachen. Es wurden Gewebeproben von Niere und Milz entnommen, aus denen dann DNA mit Hilfe des DNeasy Blood & Tissue Kits (QIAGEN) extrahiert wurde. Daraufhin wurde eine qPCR durchgeführt, um die Menge der Parasiten-DNA zu quantifizieren. Die Fische wurden alle zwei Stunden von 8 Uhr morgens bis 20 Uhr abends beobachtet und anhand eines Bewertungsbogens bewertet. Wenn ein Fisch in einer Kategorie eine Punktzahl von drei oder eine Gesamtpunktzahl von mehr als 8 erreichte, wurde er eingeschläfert, um unnötiges Leiden der Tiere zu verhindern. Euthanasierte Bachforellen wurden als Ereignisse (Tod) gezählt, während beprobte Fische als zensierte Daten betrachtet wurden.

WP4 Analysen der Fließgewässertemperaturen und Modellierung zukünftiger Überschreitungssperioden in österreichischen Flüssen

WP4 untersuchte thermale Regime auf der Grundlage von zwei Datensätzen: (1) Wassertemperaturdaten von Bundespegelstationen, die vom hydrologischen Dienst zur Verfügung gestellt wurden, und (2) Fließgewässertemperaturdaten, die während des Projekts aufgezeichnet wurden. Beide Datenquellen liefern Aufzeichnungen in stündlicher Auflösung. Basierend auf diesem Datensatz bewertete WP4 die thermalen Regime österreichischer Flüsse im Detail unter Berücksichtigung von Überschreitungssperioden kritischer Temperaturschwellenwerte für Bachforellen. Die Analysen konzentrierten sich auf ausgewählte Pegelstationen, insbesondere auf Pegel in un- bzw. gering belasteten Flussabschnitten (d.h. ohne Aufstauungen, Wasserentnahmen oder Schwallbetrieb). In ähnlicher Weise wurden die aufgezeichneten Temperaturen der untersuchten Flüsse analysiert, um Veränderungen der thermalen Eigenschaften entlang von Längsschnitten zu entdecken, die die untere Verbreitungsgrenze der Bachforelle miteinbezogen. Die Daten zu den Fließgewässerlängsschnitten wurden ergänzt und mit Daten aus den Flüssen Lafnitz und Pinka (beide BIO_CLIC-Projekt, Erfassungszeitraum: 2013/2014) sowie Pielach (BOKU-Projekt, Erfassungszeitraum: Jul2013-Jun2014) verglichen.

Die stündlichen Aufzeichnungen der Fließgewässertemperaturen wurden gesichtet und mit statistischen Methoden (Signalverarbeitung, Trenderkennung, regressionsbasierte Verfahren, Dauer der Wärmephasen) analysiert, um daraus Indikatoren für Überschreitungssperioden abzuleiten. Die Auswirkungen des Klimawandels wurden auf der Grundlage einer Reihe von verzerrungskorrigierten Klimaprojektionen (basierend auf den THG-Szenarien RCP4.5 und RCP8.5) bewertet, die aus dem ÖKS15-Projekt verfügbar sind. Diese ÖKS15-Projektionen stellen eine Teilmenge von regionalen Klimasimulationen aus dem EUROCORDEX (www.euroc-cordex.net) dar. Die Daten werden von ihrem Ausgangsraster (12,5 km Rasterabstand) auf eine nominale räumliche Auflösung von 1 km herunterskaliert. Die Daten sind über das Klimadatenzentrum des

Klimaänderungszentrums Österreich (www.ccca.ac.at) erhältlich. Darüber hinaus dienten Wassertemperaturaufzeichnungen für die Sommerperioden 2003 und 2015 als ausgezeichnete Beispiele für Hitzewellenbedingungen, die sich auf Messdaten stützen können.

