



**ARBEITEN
DES DEUTSCHEN FISCHEREI-VERBANDES e.V.**

Heft 98

2019

**Klimawandel und Fischerei:
Auswirkungen, Risiken, Chancen
und Handlungsfelder**

herausgegeben von

Dr. Helmut Wedekind

Deutscher Fischerei-Verband e.V.
Venusberg 36 20459 Hamburg

ARBEITEN
DES DEUTSCHEN FISCHEREI-VERBANDES e.V.

Heft 98

2019

**Klimawandel und Fischerei:
Auswirkungen, Risiken, Chancen
und Handlungsfelder**

herausgegeben von
Dr. Helmut Wedekind

ISSN 0415-6641

Deutscher Fischerei-Verband e.V.
Venusberg 36 20459 Hamburg
info@deutscher-fischerei-verband.de
www.deutscher-fischerei-verband.de

ÖFFENTLICHE VORTRAGSVERANSTALTUNG

des Wissenschaftlichen Beirates des Deutschen
Fischerei-Verbandes über:

Klimawandel und Fischerei: Auswirkungen, Risiken, Chancen und Handlungsfelder

Magdeburg, den 21. August 2019

**Dieses Vorhaben wurde gefördert durch das
Land Sachsen-Anhalt mit Mittel der
Fischereiabgabe**

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
Dr. Helmut Wedekind	Vorwort	1
Prof. Dr. Myron Peck	Historische und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels: Von Ökologie zu Ökonomie	7
Dr. Timo Basen Dr. Alexander Brinker	Folgen des Klimawandels in den Fließgewässern	45
Dr. Uwe Brämick Dr. Thomas Klefoth	Folgen von Klimaveränderungen für Fischbestände in Standgewässern: Mechanismen, Beispiele und Handlungsoptionen	71
Matthias Pfeiffer Dr. Gert Füllner	Auswirkungen des Klimawandels auf die Karpfenteichwirtschaft	105
Dr. Alexander Brinker	Die Perspektive der Forellenzucht in Zeiten von Wasserknappheit und Erwärmung	137
Dr. Patrick Polte	Hering in der Ostsee – Einfluss der Phänologie auf die Produktivität des Herings der westlichen Ostsee	153
Dr. Heino Fock	Veränderung der Verbreitung von Migration von Fischbeständen	165
Anhang I	Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats	177
Anhang II	Referenten	179
Anhang III	Resolution	181

Vorwort

Die Vortragsveranstaltung des Wissenschaftlichen Beirats des DFV auf dem Fischereitag 2019 in Magdeburg befasste sich mit dem laufenden Klimawandel, der die gesamte Gesellschaft und insbesondere die Landwirtschaft derzeit stark beschäftigt. Der Klimawandel wurde als Generalthema ausgewählt, weil sich bereits Auswirkungen auf die Fischerei abzeichnen.

Bereits bei früheren Klimawandelereignissen in der Erdgeschichte, haben Veränderung von Temperaturen und Niederschlagsverhältnissen immer auch zu Veränderungen in der Biosphäre geführt. Es kam zu veränderten Lebensgemeinschaften und Verbreitungen von Arten, es gab Gewinner und Verlierer der Entwicklung. Uns interessierten bei der Veranstaltung besonders die Auswirkungen auf die fischereirelevanten Arten und Lebensgemeinschaften und natürlich auch auf die Fischerei und Aquakultur als Wirtschaftszweig.

In der Binnenfischerei und -aquakultur wurden in den vergangenen Sommern eine Verringerung des Wasserdargebots und ein Anstieg der Wassertemperaturen beobachtet, der – je nach Gewässer und Haltungssystem – vielfach eine Verringerung des Sauerstoffgehalts zur Folge hatte. Des Weiteren führten die unregelmäßig und regional unterschiedlich verteilt auftretenden Starkregenereignisse

zu einem vermehrten Eintrag verschiedenster Stoffe und partikulärer Substanzen in unsere Gewässer. Es wird überschlägig angenommen, dass etwa ein Drittel der Fischarten im Süßwasser von Lebensraumveränderungen betroffen sind. Dabei wurde beobachtet, dass insbesondere Opportunisten von dieser Entwicklung profitieren können, Spezialisten jedoch unter Umständen beeinträchtigt werden. In der Binnenfischerei befasst man sich daher bereits mit Möglichkeiten zur Linderung dieser Extreme durch das Ergreifen von Notfallmaßnahmen, wie z. B. der Bergung von Fischbeständen, Notabfischungen und der Belüftung von Teichen. Die Fachdiskussionen nehmen Fahrt auf, es geht um die Erhöhung der Gewässerresilienz und um Maßnahmen zur Renaturierung, Beschattung und Schaffung von Rückzugshabitaten (Kaltwasserbereiche) für gefährdete Fischarten. Darüber hinaus ist es noch wichtiger geworden, sich mit der Reduzierung stofflicher Belastungen aus Industrie und Landwirtschaft zu befassen, weshalb Gewässerrandstreifen und Gewässerstrukturen eine große Bedeutung haben.

In der marinen Fischerei laufen derzeit zahlreiche Forschungen zu historischen Klimaveränderungen und deren Auswirkungen auf die Fischerei, wobei insbesondere die Verschiebung der Verbreitungsgebiete verschiedener Zielfischarten nachvollzogen werden konnte. Aktuelle Untersuchungen beziehen ökologische, ökonomische und auch sozialwissenschaftliche Aspekte ein und haben die Erarbeitung wissenschaftsbasierter Empfehlungen für die Zukunft

zum Ziel. Mittels Modellierung sollen Klimaauswirkungen auf Fischbestände vorhergesagt werden. Bereits heute ist sichtbar, dass in der nördlichen Hemisphäre Bewegungen in Richtung Pol ablaufen bzw. zu erwarten sind. Einige Fische werden "Klimagewinner" und einige "Klimaverlierer" sein.

Insgesamt ist festzustellen, dass Klimaveränderungen sich nicht isoliert von anderen Stressoren, die auf die Gewässer wirken, betrachten lassen. Als erster Schritt gilt es also die Auswirkungen zu erkennen und zu analysieren sowie die Ergebnisse auch in die fischereiliche Praxis zu kommunizieren. Derzeit beobachten wir noch einen erheblichen Mangel an belastbaren und insbesondere langfristigen Datenreihen, so dass sich wahrscheinlich erst viel später die Beurteilung der Klimafolgeschäden ableiten lässt. Schon heute wissen wir, dass verschiedene Maßnahmen ergriffen werden müssen, um Fischerei aufrechterhalten zu können, wie z. B. in der Aquakultur die Erhöhung der Wasserrückhaltefähigkeit der Teiche durch eine Erweiterung der Zuleiter, Vertiefungen bzw. Erhöhung von Dämmen. Im Bereich der Forellenproduktion lässt sich dem Wassermangel durch neues Wassermanagement mit Teilkreislaufführung begegnen. Insgesamt wird es darum gehen, zukünftig eine wassersparendere Bewirtschaftung zu entwickeln. Weitere, eher langfristig wirkende Maßnahmen, könnten die Einführung wärmetoleranter Zuchtfischarten oder eine gezielte Züchtung mit

vorhandenen Stämmen zur Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen sein.

Die genannten Möglichkeiten gehören zu den zahlreichen Handlungsfeldern, die sich aus dem laufenden Klimawandel ergeben. In allen Sparten und Verfahren der Fischerei müssen Anpassungsstrategien an die sich verändernden Bedingungen entwickelt werden. Dazu gehört sicher auch ein angepasstes Management der natürlichen Ressourcen, sowohl im marinen, als auch im limnischen Bereich. Die dafür notwendigen, innovativen Konzepte zur Bewältigung der Entwicklungen und zum Erschließen möglicher neuer Chancen bedürfen einer wesentlichen Verstärkung der Forschung in diesem Bereich. Mögliche Maßnahmen müssen verstärkt untersucht, priorisiert und in die Beratung einbezogen werden.

Wir müssen uns intensiver mit dem Klimawechsel befassen, damit sich Fischer, Fischzüchter und Betriebe auf die Veränderungen einstellen können. Nach wie vor handelt es sich bei der Fangfischerei und der Fischproduktion in der Aquakultur um besonders nachhaltige Formen der Erzeugung hochwertiger tierischer Nahrungsmittel mit guter Ökobilanz. In einer Zeit, in der allseits über regionale Erzeugung gesprochen wird, sollten wir unsere Anstrengungen zum Erhalt unserer heimischen Fischereien verstärken.

Die Vortragsveranstaltung des Wissenschaftlichen Beirats sollte zur Darstellung des Standes des Wissens zu Klimawandel und Fischerei beitragen. Wir haben sieben ausgewiesene Referenten aus allen Sparten eingeladen, um Näheres für die Bereiche Fließgewässer, große Seen, Aquakultur und zur marinen Fischerei zu erfahren. Im Nachgang lässt sich sagen, dass es gelungen ist, eine hervorragende Übersicht zu erhalten und dem zahlreich erschienen Publikum aktuellste Informationen zur Verfügung zu stellen. Der vorliegende Tagungsband gibt die Referate in Beiträgen der Autoren wieder. Darüber hinaus befindet sich im Anhang dieser Schrift die vom Deutschen Fischerei-Verband beim Fischereitag 2019 herausgegebene Resolution zum Thema Klimawandel in der Fischerei, die vom Wissenschaftlichen Beirat vorbereitet wurde.



Dr. Helmut Wedekind
Vorsitzender des
Wissenschaftlichen Beirats

Historische und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels: Von Ökologie zu Ökonomie

Prof. Dr. Myron Peck
Universität Hamburg

**Historische und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels:
Von Ökologie zu Ökonomie**

Prof. Myron A. Peck
(und viele Co-Autoren...)

Universität Hamburg
Zentrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit
Institut für Marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften
myron.peck@uni-hamburg.de

Deutschen Fischereitag
Mittwoch August 21, 2019
Magdeburg, Germany

 
<http://ceresproject.eu>

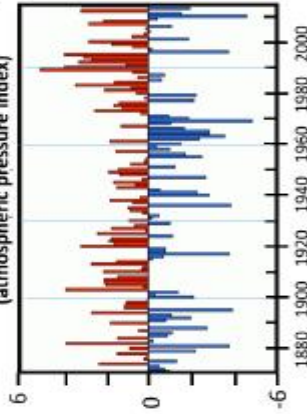

myron.peck@uni-hamburg.de
ICES-PICES SICOME

Drei Gedanken für heute Morgen

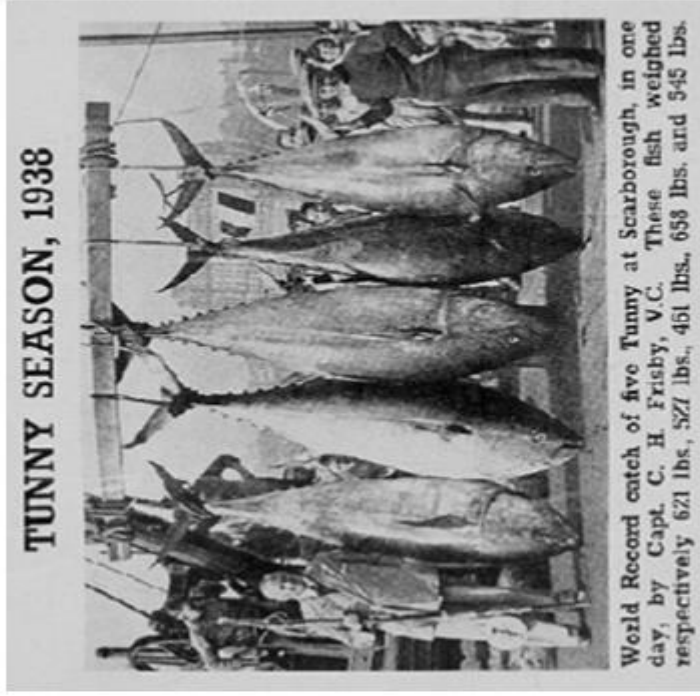
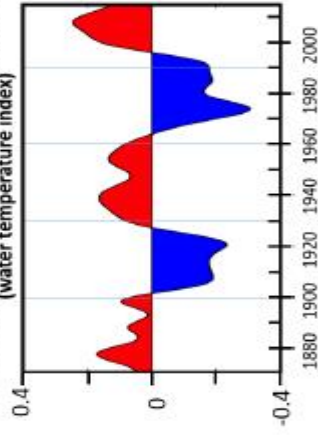
- 1) Wie hat das Klima die Fischerei in der Vergangenheit beeinflusst?
- 2) Welche Forschung wird heute betrieben, um zukünftige Einflüsse auf Fische und die menschlichen Gesellschaften vorauszusagen, die von ihnen abhängig sind?
- 3) Schlussfolgerungen und Ausblick

Klimawandel?