WP5 Künftige Verbreitung der Bachforelle

Die Verbreitungsmodellierung ist eine gut etablierte Technik zur Bewertung des bio-geografischen Verbreitungsgebiets einer Art in Bezug auf die Umweltbedingungen. Diese Technik ist flexibel in Bezug auf die betrachteten Variablen und erlaubt die Umsetzung zukünftiger Klimabedingungen. Die meisten Studien beziehen die Vorkommen der Arten jedoch ausschließlich auf das Klima (Klimahülle) oder berücksichtigen zumindest einige Umweltfaktoren (z.B. Flussabhang, Geologie, Landnutzung). Unser Modellierungsansatz berücksichtigte zunächst Flusstopographie, Temperaturen und andere Klimadeskriptoren. Darüber hinaus testeten und untersuchten wir die Implementierung von Bryozoen als Parasitenwirt und Krankheitsvektor in Verbreitungsprognosen für Bachforellen. Wir wendeten einen Konsens-Modellierungsrahmen an, der verschiedene Modellierungsalgorithmen (z.B. GLM, Random Forests, GAM, Entscheidungsbäume) implementiert, um ein robustes Modellergebnis zu bekommen. Darüber hinaus ermöglichte dieser Ansatz die Beschreibung von Dichtemustern auf der Grundlage von Stimmenauszählungen, d.h. die Beobachtung von Informationen über unsichere und dichte Verteilungen von Bachforellen.

Die aktuellen Verteilungen wurden mit Hilfe von vorhandenen Fischproben, die An- und Abwesenheit von Bachforellen in Österreich beschreiben (verfügbar in der BOKU-Datenbank und der nationalen Datenbank zur Überwachung der Wasserrahmenrichtlinie) und mit Klimadaten aus dem integrierten Now Casting System (INCA) über einen Zeitraum von 10 Jahren von 2003-2013 kalibriert. Daten aus dem Nationalen Wasserwirtschaftsplan (NGP 2015) ermöglichten die Bewertung bestehender anthropogener Belastungen (z.B. Stauungen, Wasserentnahmen, morphologische Degradation).

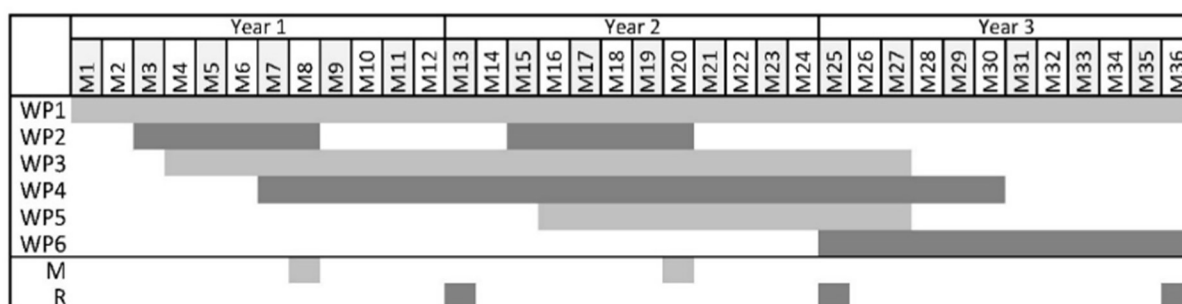
Die zukünftigen Klimabedingungen wurden durch die Ergebnisse des ÖKS15-Projekts beschrieben. Dieses Projekt lieferte Daten für Szenarien des Klimawandels (Temperatur, Niederschlag, Sonneneinstrahlung) für Österreich mit einer räumlichen Auflösung von 1 km² und einer täglichen zeitlichen Auflösung. Diese Daten wurden durch das Climate Change Centre Austria (CCCA) zur Verfügung gestellt.

WP6 Synthese - Verknüpfung gesammelter Erkenntnisse mit dem Rückgang der Bachforellenpopulationen

ClimateTrout basierte auf einem Ansatz, der Forschung aus verschiedenen Forschungsbereichen kombinierte, Grundlagen- und angewandte Forschung integrierte und sowohl Feld- als auch Laborarbeiten durchführte. Die zuvor genannten WPs untersuchten die Beziehungen zwischen thermalen Regimen,

Auswirkungen von Klimawandels und Parasiten auf Bachforellenpopulationen und -bestände. WP6 diente als abschließende Zusammenfassung, um die sektoralen Ergebnisse der anderen WPs zusammenzufassen und sie zu neuen und wertvollen Informationen für das Ökosystemmanagement und die Erhaltung der biologischen Vielfalt zu kombinieren. Dementsprechend wurde die Anfälligkeit der Lebensräume für Salmoniden in Österreich gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Parasitenvorkommen bewertet und diskutiert. Dadurch konnte das Verständnis ökologischer und wirtschaftlicher Risiken verbessert werden und Managementstrategien zur Verringerung der Auswirkungen auf die Funktionsweise von Ökosystemen und die damit verbundenen Ökosystemleistungen entwickelt werden. In diesem Zusammenhang ist die ökologische Integrität der Flüsse ein entscheidender Punkt. Daher betrachtete das WP6 auf der Grundlage von Informationen aus dem Nationalen Wasserwirtschaftsplan das gesamte ökologische Umfeld in den Flussökosystemen einschließlich menschlicher Belastungen (wie Stauanlagen, Wasserentnahme, morphologische Degradation), um die verschiedenen Auswirkungen auf die Bachforelle und ihre Rolle bei der Bedrohung der Populationen miteinander zu verknüpfen. Ein integraler Bestandteil der Synthese sind Bewirtschaftungsempfehlungen zur Abschwächung potenzieller Auswirkungen der kombinierten Auswirkungen des Klimawandels und der damit verbundenen Zunahme von Krankheitserregern. Dies trägt zum Verständnis der Parasit-Wirt-Beziehungen einer temperaturempfindlichen Art bei, die für die Ökosystemleistungen der österreichischen Flüsse von großer Bedeutung ist.

7 Arbeits- und Zeitplan



Die einzige Abweichung vom ursprünglichen Zeit- und Arbeitsplan war der Zeitpunkt des Tierversuchs, der im September 2019 M30 begann und im Februar 2020 M35 endete.

- Fristverlängerung:

auf Grund der Corona Krise konnten einige molekularbiologische Analysen von Proben aus dem Tierversuch unseres ClimateTrout Projekts nicht bis zum vorgesehenen Projektende Ende März durchgeführt werden. Daher haben wir kostenneutrale Verlängerung des ClimateTrout Projekts bis 30. Juni beantragt, um diese Arbeiten beenden zu können. Der Antrag wurde genehmigt.

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Tabellarische Angabe von wissenschaftlichen Publikationen, die aus dem Projekt entstanden sind, sowie sonstiger relevanter Disseminierungsaktivitäten.

Disseminierungsaktivitäten	Titel
Projektworkshop	Info-Veranstaltung zum Projekt ClimateTrout
Publikationen	Borgwardt, F., Unfer, G., Auer, S., Waldner, K., El-Matbouli, M., Bechter, T., 2020. Direct and Indirect Climate Change Impacts on Brown Trout in Central Europe: How Thermal Regimes Reinforce Physiological Stress and Support the Emergence of Diseases. Front. Environ. Sci. 8, 59. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00059
	Waldner, K, Bechter, T, Auer, S, Borgwardt, F, El-Matbouli, M, Unfer, G. A brown trout (<i>Salmo trutta</i>) population faces devastating consequences due to proliferative kidney disease and temperature increase: A case study from Austria. Ecol Freshw Fish. https://doi.org/10.1111/eff.12528
	Ferner, B; Lexer, W; Borgwardt, F (2019): Die Aquakultur im Klimawandel: Auswirkungen, Herausforderungen und Anpassungsoptionen. Ergebnisse der Dialogplattform "Nachhaltigkeit in der Aquakultur". Österreichs Fischerei, 10-2019, 261-275; ISSN 0029-9987
	Waldner, K; Borgwardt, F; Unfer, G; El-Matbouli, M Proliferative Kidney Disease of salmonids (PKD) - a re-emerging fish disease. WIEN TIERARZTL MONAT. 2018; 105(9-10): 227-240.
	Lewisch, E; Unfer, G; Pinter, K; Bechter, T; El-Matbouli, M Distribution and prevalence of <i>T. bryosalmonae</i> in Austria: A first survey of trout from rivers with a shrinking population. J FISH DIS. 2018; 41(10): 1549-1557
Präsentationen	Borgwardt, F; Bechter, T; Auer, S; Waldner, K; El-Matbouli, M; Unfer, G (2019): Climate change as driver of multiple stressors in riverine ecosystems: interactions of thermal regimes and emerging