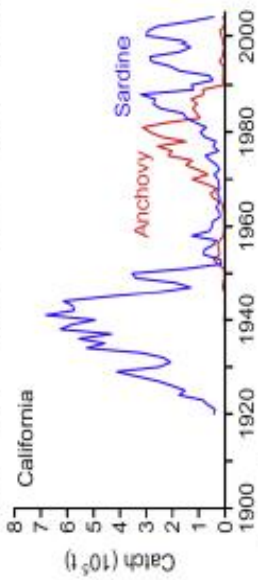
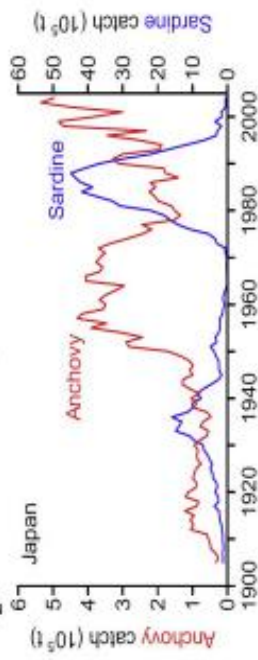
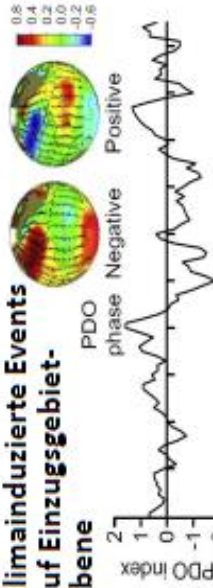
North Atlantic Oscillation (NAO)
(atmospheric pressure index)



Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)
(water temperature index)



**Klimainduzierte Events
auf Einzugsgebiet-
Ebene**

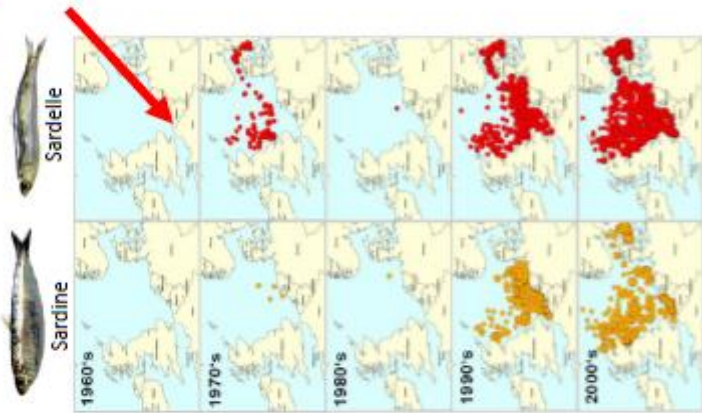


Takasuka et al. Prog Oceanogr 2008

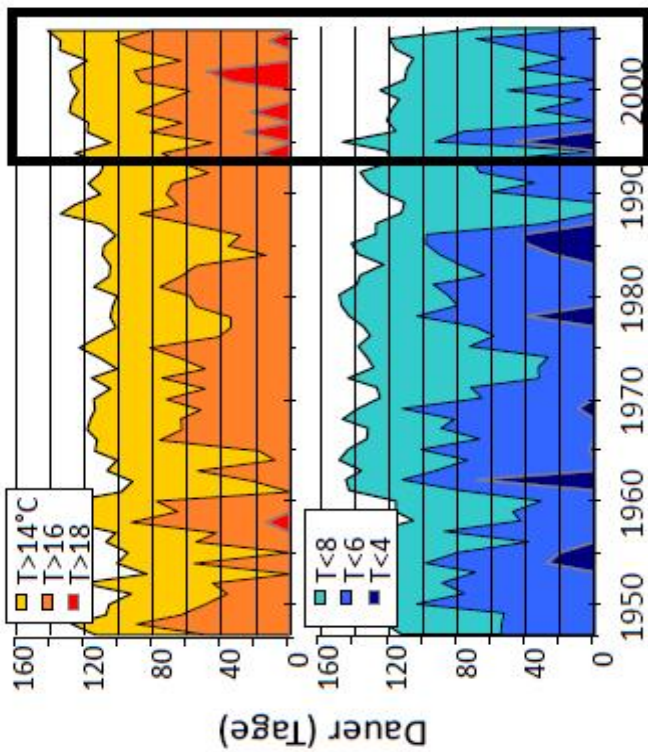
**Pavlov Bay, Alaska
(engmaschiges Schlepptnetz)**



Verschiebungen Richtung Pol?



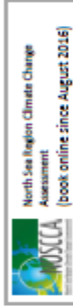
Modellierte Wassertemperaturen - Südliche Nordsee



Peck et al. 2013

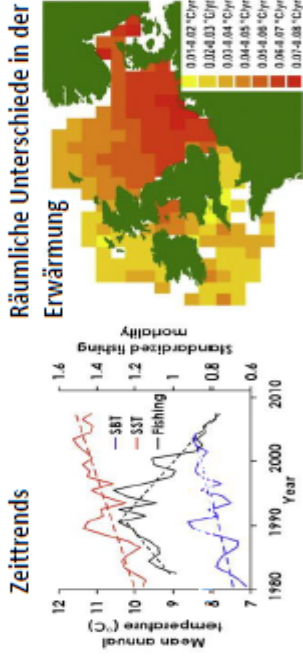
Zeit (Jahr)

(Petigas et al. 2012)

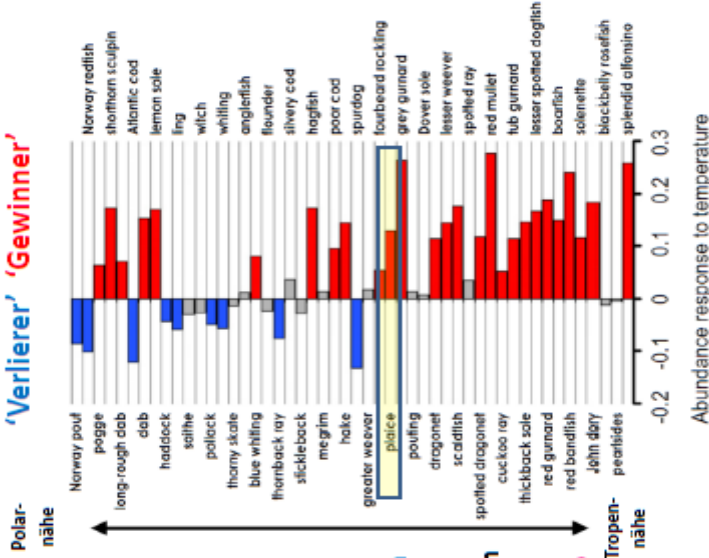


Ein Meer von historischen Daten über die Nordsee

'Verlierer' 'Gewinner'

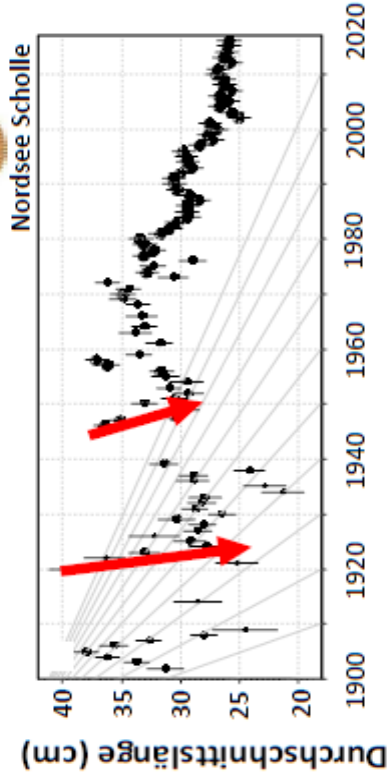
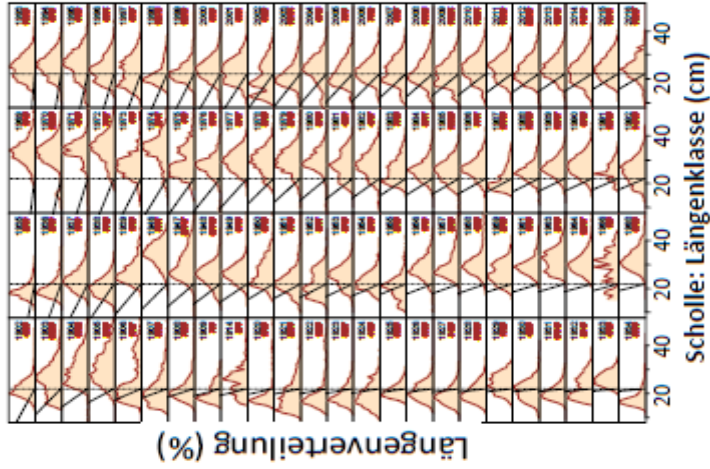


- **72% der Fischarten reagierten durch Veränderungen in Ausbreitung und Vorkommen auf Erwärmung**
- **Zentren der Ausbreitung verschoben sich allgemein um Distanzen von 48 bis 403 km**
- **Fischarten am Meeresboden wanderten um ~3.6m pro Jahrzehnt tiefer zwischen 1980 und 2004**
- **Fänge (1913–2007) von Kabeljau, Schellfisch, Scholle und Seezunge verschoben sich in ihrer Ausbreitung, aber nicht gleichmäßig**



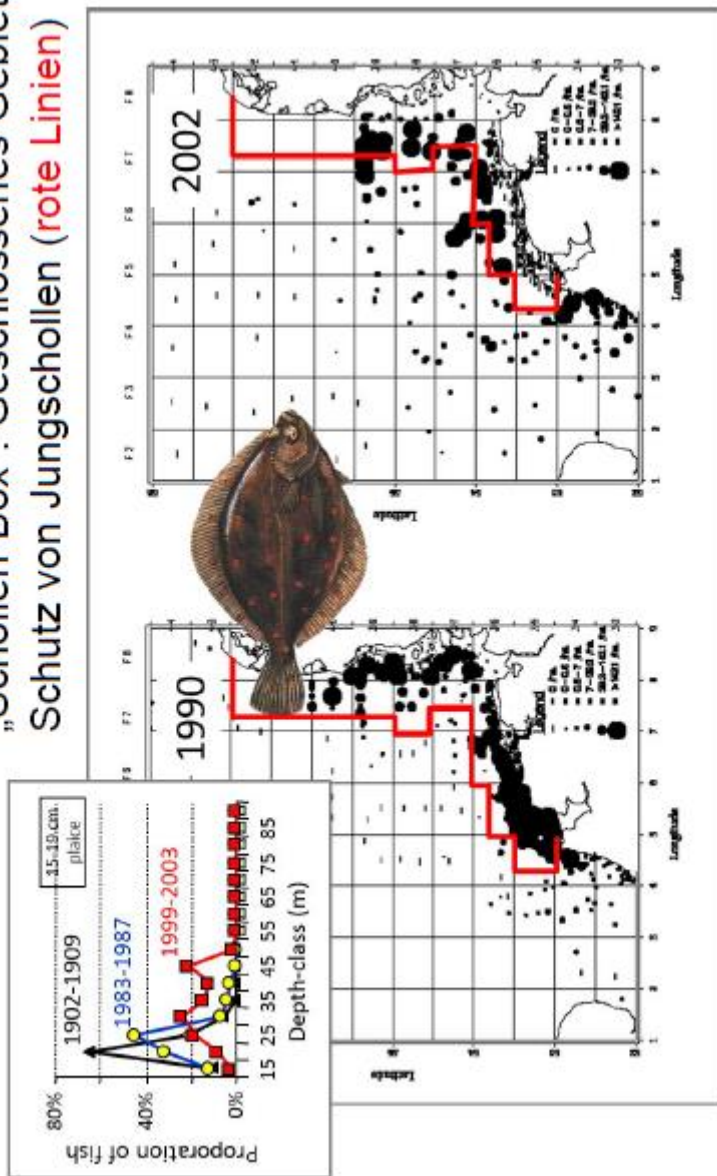
(Perry et al. 2005; Dulvy et al. 2008; Engelhard et al. 2011; Simpson et al. 2011).

Einfluss von Klima vs Einfluss von Fischerei...



Georg Englehardt & John Pinnegar - Cefas

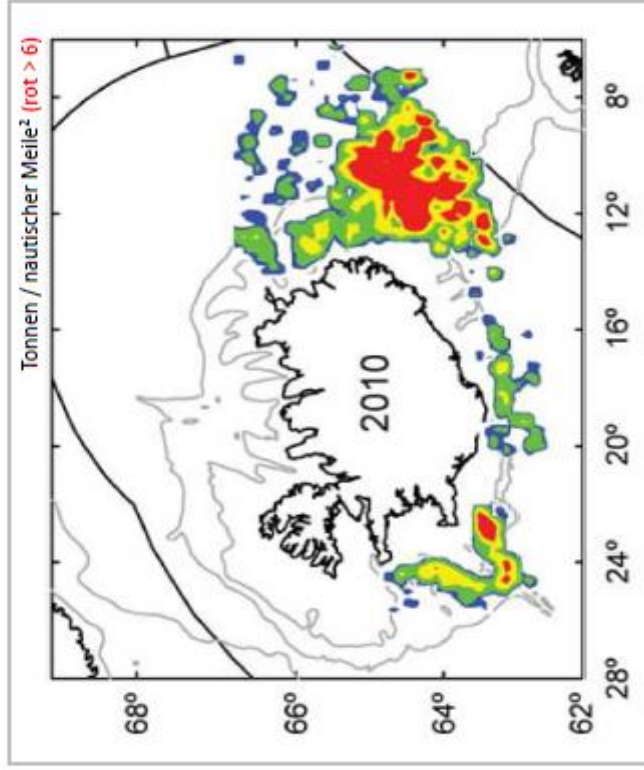
„Schollen-Box“: Geschlossenes Gebiet – Schutz von Jungschollen (rote Linien)



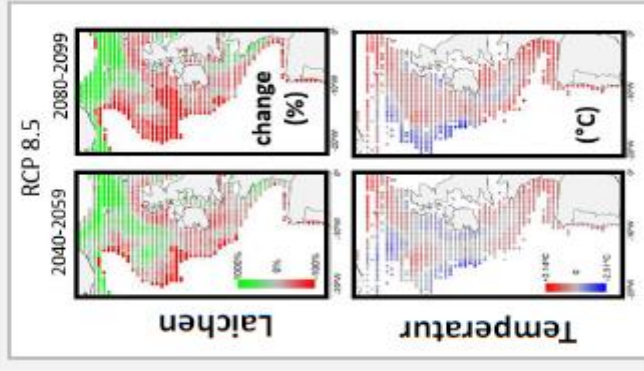
(From Adriaan Rijnsdorp, IMARES: Van Keeken et al. 2007 *Journal of Sea Research*)

Hochheitsrechte stehen zur Prüfung:

Makrelen verschieben sich von norwegischen in isländische Gewässer...



Asthorrsson et al. 2012



Bruge et al. 2016

Drei Gedanken für heute Morgen

- 1) Wie hat das Klima die Fischerei in der Vergangenheit beeinflusst?
- 2) Welche Forschung wird heute betrieben, um zukünftige Einflüsse auf Fische und die menschlichen Gesellschaften vorauszusagen, die von ihnen abhängig sind?
- 3) Schlussfolgerungen und Ausblick

CERES

Climate change and European aquatic RESources

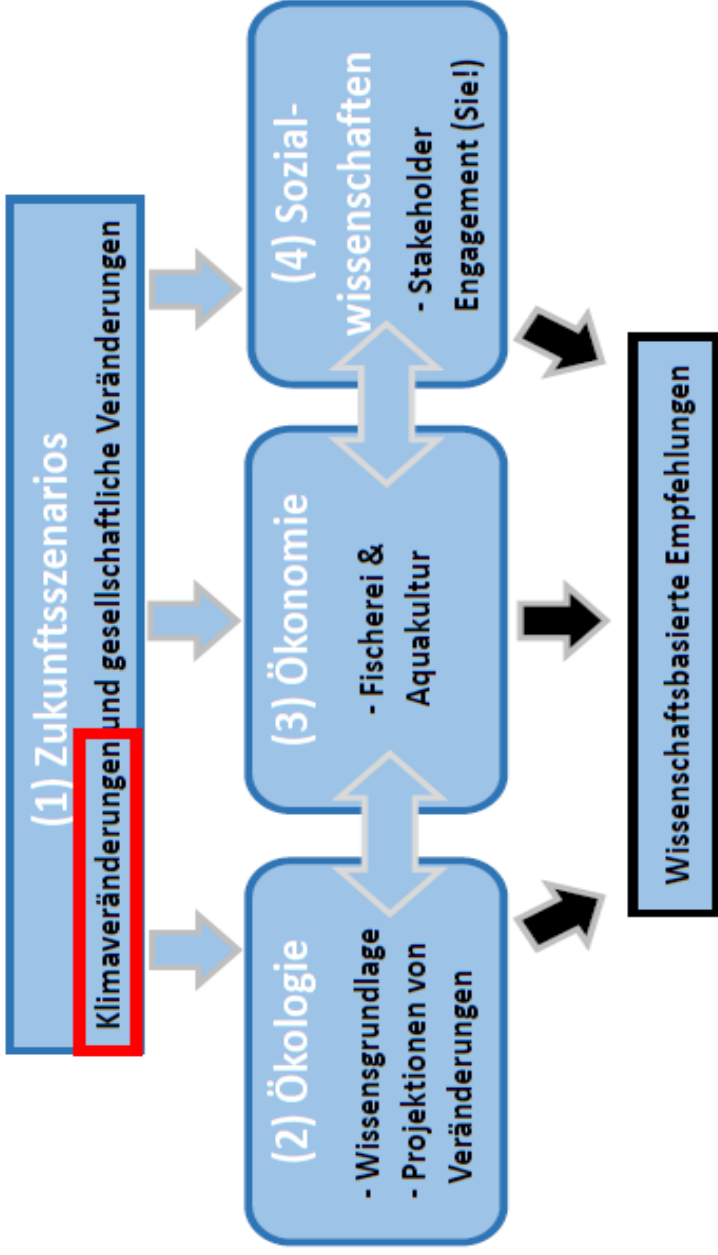
Europäische Fische, Schalentiere, Fischerei und Aquakultur



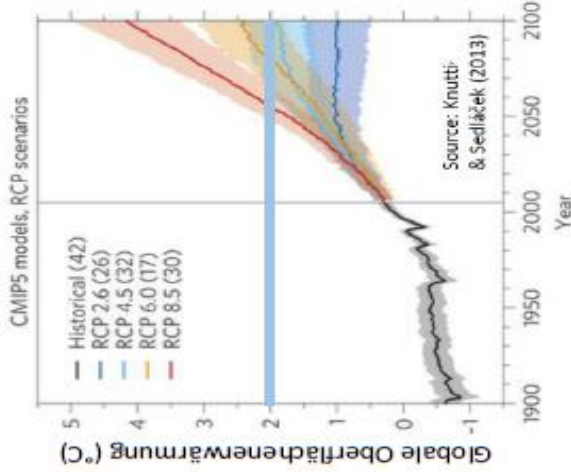
2016 – 2020
26 Partner
12 Nationen



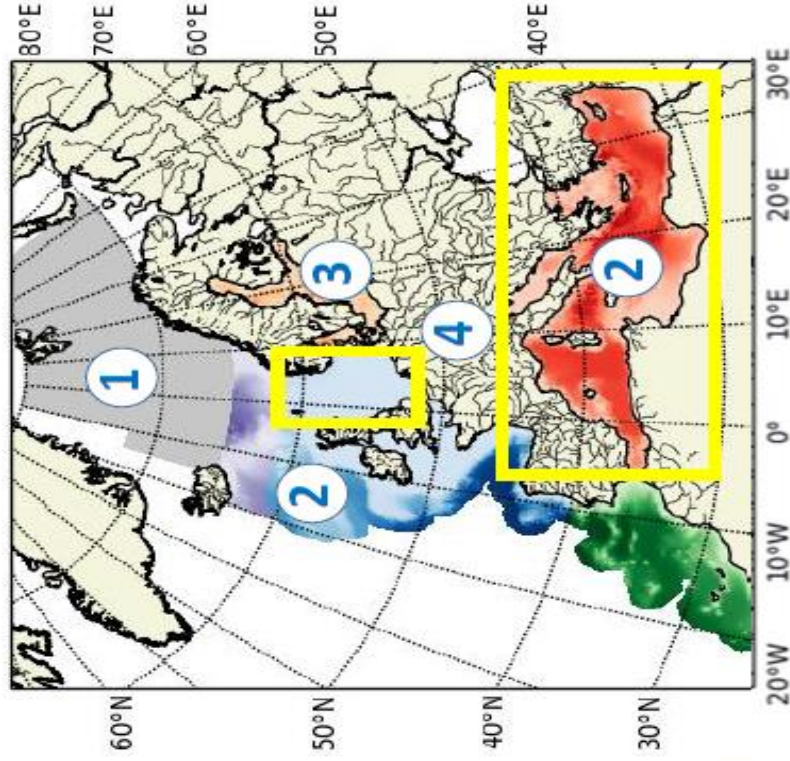
Vorhersagen zukünftiger Klimawandelauswirkungen



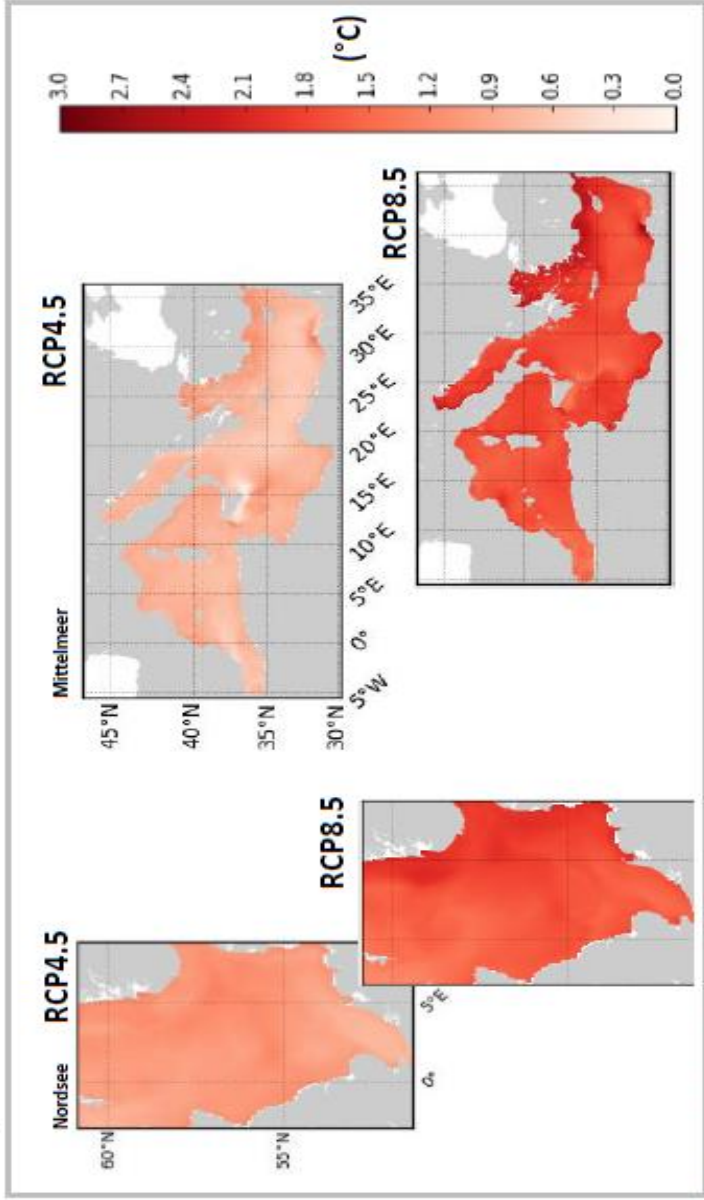
Abiotische / biogeo- chemische Projektionen



**Regionale Konzentrationsverläufe
4.5 & 8.5 bis 2070 oder 2100**



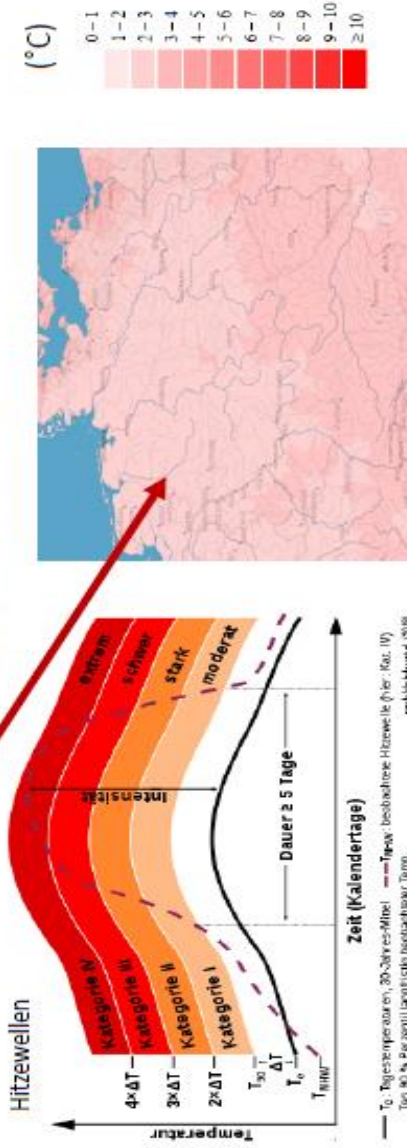
Vorhergesagte Veränderungen der Meeresoberflächen-temperatur in 50 Jahren