	pathogens stressing brown trout populations in the future. [6th Biennial Symposium of the International Society for River Science, Vienna, SEP 8-13, 2019] In: International Society for River Science, ISRS 2019 Book of Abstracts
	Unfer, G; Walder, K; Bechter, T; Borgwardt, F; Lewisch, E; El-Matbouli, M (2019): Proliferative kidney disease - PKD, a new threat for native brown trout - Salmo trutta - populations in Austria. 6th Biennial Symposium of the International Society for River Science, Vienna, SEP 8-13, 2019] In: International Society for River Science, ISRS 2019 Book of Abstracts
	Unfer, G; Borgwardt, F; Bechter, T; El-Matbouli, M; Waldner, K; Lewisch, E (2019): Proliferative kidney disease (PKD), a new threat for native brown trout (Salmo trutta) populations in Austria. Stream Salmonids V – Advances in the Population Ecology of Stream Salmonids, MAI 20-24, 2019
	ÖKF FishLife Forum 2020 - Borgwardt, F (2020): Fließgewässer im Klimawandel: Alles für die Fisch'? 10. ÖKF FishLife Forum 2020 , MAR 6-7, 2020, Linz/OÖ
	Fischereifachtagung 2019 - Borgwardt, F (2019): Auswirkung von Klimawandel auf Wasser und Fische , NOV 21-22, 2019, Scharfling/OÖ
	Sachverständigentagung 2019 - Borgwardt, F (2019): Auswirkungen des Klimawandels auf die Bachforelle. Österreichischer Fischereiverband 2019, MAI 23, 2019, Linz/OÖ
	Tiroler Fischereiverband Abendvortrag - Borgwardt, F (2019): Klimawandel und Fließgewässer: Alles für die Fisch'? Jahreshauptversammlung Tiroler Fischereiverband, NOV 8, 2019, Innsbruck/Tirol
	Digital Water Management Dyje - F Borgwardt (2019): Der Klimawandel aus Sicht der Gewässer: Alles für die Fisch?. SEP 12-13, 2019, Poštorná/SK
	20. Österreichischer Klimatag - Walder, K; Auer, S; Bechter, T; Borgwardt, F; Unfer, G; El-Matbouli, M;

	ClimateTrout – Neu auftretende Belastungen für Flussökosysteme: Kombinierte Effekte von Klimawandel und Malacosporea-Infektionen auf Bachforellen APR 24-26 2019
	Waldner, K; 2018 Teilnahme an der 17. Gemeinschaftstagung der Deutschen, Österreichischen und Schweizer Sektion der European Association of Fish Pathologists in Freiburg
	Waldner, K; 2018 ÖGTPM Parasitologische Fachgespräche 2018 am Institut für Parasitologie/Vetmed Uni
	Vorstellung vorläufiger Ergebnisse vom Kamp für Fischereiverein am 1. Dezember 2017 in Rosenberg/Kamp

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.

Literaturverzeichnis

Bettge, K.; Segner, H.; Burki, R.; Schmidt-Posthaus, H.; Wahli, T. (2009a): Proliferative kidney disease (PKD) of rainbow trout: temperature- and time-related changes of *Tetracapsuloides bryosalmonae* DNA in the kidney. In: *Parasitology* 136 (6), S. 615–625. DOI: 10.1017/S0031182009005800.

Bettge, K.; Wahli, T.; Segner, H.; Schmidt-Posthaus, H. (2009b): Proliferative kidney disease in rainbow trout. Time- and temperature-related renal pathology and parasite distribution. In: *Diseases of aquatic organisms* 83 (1), S. 67–76. DOI: 10.3354/dao01989.

Canning, E. U.; Curry, Alan; Feist, S. W.; Longshaw, M.; Okamura, B. (2000): A New Class and Order of Myxozoans to Accommodate Parasites of Bryozoans with Ultrastructural Observations on *Tetracapsula bryosalmonae* (PKX Organism). In: *J Eukaryotic Microbiology* 47 (5), S. 456–468. DOI: 10.1111/j.1550-7408.2000.tb00075.x.

Clifton-Hadley, R. S.; Richards, R. H.; Bucke, D. (1986): Proliferative kidney disease (PKD) in rainbow trout *Salmo gairdneri*. Further observations on the effects of water temperature. In: *Aquaculture* 55 (3), S. 165–171. DOI: 10.1016/0044-8486(86)90112-2.

Dash, Megha; Vasemägi, Anti (2014): Proliferative kidney disease (PKD) agent *Tetracapsuloides bryosalmonae* in brown trout populations in Estonia. In: *Diseases of aquatic organisms* 109 (2), S. 139–148. DOI: 10.3354/dao02731.

Dudgeon, David; Arthington, Angela H.; Gessner, Mark O.; Kawabata, Zen-Ichiro; Knowler, Duncan J.; Leveque, Christian et al. (2006): Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. In: *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 81 (2), S. 163–182. DOI: 10.1017/S1464793105006950.

Elliott, J. M. (2000): Pools as refugia for brown trout during two summer droughts: trout responses to thermal and oxygen stress. In: *J Fish Biology* 56 (4), S. 938–948. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2000.tb00883.x.

El-Matbouli, M.; Hoffman, R. W. (2002): Influence of water quality on the outbreak of proliferative kidney disease - field studies and exposure experiments. In: *J Fish Diseases* 25 (8), S. 459–467. DOI: 10.1046/j.1365-2761.2002.00393.x.

El-Matbouli, Mansour; Fischer-Scherl, Theresia; Hoffmann, Rudolf W. (1992): Present knowledge on the life cycle, taxonomy, pathology, and therapy of some Myxosporea spp. important for freshwater fish. In: *Annual Review of Fish Diseases* 2, S. 367–402. DOI: 10.1016/0959-8030(92)90071-5.

Epstein, Paul R. (2001): Climate change and emerging infectious diseases. In: *Microbes and Infection* 3 (9), S. 747–754. DOI: 10.1016/S1286-4579(01)01429-0.

Feist, S. W.; Bucke, D. (1993): Proliferative kidney disease in wild salmonids. In: *Fisheries Research* 17 (1-2), S. 51–58. DOI: 10.1016/0165-7836(93)90006-S.

Ferguson, H. W. (1981): The effects of water temperature on the development of proliferative kidney disease in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. In: *Journal of fish diseases* 4 (2), S. 175–177. DOI: 10.1111/j.1365-2761.1981.tb01122.x.

Filipe, Ana Filipa; Markovic, Danijela; Pletterbauer, Florian; Tisseuil, Clément; Wever, Aaike de; Schmutz, Stefan et al. (2013): Forecasting fish distribution along stream networks: brown trout (*Salmo trutta*) in Europe. In: *Diversity Distrib.* 19 (8), S. 1059–1071. DOI: 10.1111/ddi.12086.

Fischnetz (2004). Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht des Projekts Netzwerk Fischrückgang Schweiz. Dübendorf, Bern, EAWAG, BUWAL.

Fontes, Ines; Hartikainen, Hanna; Holland, Jason W.; Secombes, Chris J.; Okamura, B. (2017): Tetracapsuloides bryosalmonae abundance in river water. In: *Diseases of aquatic organisms* 124 (2), S. 145–157. DOI: 10.3354/dao03116.

Freyhof, Jörg (2013): *Salmo trutta*.

Gorgoglione, B.; Kotob, M. H.; Unfer, G.; El-Matbouli, M. (2016): First Proliferative Kidney Disease outbreak in Austria, linking to the aetiology of Black Trout Syndrome threatening autochthonous trout populations. In: *Diseases of aquatic organisms* 119 (2), S. 117–128. DOI: 10.3354/dao02993.