Heißeste Temperaturen seit Beginn der Aufzeichnungen - 42.6°C - in Lingen, Niedersachsen, 25.07.2019

SMHI Hype/Wed
<https://hypeweb.smhi.se/explore-water/climate-impacts/europe-climate-impacts/>

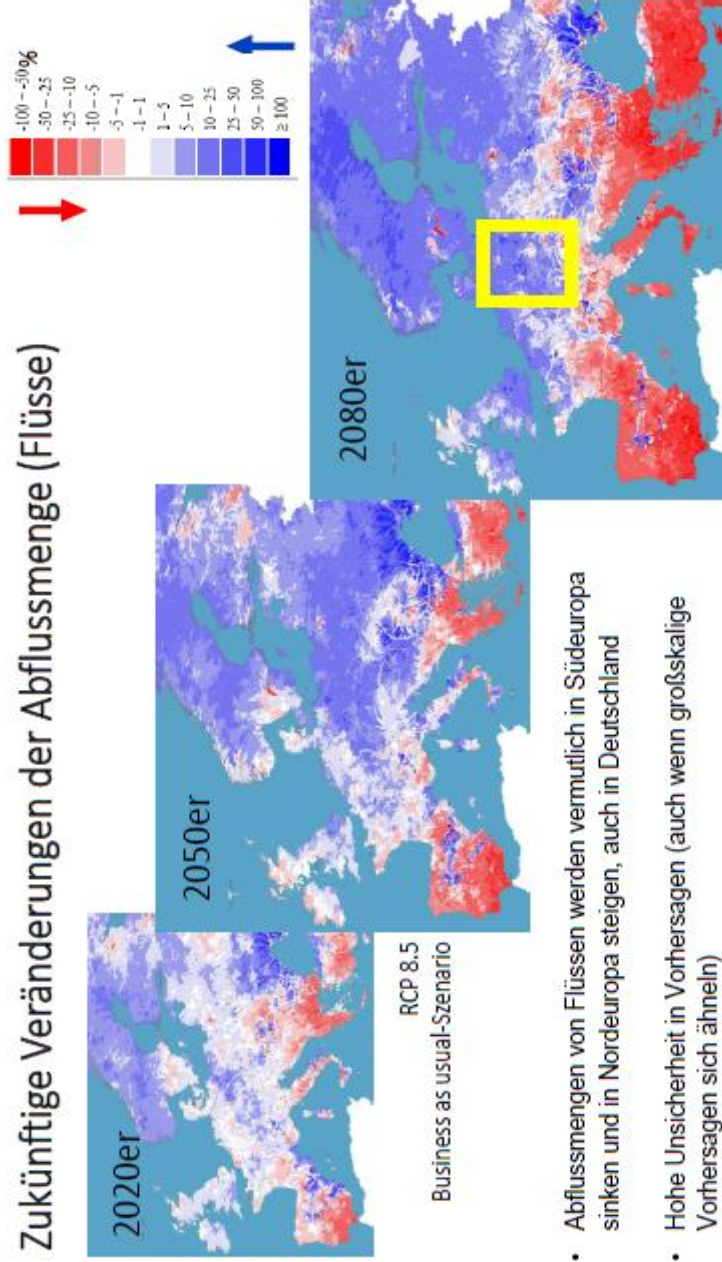
Vorhergesagte Erwärmung in 2080
 (im Verhältnis zu 1970-2000)



Historische Wassermenge (Flüsse)



Zukünftige Veränderungen der Abflussmenge (Flüsse)



- Abflussmengen von Flüssen werden vermutlich in Südeuropa sinken und in Nordeuropa steigen, auch in Deutschland
- Hohe Unsicherheit in Vorhersagen (auch wenn großskalige Vorhersagen sich ähneln)
- Mehr dazu in der nächsten Präsentation von Dr. Timo Basen

Fischer möchten wissen, wie stürmisch es in Zukunft wird...

Der Winter 2013/14 war der stürmischste in den letzten 66 Jahren mit zerstörerischen Auswirkungen für die Küstenfischerei in Großbritannien.

Viele Boote mussten für über 5 Monate im Hafen bleiben. Dies hatte Auswirkungen auf Umsatz, Profite und die lokale Wirtschaft und schädigte sowohl Infrastruktur an Land und die Fischerboote selbst.

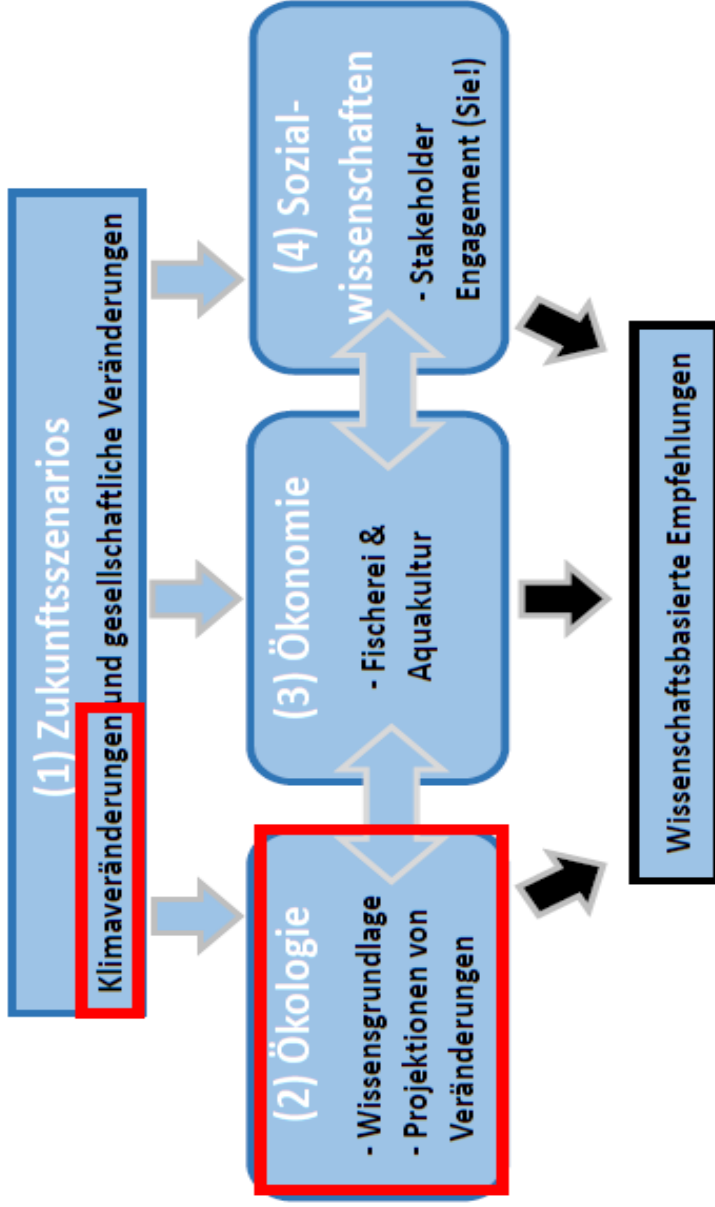
Vorhersagen zukünftiger Sturmaktivität sind sehr unsicher, aber im Allgemeinen erwarten wir häufigere, längere und stärkere Stürme in der Nordsee.

From John Pinnegar (CEFAS)

40% Preisanstieg

Das Wetter hat sich wieder geändert, und die Fischer wissen, wie stürmisch es in Zukunft wird...
Die Auswirkungen sind zerstörerisch und schädigen die lokale Wirtschaft an Land und die Fischerboote selbst.
Vorhersagen zukünftiger Sturmaktivität sind sehr unsicher, aber im Allgemeinen erwarten wir häufigere, längere und stärkere Stürme in der Nordsee.

Vorhersagen zukünftiger Klimawandelauswirkungen



Gap Analysis (Lückenanalyse)

Web of science n = 21,714 Studien,
344 einbezogen



Marine
Fischerei

7 pelagische, 6 demersal, 1 Tintenfisch, 1 Schrimp



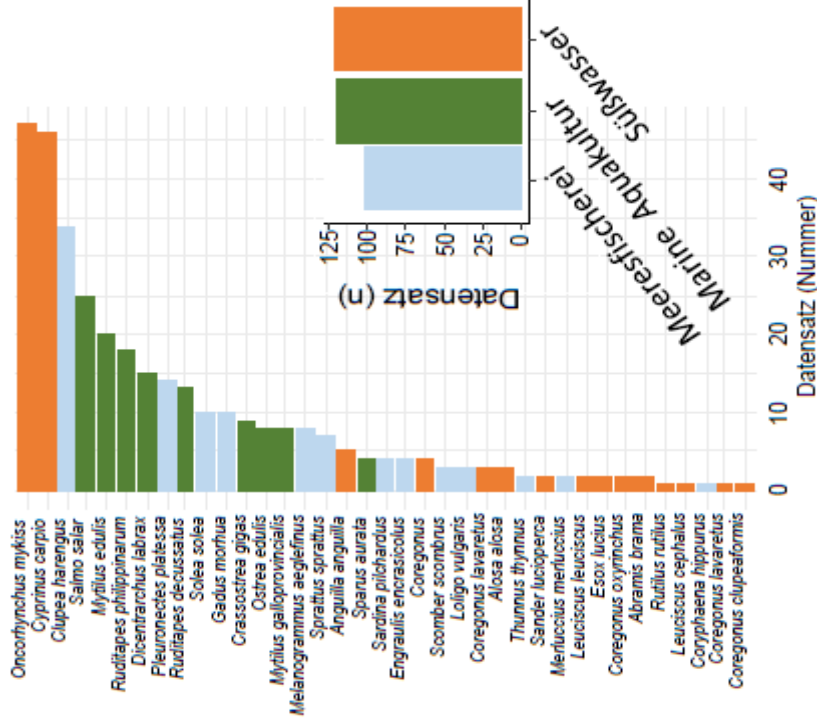
Marine
Aquakultur

3 Flossenfische, 6 Muscheln

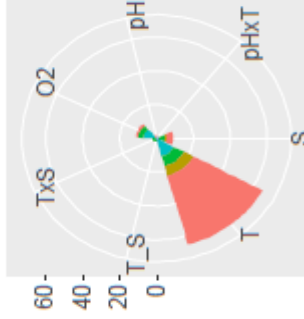


Binnen-
gewässer

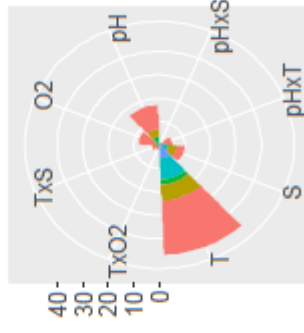
2 Kulturfische, >15 gefischte Arten



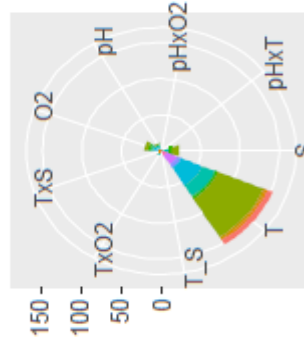
Meeresfischerei



Marine Aquakultur



Süßwasser



abiotischer Faktor

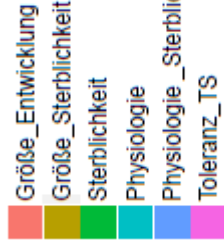
T = Temperatur

S = Salzgehalt

O2 = Sauerstoff

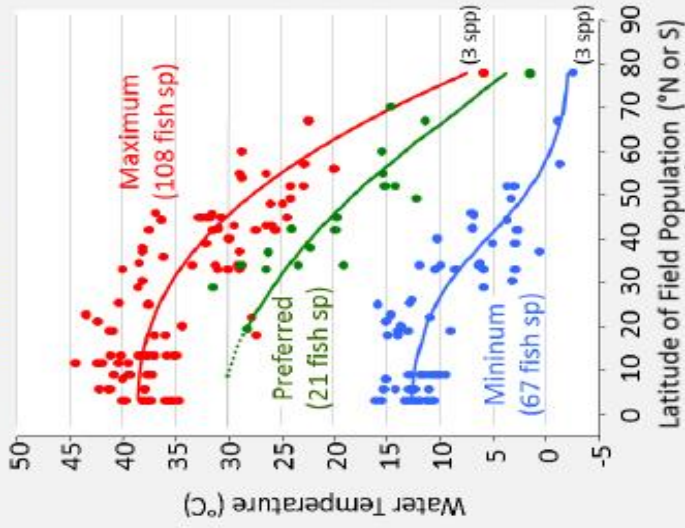
pH = pH

Erforschte Auswirkungen



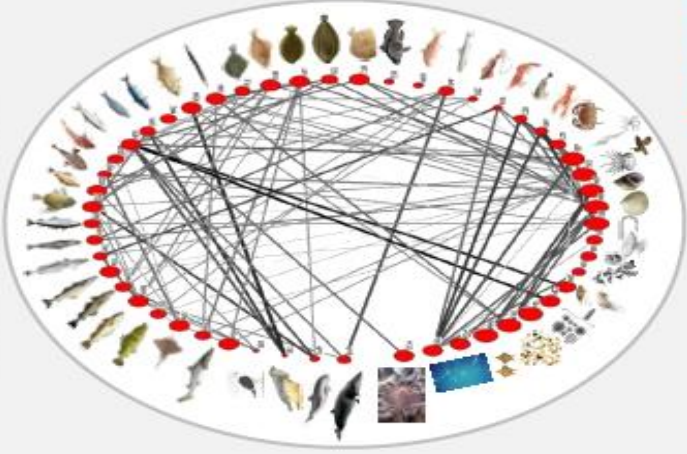
Modelle basierend auf ökologischem Wissen

... über physiologische Toleranzen



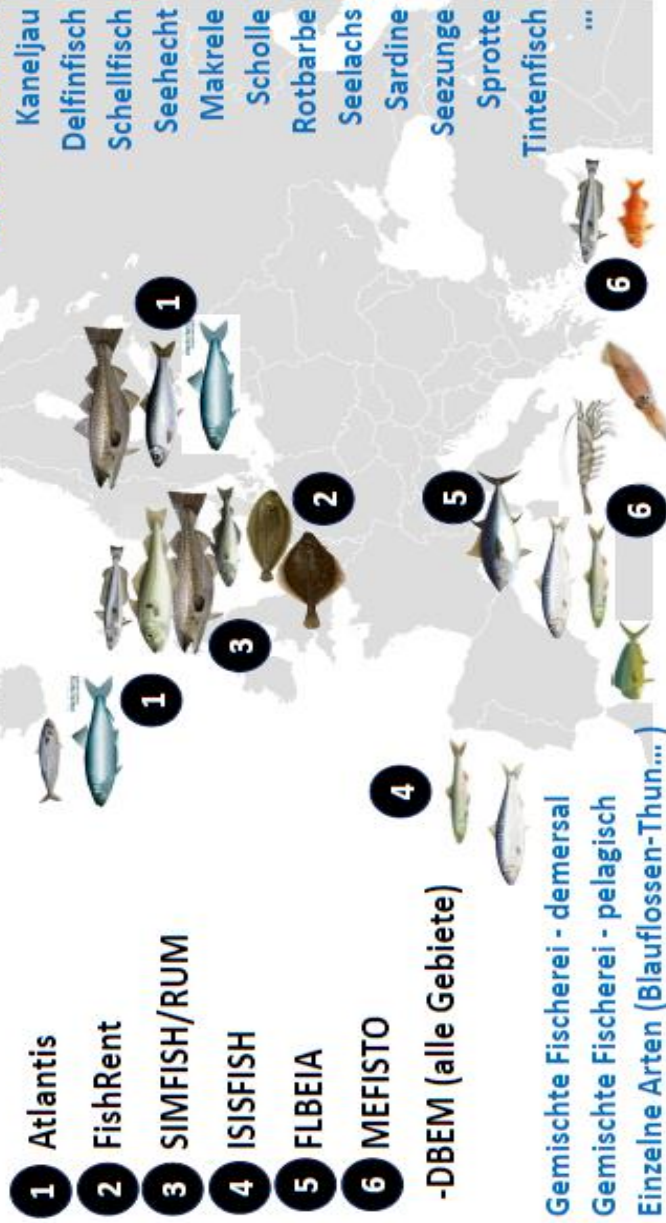
(Pörtner & Peck, 2010)

... über Nahrungsnetz

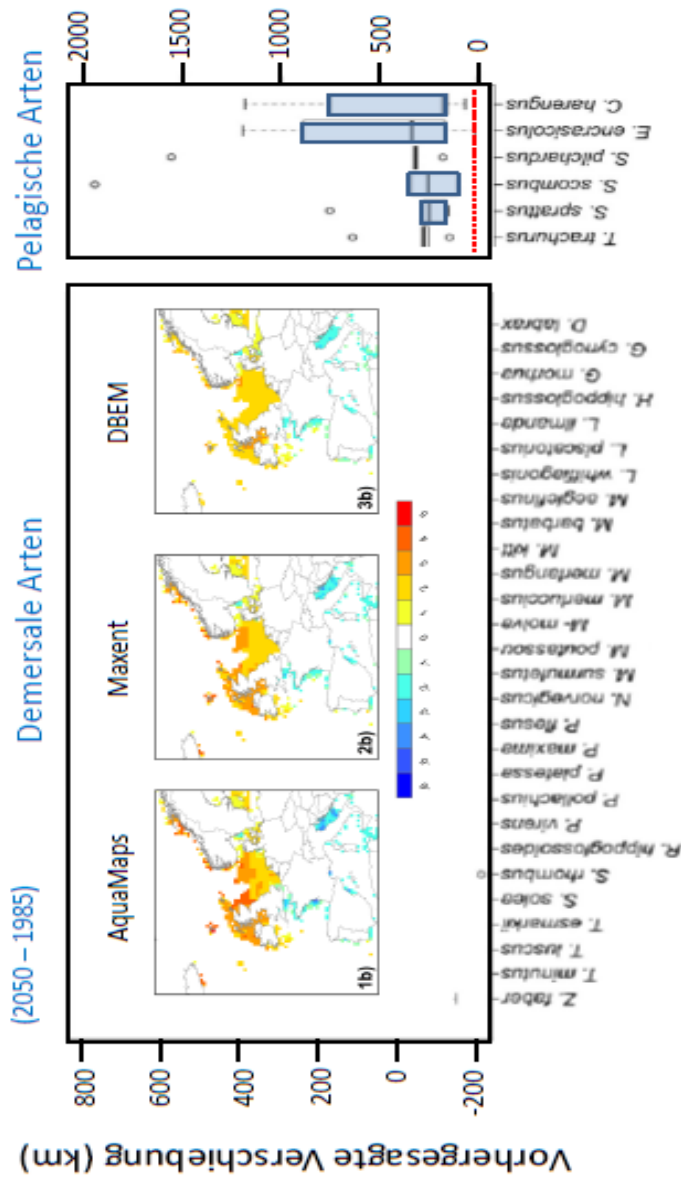


Nordsee-
Nahrungsnetz in 'Atlantis'

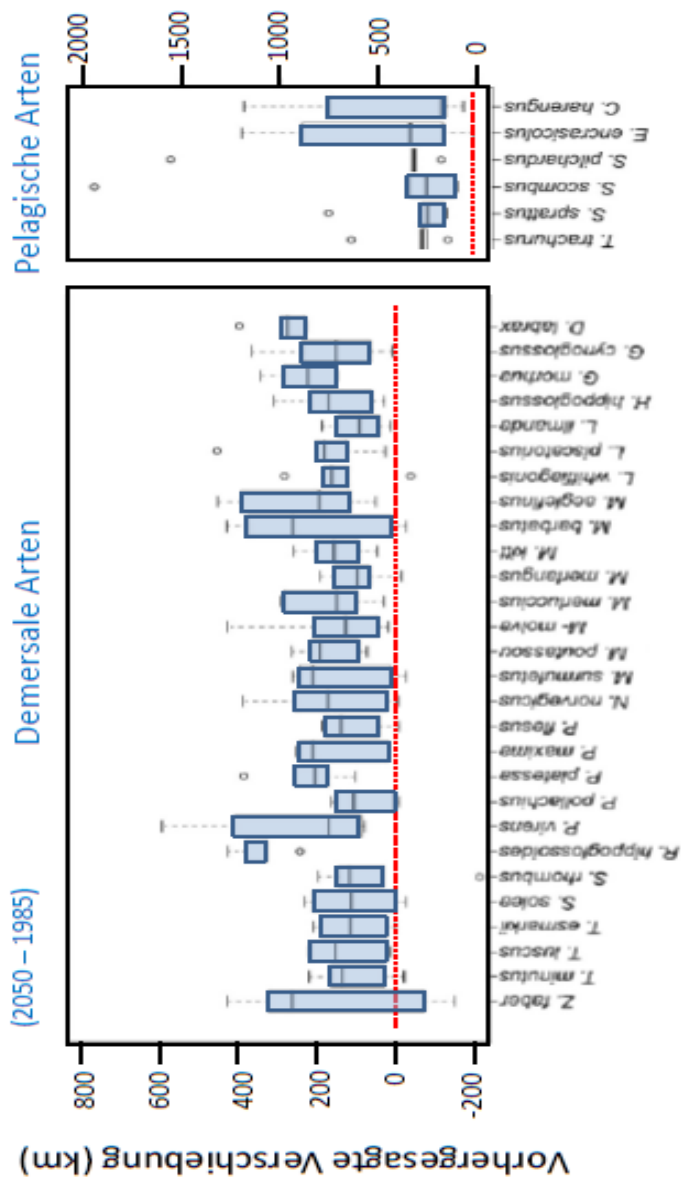
Viele Methoden / Modellen



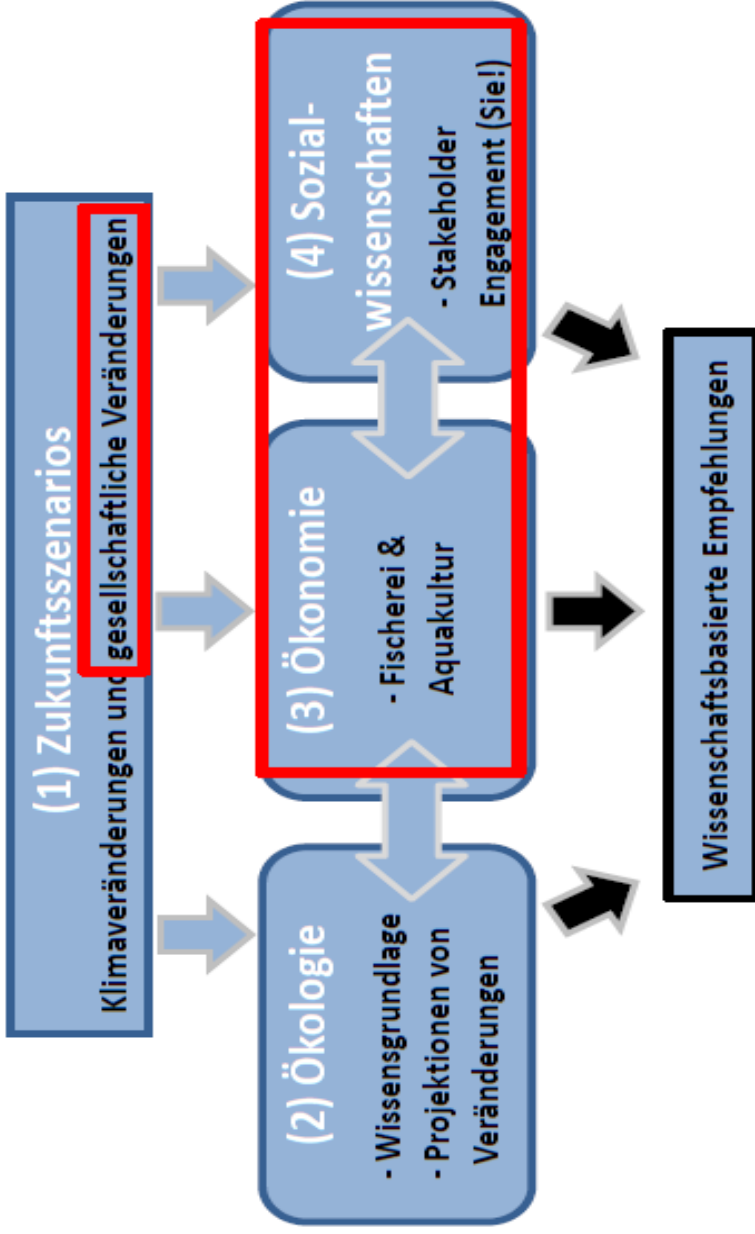
Vorhergesagte Veränderungen in der Verteilung von Nordseefisch in 2050