Grabner, D. S.; El-Matbouli, M. (2009): Comparison of the susceptibility of brown trout (*Salmo trutta*) and four rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) strains to the myxozoan *Tetracapsuloides bryosalmonae*, the causative agent of proliferative kidney disease (PKD). In: *Veterinary parasitology* 165 (3-4), S. 200–206. DOI: 10.1016/j.vetpar.2009.07.028.

Hari, R. E.; Livingstone, D. M.; Siber, R.; Burkhardt-Holm, P.; Guttinger, H. (2006): Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. In: *Global Change Biol* 12 (1), S. 10–26. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.001051.x.

Harvell, C. Drew; Mitchell, Charles E.; Ward, Jessica R.; Altizer, Sonia; Dobson, Andrew P.; Ostfeld, Richard S.; Samuel, Michael D. (2002): Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. In: *Science (New York, N.Y.)* 296 (5576), S. 2158–2162. DOI: 10.1126/science.1063699.

Hedrick, R. P.; MacConnell, E.; Kinkelin, P. de (1993): Proliferative kidney disease of salmonid fish. In: *Annual Review of Fish Diseases* 3, S. 277–290. DOI: 10.1016/0959-8030(93)90039-E.

Hill, Samantha L.L.; Sayer, Carl D.; Hammond, Peter M.; Rimmer, Vivien K.; Davidson, Tom A.; Hoare, Daniel J. et al. (2007): Are rare species rare or just overlooked? Assessing the distribution of the freshwater bryozoan, *Lophopus crystallinus*. In: *Biological Conservation* 135 (2), S. 223–234. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.10.023.

Jencic, V.; Zajc, U.; Kusar, D.; Ocepek, M.; Pate, M. (2014): A survey on *Tetracapsuloides bryosalmonae* infections in Slovene fresh waters. In: *Journal of fish diseases* 37 (8), S. 711–717. DOI: 10.1111/jfd.12160.

Karvonen, Anssi; Rintamäki, Päivi; Jokela, Jukka; Valtonen, E. Tellervo (2010): Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: climate change increases the risk of some, but not all, diseases. In: *International Journal for Parasitology* 40 (13), S. 1483–1488. DOI: 10.1016/j.ijpara.2010.04.015.

Kent, M. L.; Khattra, J.; Hervio, D. M. L.; Devlin, R. H. (1998): Ribosomal DNA Sequence Analysis of Isolates of the PKX Myxosporean and Their Relationship to Members of the Genus *Sphaerospora*. In: *Journal of Aquatic Animal Health* 10 (1), S. 12–21. DOI: 10.1577/1548-8667(1998)010<0012:RDSAOI>2.0.CO;2.

Kromp-Kolb, Helga; Lindenthal, Thomas; Bohunovsky, Lisa (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. In: *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 23 (4), S. 363–365. DOI: 10.14512/gaia.23.4.17.

Kumar, G.; Abd-Elfattah, A.; Saleh, Mona; El-Matbouli, M. (2013): Fate of *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa) after infection of brown trout *Salmo trutta* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. In: *Diseases of aquatic organisms* 107 (1), S. 9–18. DOI: 10.3354/dao02665.

Lahnsteiner, F.; Haunschmid, R.; Mansour, N. (2011): Possible reasons for late summer brown trout (*Salmo trutta* Linnaeus 1758) mortality in Austrian prealpine river systems. In: *Journal of Applied Ichthyology* 27 (1), S. 83–93. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2010.01621.x.

Lahnsteiner, F.; Haunschmid, R.; Mansour, Nabil (2009): Immune deficiency causes annual late summer brown trout (*Salmo trutta*) mortality in Austrian

prealpine river systems. In: *Aquat. Sci.* 71 (4), S. 463–472. DOI: 10.1007/s00027-009-0110-6.

Marcogliese, D. J. (2008): The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. In: 27 2, S. 467–484.

Markovic, Danijela; Scharfenberger, Ulrike; Schmutz, Stefan; Pletterbauer, Florian; Wolter, Christian (2013): Variability and alterations of water temperatures across the Elbe and Danube River Basins. In: *Climatic Change* 119 (2), S. 375–389. DOI: 10.1007/s10584-013-0725-4.