Vorhergesagte Veränderungen in der Verteilung von Nordseefisch in 2050

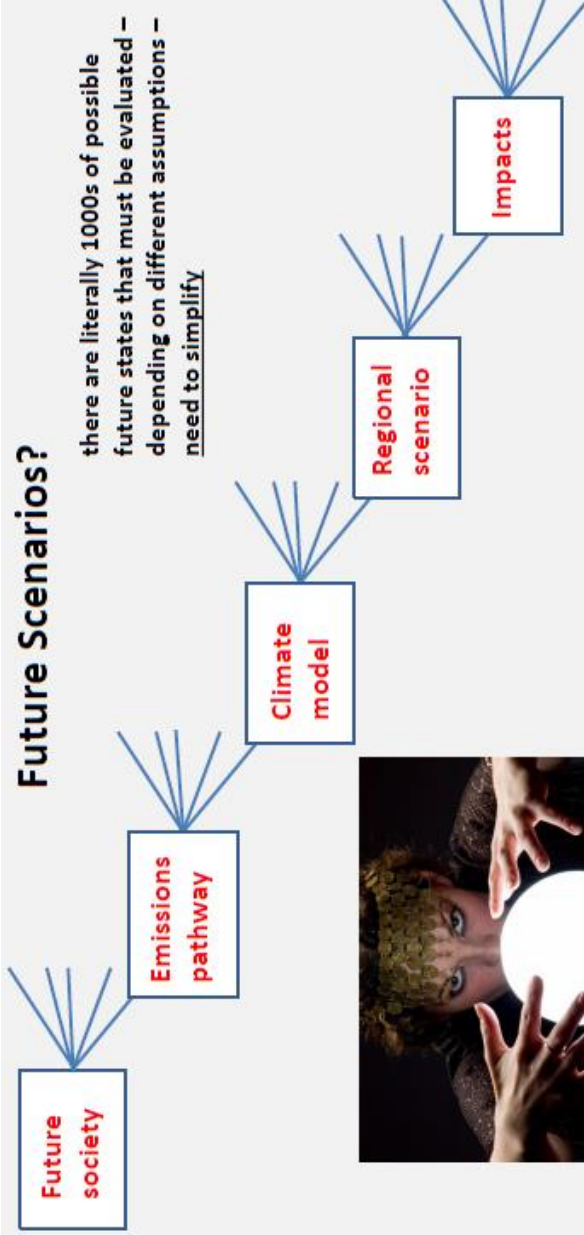


Vorhersagen zukünftiger Klimawandelauswirkungen



Future Scenarios?

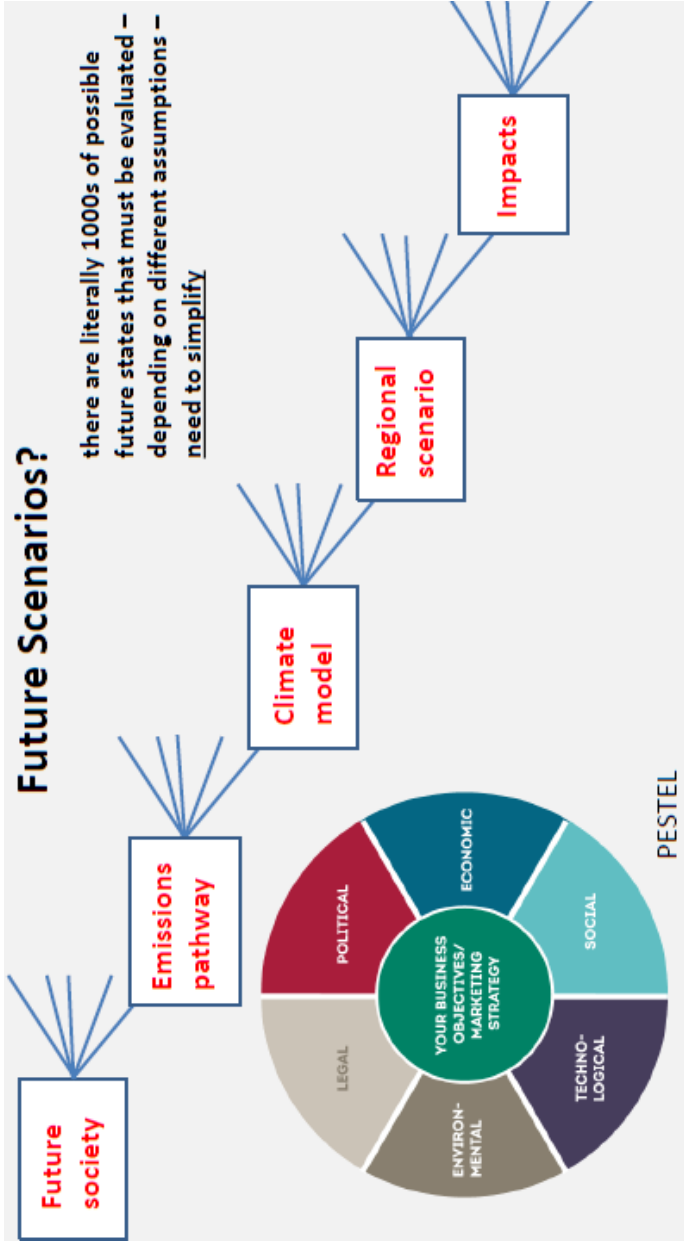
there are literally 1000s of possible
future states that must be evaluated –
depending on different assumptions –
need to simplify



© businessfacilities.com

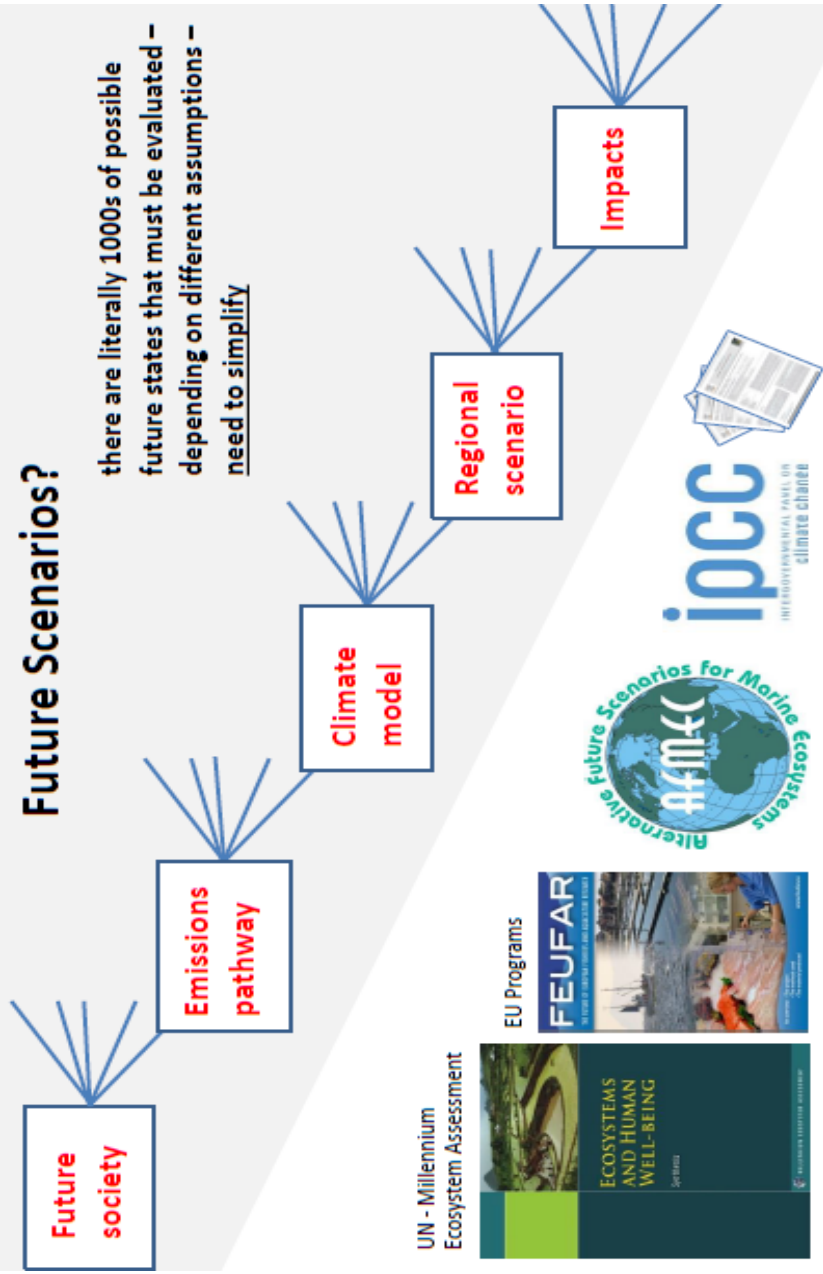
Future Scenarios?

there are literally 1000s of possible future states that must be evaluated – depending on different assumptions – need to simplify



Future Scenarios?

there are literally 1000s of possible future states that must be evaluated – depending on different assumptions – need to simplify



(RCP8.5) **Weltmärkte (WM)**



„Wachstum ist gut!“

Höchstes Bevölkerungswachstum, höchste Nutzung fossiler Brennstoffe, Profitorientierung

Eine nachhaltige Alternative zu WM, aber mit 14% niedrigeren Wachstumsraten



„Wir halten die Erde in unseren Händen!“

(RCP4.5) **Globale Nachhaltigkeit (GS)**

(RCP8.5) **Nationale Unternehmen (NE)**



„Zieht die Zugbrücke hoch!“

Intensive Nutzung fossiler Brennstoffe, aber mehr nationale Isolation, weniger Wirtschaftswachstum

Fokus auf lokale Ressourcen/Strategien, erneuerbare Energien weniger genutzt im Vgl. zu GS



„Lokal denken, lokal handeln!“

(RCP6.0) **Lokale Verantwortung (LS)**

Gesellschaftliche und politische Szenarios für Fischerei und Aquakultur in Europa

CERES Climate change and European aquatic RESources

Socio-political scenarios for the fishery and aquaculture sectors in Europe

Short-, medium- and long-term developments in governance, social, technological and economic domains may be just as important to fisheries and aquaculture as climate-driven changes in habitats and species.

Here we propose a set of 5 exploratory, future socio-political scenarios that will be used throughout the CERES project to understand governance and assess the risks for fisheries and aquaculture with the wider stakeholder community.



- Scenarios are designed "forward"
- They do not assume sustainability, as a forecast would, but in sets of alternatives.
- They describe both adaptive and maladaptive futures.
- For scenarios to be considered, they must at least be possible, plausible, and desirable.

www.ceresproject.eu

Why do we need the Four CERES Socio-political scenarios?

Developed for fish and shellfish Submarine Group

What is CERES?

The CERES project is a major EU FP7 initiative, coordinated by the University of Plymouth, to explore the socio-political and economic implications of climate change for fisheries and aquaculture in Europe.

Further information:

For more information visit: www.ceresproject.eu

System documentation:

- CERES Socio-political Scenarios
- CERES Economic Scenarios
- CERES Environmental Scenarios
- CERES Data and Tools
- CERES Project Reports

Publications:

- CERES Socio-political Scenarios
- CERES Economic Scenarios
- CERES Environmental Scenarios
- CERES Data and Tools
- CERES Project Reports

Partners:

- Plymouth University
- University of Exeter
- University of Southampton
- University of Liverpool
- University of Aberdeen
- University of Hull
- University of Stirling
- University of Glasgow
- University of Edinburgh
- University of Dundee
- University of Stirling
- University of Glasgow
- University of Edinburgh
- University of Dundee

Your Feedback:

Have your say! Visit www.ceresproject.eu to provide your feedback on the project.

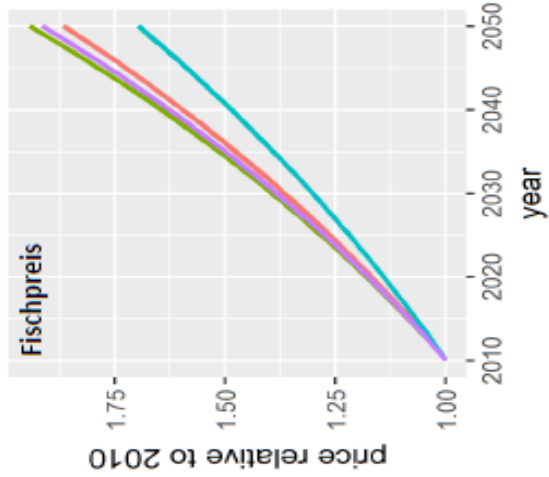
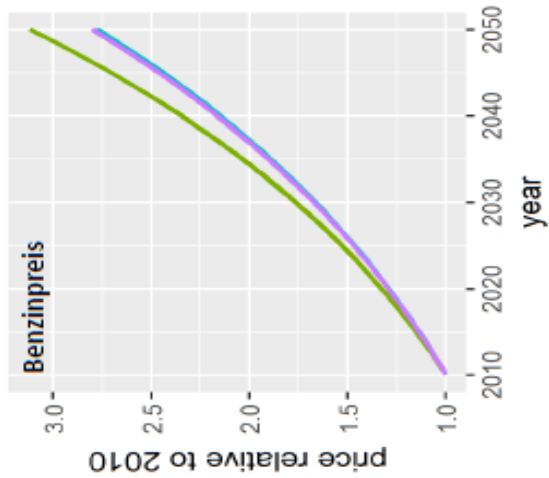
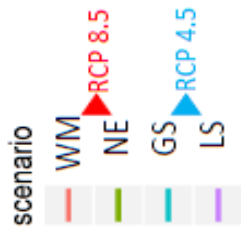
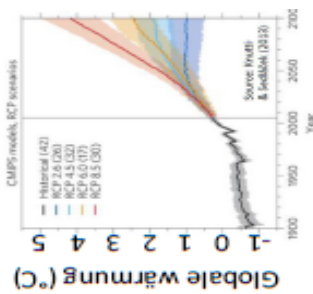
EUROPEAN COMMISSION

FP7

<https://ceresproject.eu/wp-content/uploads/2016/11/CERES-report.pdf>

Projektionen für die Fischerei in 2050

(Fischpreis, Benzinpreis, Fischereieffizienz, MSY Ziele, Richtlinien)



Veränderungen von Richtlinien in der Zukunft?

EU führte das **Verbot vom Rückwurf von Fisch** in 2014 ein – es ist erforderlichlich allen gefangenen Fisch anzulanden

Wenn die am wenigsten im Überfluss vorkommende Quote - die "choke species"- erschöpft ist, muss die gesamte Fischerei schließen

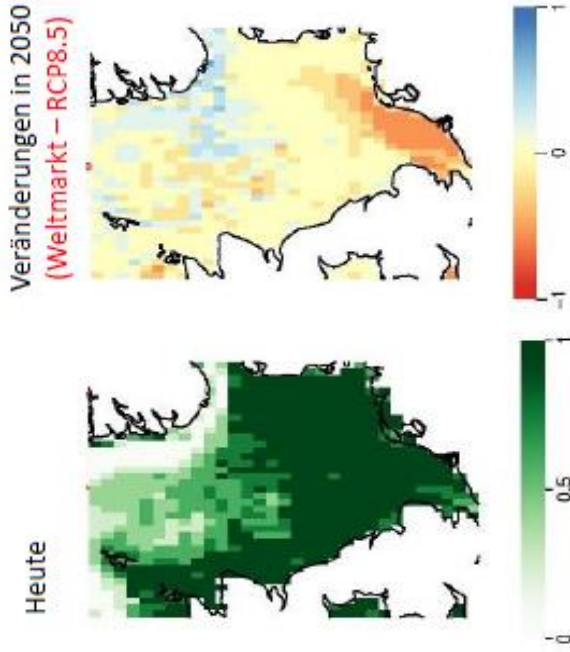
Seehecht, eine Warmwasserart, hat sich dramatisch erhöht zwischen 2004 und 2011 in der Nordsee wo er größtenteils nicht vorkam für > 50 Jahre

Niedrige Quoten für Nordseehecht werden ein Begrenzungsfaktor werden, die in verfrühten Schließungen der gesamten gemischten Grundfischerei enden könnten

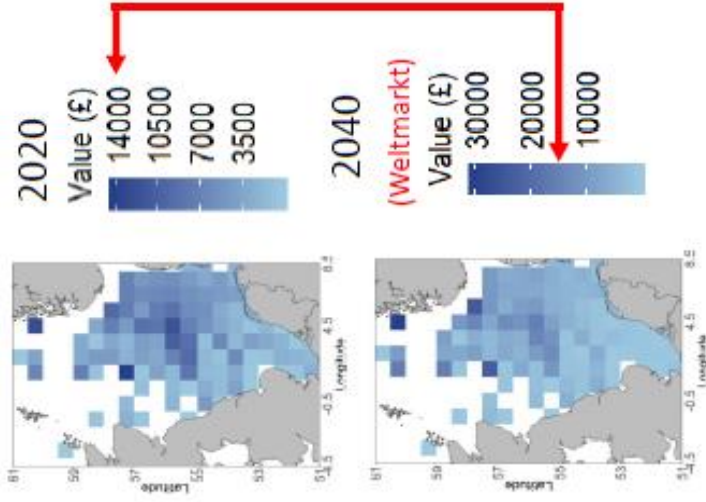
From John Pinnegar (CEFAS)



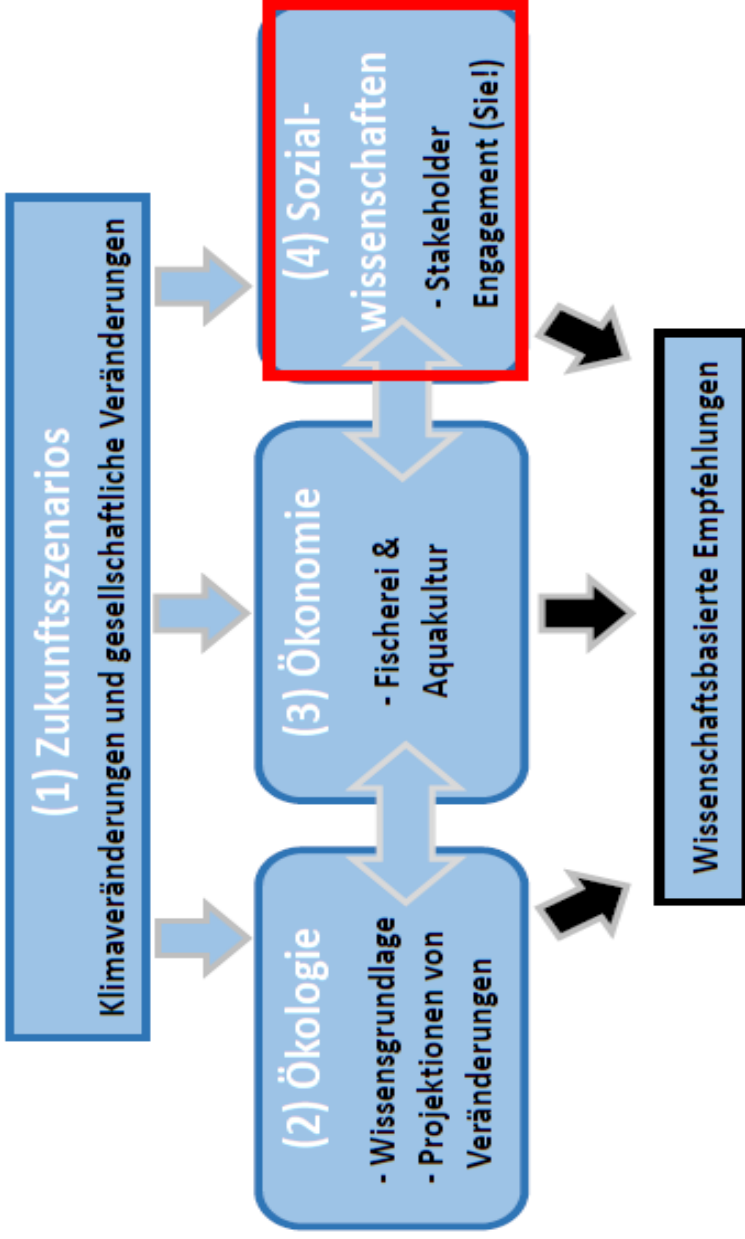
Veränderungen in geeignetem Lebensraum



aber mit einer profitablen Fischerei

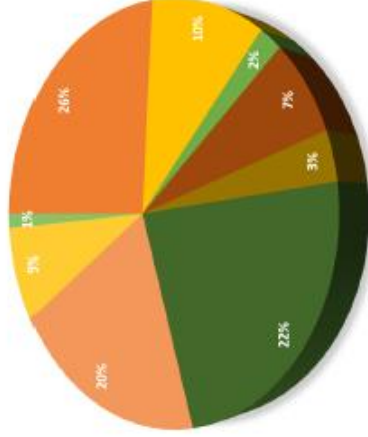


Vorhersagen zukünftiger Klimawandelauswirkungen



Workshops, Interviews, wissenschaftliche Beratung, Fragebögen, Fokusgruppen, Konferenzpräsentationen (mind-mapping)

- Aquaculture industry
- Aquaculture/fisheries industry
- Aquaculture/ NGO or Policy
- Research/science
- Others
- Fisheries industry
- Food processing/trading
- Government/policy
- Umbrella association



<http://ceresproject.eu>



Drei Gedanken für heute Morgen

- 1) Wie hat das Klima die Fischerei in der Vergangenheit beeinflusst?
- 2) Welche Forschung wird heute betrieben, um zukünftige Einflüsse auf Fische und die menschlichen Gesellschaften vorauszusagen, die von ihnen abhängig sind?
- 3) Schlussfolgerungen und Ausblick

Schlussfolgerungen und Ausblick

- Es ist schwierig die Klimaauswirkungen auf Fisch vorherzusagen weil man sie nicht klar von der Fischerei trennen kann
- Bewegungen in Richtung Pol (und in Richtung von tieferem Wasser) sind unbestreitbar
- Nordeuropäische Länder wie Deutschland könnten von diesen Veränderungen profitieren. Dies hängt jedoch vom Management ab
- Projektionen für 2050 sagen voraus, dass direkte (biologische) Einflüsse von Klimawandel schwächer ausfallen als zukünftige Policy Entscheidungen und ökonomische Trends (Preis ist der Hauptgrund). Jedoch ist der Klimateffekt stärker in 2100
- Einige Fische werden "Klimagewinner" und einige "Klimaverlierer" sein. Klimaanpassungsplanung (mittel- und langfristig (2050, 2100)) ist notwendig für Nachhaltigkeit



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



myron.peck@uni-hamburg.de

Gewinner

Ausbau der Fischerei in der Nordsee ...

<http://ceresproject.eu>

Tintenfisch



roter Seehecht



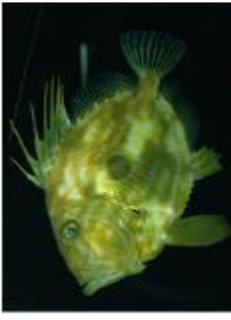
Europäische Sardelle



Rote Meerbarbe



Petersfisch



Wolfsbarsch



Folgen des Klimawandels in den Fließgewässern

Dr. Timo Basen
Dr. Alexander Brinker
FFS Langenargen

Rückblick nach 2018

Folgen des Wetters

Das Jahr 2018 wurde als das wärmste Jahr seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen in Deutschland im Jahr 1881 dokumentiert (Abb.1; DWD 2018a, b, c, d). Das Jahr war außergewöhnlich sonnig, heiß und trocken, viele regionale Temperaturrekorde wurden erreicht und überboten. Nur die Sommer 2003 und 2019 waren in Spitzentemperaturen noch heißer. Viele Meldungen aus dem letzten Jahr beschrieben Extremverhältnisse, an die man sich in Zukunft vermutlich in ähnlicher Form gewöhnen muss (Süddeutsche.de 2018a, b). So bedingte die extreme Trockenphase vielerorts langanhaltende Wald- und Feldbrände, die nur schwer gelöscht werden konnten. In der Landwirtschaft gab es große Ernteinbußen durch Noternten oder Totalausfällen infolge von Trockenstress (Statistisches Landesamt BW 2019). Durch die langanhaltenden Niedrigwasserstände kam es zu verminderter Schiffbarkeit der Wasserstraßen und Versorgungsengpässen im Süddeutschen Raum, teilweise wurden Benzin und Diesel knapp. Kraftwerks-

betreiber mussten ihre Leistung drosseln, um die Kühlwasser-
 nutzung und die zusätzliche thermische Belastung der Gewässer zu
 reduzieren. Der ausbleibende Regen und die langanhaltende Hitze-
 periode führten zu landesweiten Niedrigwasserständen und über-
 hitzten Gewässern. Neben der Rekordhitze war das Jahr 2018 ge-
 prägt durch eine extreme Trockenheit zwischen Februar und
 November. Flächendeckend fiel knapp 25 % weniger Niederschlag
 als in der Referenzperiode (1960 - 1990), somit war 2018 auch
 eines der trockensten Jahre in der Geschichte der Wetterdokumen-
 tation (Abb. 1).