Melcher, Andreas; Pletterbauer, Florian; Kremser, Helga; Schmutz, Stefan (2013): Temperaturansprüche und Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischfauna in Flüssen und unterhalb von Seen. In: *Österr Wasser- und Abfallw* 65 (11-12), S. 408–417. DOI: 10.1007/s00506-013-0118-y.

Morris, D. J.; Adams, A. (2006b): Transmission of *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa: Malacosporea), the causative organism of salmonid proliferative kidney disease, to the freshwater bryozoan *Fredericella sultana*. In: *Parasitology* 133 (Pt 6), S. 701–709. DOI: 10.1017/S003118200600093X.

Okamura, B.; Hartikainen, Hanna; Schmidt-Posthaus, H.; Wahli, T. (2011): Life cycle complexity, environmental change and the emerging status of salmonid proliferative kidney disease. In: *Freshwater Biology* 56 (4), S. 735–753. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2010.02465.x.

Pletterbauer, Florian; Melcher, Andreas H.; Ferreira, Teresa; Schmutz, Stefan (2015): Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers. In: *Hydrobiologia* 744 (1), S. 235–254. DOI: 10.1007/s10750-014-2079-y.

Sterud, Erik; Forseth, Torbjørn; Ugedal, Ola; Poppe, Trygve T.; Jørgensen, Anders; Bruheim, Torkjell et al. (2007): Severe mortality in wild Atlantic salmon *Salmo salar* due to proliferative kidney disease (PKD) caused by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (myxozoa). In: *Diseases of aquatic organisms* 77 (3), S. 191–198. DOI: 10.3354/dao01846.

Tops, S.; Lockwood, W.; Okamura, B. (2006): Temperature-driven proliferation of *Tetracapsuloides bryosalmonae* in bryozoan hosts portends salmonid declines. In: *Diseases of aquatic organisms* 70 (3), S. 227–236. DOI: 10.3354/dao070227.

Tops, Sylvie; Hartikainen, Hanna; Okamura, B. (2009): The effects of infection by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa) and temperature on *Fredericella sultana* (Bryozoa). In: *International Journal for Parasitology* 39 (9), S. 1003–1010. DOI: 10.1016/j.ijpara.2009.01.007.

Unfer, G.; Holzer, G.; Gallowitsch, M.; Gumpinger, C.; Hundlinger, R.; El-Matbouli, M. (2015): Ausbruch der PKD (Proliferative Kidney Disease) im Kamp im Sommer 2014. Ein Ereignisbericht, der nicht ohne Konsequenzen bleiben darf! In: *Österreichs Fischerei* (04), S. 104–108.

Wahli, T.; Knuesel, R.; Bernet, D.; Segner, H.; Pugovkin, D.; Burkhardt-Holm, P. et al. (2002): Proliferative kidney disease in Switzerland. Current state of knowledge. In: *J Fish Diseases* 25 (8), S. 491–500. DOI: 10.1046/j.1365-2761.2002.00401.x.

Wahli, T., Bernet, D., Segner, H., & Schmidt-Posthaus, H. (2008). Role of altitude and water temperature as regulating factors for the geographical distribution of *Tetracapsuloides bryosalmonae* infected fishes in Switzerland. *Journal of Fish Biology*, 14.

Waldner, Karoline; Bechter, Thomas; Auer, Stefan; Borgwardt, Florian; El-Matbouli, Mansour; Unfer, Günther (2019): A brown trout (*Salmo trutta*) population faces devastating consequences due to proliferative kidney disease and temperature increase: A case study from Austria. In: *Ecology Freshwater Fish*. DOI: 10.1111/eff.12528.

Wrona, Frederick J.; Prowse, Terry D.; Reist, James D.; Hobbie, John E.; Lévesque, Lucie M. J.; Vincent, Warwick F. (2006): Climate Change Effects on Aquatic Biota, Ecosystem Structure and Function. In: *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 35 (7), S. 359–369. DOI: 10.1579/0044-7447(2006)35[359:CCEOAB]2.0.CO;2.