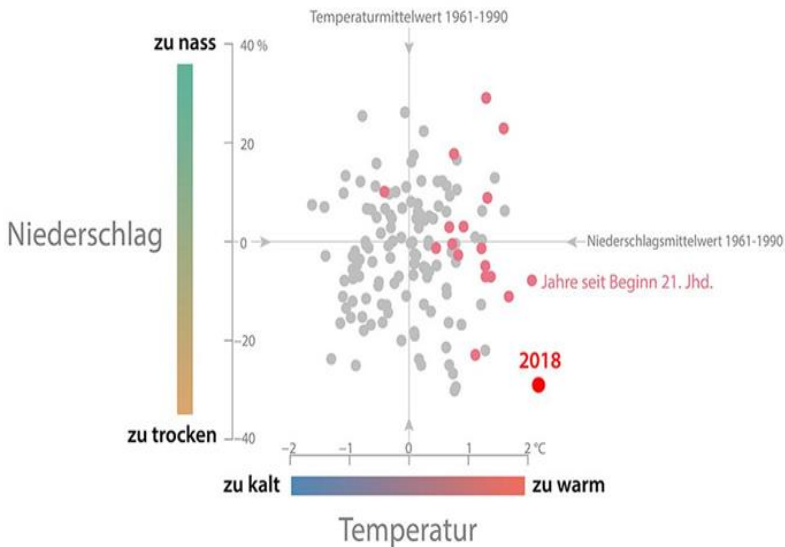


Abb. 1: Abweichung der Jahres-Lufttemperatur und der Jahres-Niederschläge in Deutschland für den Zeitraum 1881-2018. Die Jahre des 21. Jahrhundert sind rot hervorgehoben und verdeutlichen die Verschärfung des Klimawandels in Deutschland: Nahezu alle Jahre ab 2000 waren zu warm. (Quelle: Deutscher Wetterdienst DWD)

Auswirkungen in den Fließgewässern des Landes

Infolge der extrem geringen Sommerniederschläge und hohen Temperaturen kam es landesweit zu Niedrigwasserabflüssen und kritisch geringen Wasserständen. Streckenweise versiegten Fließgewässer komplett (Abb. 2). Dies führte in vielen Gewässerabschnitten zu Ausnahmesituationen für die Fischbestände in Baden-Württemberg. Konnten sich die Fische anfangs noch in verbliebenen Gumpen sammeln, verschärfte sich die Situation im Laufe des Sommers massiv. Vielerorts fielen Gewässerabschnitte komplett trocken und die Fische starben.

A



B



C



D



Abb. 1: Lang anhaltende Trockenheit und Hitze haben in vielen Gewässern des Landes zu Verringerung des Abflusses (a, b) bis hin zum Trockenfallen geführt (c). Vielerorts sind Fischbestände verendet (d), sofern sie nicht bei vorhandener Durchgängigkeit.

Folgen in den WRRL-Befischungen am Beispiel Baden-Württemberg

Die regelmäßigen, durch die Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg (FFS) vergebenen Fischbestandserhebungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) wurden im Spätsommer 2018 aufgrund der geringen Wasserstände in Baden-Württemberg vielerorts ausgesetzt und erst zu einem späteren Zeitpunkt im Jahr durchgeführt. Infolge des Hitze- und Dürrejahres 2018 wurde eine kürzere Probestreckenlänge befischt, die für eine Bewertung nach WRRL erforderlichen Individuenzahlen wurden durch die witterungsbedingte geringe Wasserführung in kürzeren Streckenlängen nachgewiesen (mittlere Streckenlänge 2018: 200m vs. 490 m in den Vorjahren). Die Anzahl an nachgewiesenen Fischarten, die Anzahl der Leitarten und der Anteil an kälteliebenden Fischarten waren teilweise deutlich verringert (Tab. 1). Auf der anderen Seite wurde für die Gesamtzahl an Fischen und die Fischdichte (gefangene Individuen pro m Probestrecke) sogar eine Zunahme festgestellt, im Wesentlichen bedingt durch wärmeliebende, karpfenartige Kleinfische, aber auch durch erhöhte Fangeffizienz bei niedriger Wasserführung. Dies wurde besonders in kleinen Gewässern des Alpenvorlands sowie den Zuläufen des Hochrheins und Neckars beobachtet. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die langanhaltende Hitze und Trockenheit in 2018 sich auf die kälteliebenden Arten der kleinen und mittleren Gewässer des Landes sowie auf den gesamten Fischbestand der großen Ströme (insbesondere im nördlichen Oberrhein und mittleren/unteren Neckar)

negativ ausgewirkt haben. Vielerorts wurden weniger Arten gefunden, und häufig sind insbesondere Leitarten deutlich dezimiert worden. Zwar fielen in den großen Flüssen und Strömen des Landes durch die Niedrigwasserphasen keine kompletten Gewässerabschnitte trocken, allerdings kam es insbesondere am nördlichen Oberrhein und mittleren/unteren Neckar zu massiven Bestands-einbußen. Wärmeliebende Arten der Karpfenartigen konnten sich jedoch in vielen Gewässern gut entwickeln, stellenweise kam es zu Massenaufkommen einzelner Kleinfischarten (bspw. Bitterling, Rot-auge, Gründling, Ukelei und Schneider). Diese Entwicklungen stellen zwar nur eine Momentaufnahme dar, werden sich in dieser oder ähnlicher Form in Zukunft jedoch höchstwahrscheinlich wiederholen und möglicherweise verfestigen.

Tab. 1: Vergleich der WRRL-Probestellen in 2018 und der Vorjahre. Dargestellt sind der Median der Fischbestände und der Trend der Veränderung (* = signifikante Abweichung, $p < 0,05$)

		Vorjahre	2018	Veränderung
befischte Strecke	m	490	200	↓*
gefangene Fische	Anzahl	561	686	↑*
	Ind./m	1,78	2,17	↑*
Fischarten	Anzahl	9	8	↓*
Leitarten	Anzahl	5	4	↓*
kälteliebende Fische	Anteil	5,7%	3,1%	(↓)

Auswirkungen des Klimawandels...

...auf die aquatische Welt

Der fortschreitende Klimawandel hat umfangreiche Auswirkungen auf die Umwelt in Mitteleuropa und Deutschland (EEA 2016, LUBW 2014, UBA 2015). Flächendeckend wird es zu einem deutlichen Anstieg der Luft- und folglich auch der Wassertemperatur in Oberflächengewässern kommen. Ausgedehnte Hitzeperioden und verringerte Sommerniederschläge werden in Zukunft zu vermehrten extremen Niedrigwasserphasen ähnlich wie 2003 und 2018 führen. Für die Wintermonate werden sich Frostphasen und Schneefall reduzieren, somit werden fallende Niederschläge direkt in die Oberflächengewässer abgeführt, anstatt bis zur einsetzenden Schneeschmelze im Frühjahr zurückgehalten zu werden. Die Wasserführung in den Winter- und Frühlingsmonaten wird in den Folgen starken Schwankungen ausgesetzt sein, welches einen deutlichen Anstieg des Hochwasserrisikos beinhaltet. Durch Starkregenereignisse kommt es zu erhöhter Bodenerosion und Eintrag von Partikeln und Feststoffen in die Oberflächengewässer. Diese stoffliche Belastung der Gewässer wird zu einer verstärkten Kolmation, Veränderung der Gewässersohle und somit zu einem Verlust von Lebensräumen und Laichplätzen führen. Bedingt durch klimatische Veränderungen können sich gebietsfremde Arten etablieren, ausbreiten und heimische Arten in ihrem Lebensraum zusätzlich einschränken. Neben Konkurrenzsituationen gefährden aber auch

klimawandelbegünstigt etablierte und neuartige Krankheiten und Parasiten die heimische Fauna.

...auf Fische

Fische als wechselwarme Organismen werden durch eine erhöhte Wassertemperatur wesentlich beeinflusst, sie bedingt schnelleres Wachstum, schnellere Eientwicklung aber auch erhöhte Stoffwechselraten. In unmittelbarer Verbindung zur Wassertemperatur steht die Löslichkeit von Gasen in Wasser, und somit auch die Sauerstoffverfügbarkeit für die aquatische Fauna. Mit steigender Temperatur nimmt die Gaslöslichkeit ab, im Gegensatz dazu steigt jedoch der Bedarf an Sauerstoff für den Stoffwechsel.

Fische sind in ihren Entwicklungsstadien optimal an die zeitlichen und räumlichen Gegebenheiten in ihren Lebensraum angepasst. Durch den erwarteten extrem schnellen Wandel der Umweltparameter in der Zukunft drohen ihnen Veränderungen, auf die sie nicht schnell genug oder gar nicht reagieren können. So steht dem aquatischen Ökosystem möglicherweise eine zeitliche Entkopplung von aufeinander abgestimmten entwicklungsphysiologischen Prozessen bevor. Zum Beispiel wird die Entwicklung von Fischeiern durch die Erhöhung der Temperatur beschleunigt, möglicherweise die eigentlich damit synchronisierte Verfügbarkeit von Makrozoobenthos als Nährtiere jedoch ausbleiben. Dies würde zu einer erhöhten Be-

lastung von Jungtieren in ihrer empfindlichsten Lebensphase führen und damit möglicherweise zu massiven Bestandseinbußen.

Klimaveränderungen werden sich auch auf die Ausbreitung und Häufigkeit von Fischkrankheiten auswirken. Es ist möglich, dass durch steigende Temperaturen im Wasser auch Krankheiten verstärkt auftreten und Fische durch eine Vielzahl von Stressoren (Sauerstoffmangel, Temperaturanstieg, UV Strahlung) insbesondere anfälliger für Infektionen werden.

Neben den Auswirkungen auf die physikochemischen Parameter des Gewässers wird der Klimawandel auch das aquatische Medium direkt in seiner Verfügbarkeit beeinflussen. Durch reduzierte Wasserführung in den zu erwarteten Trockenphasen wird sich die Durchgängigkeit und Vernetzung von Gewässern verringern, besonders in kleineren Oberläufen. Dies kann die Erreichbarkeit von Lebensräumen für wandernde Fischarten beispielsweise beim Laichgeschäft negativ oder auch nur niedrigen Wasserstand beeinflussen. Laichwanderungen sind bspw. nicht mehr möglich, wenn ausbleibende Hochwässer kleine Abstürze und Staustufen unpassierbar machen. Nicht nur die Erreichbarkeit, auch die Laichhabitate selber dürfen in Zukunft abnehmen. Für kieslaichende Salmonidenarten droht bspw. durch erhöhten Stoffeintrag und Erosion eine Verschlammung und Kolmatierung der Laichplätze.

Bei ausreichender Passierbarkeit und Vernetzung des Gewässers werden Fischen kühlere Habitate in Oberläufen, tiefere Gewässerabschnitte oder von Grundwassereinflüssen geprägten Stellen aufsuchen, um kurzfristige thermische Belastungen zu vermeiden. Langfristig wird erwartet, dass sich die Fischregionen des aquatischen Lebensraumes im Zuge der globalen Erwärmung stromaufwärts verschieben werden. Zwischen den Fischregionen beträgt die Differenz der Wassertemperatur knapp $1,6^{\circ}\text{C}$ (Melcher et al. 2013), also ein Temperaturschritt, der bereits bei vorsichtigen Klimaprognosen bis zum Jahre 2100 für Mitteleuropa zu erwarten ist. Die ursprünglichen Habitate werden durch die vielfältigen Veränderungen in der Zukunft oftmals nicht mehr optimal geeignet sein und somit werden insbesondere kaltstenotherme Fischarten mit einer Degradierung ihrer Lebensräume konfrontiert sein. Auf der anderen Seite werden wärmetolerante Generalisten mit einer breiten thermischen Nische eine Ausweitung geeigneter Lebensräume vorfinden. Kurzfristig werden im aquatischen Lebensraum neue Artzusammensetzungen und Konkurrenzsituationen entstehen, die zu erhöhter Diversität führen. Mittel- und langfristig werden jedoch früher heimische Arten in Bereichen suboptimaler Bedingungen verdrängt und sich auf Gewässerabschnitte im Oberlauf konzentrieren und dann verloren gehen.

Lebensräume und Schutzgebiete

Modellierung geeigneter Lebensräume

Mit dem Wissen der kommenden Veränderungen von Lebensräumen wird es von eminenter Bedeutung sein, aktuelle Verbreitungen einzelner Fischarten zu untersuchen und Vorhersagen über zukünftige Vorkommen sowie mögliche Veränderung der Artenzusammensetzung zu tätigen. Im Fischartenkataster Baden-Württemberg (Fiaka) der Fischereiforschungsstelle werden seit Anfang der 1980er Jahre in einer zentralen Datenbank Erhebungen zu Fischbeständen in den Gewässern des Landes erfasst. Als Bezugsquellen dienen Monitoringprogramme, Bestandsbergungen, Probebefischungen, Kartierungen aber auch gemeldete Einzelfunde. Mittlerweile liegt ein Datenumfang von über 22.000 Probestelleneinträgen vor. Diese Informationen können für eine Ausbreitungsmodellierung genutzt werden (Softwarepakete Maxent und R). Als Grundlage dienen auf der einen Seite gesicherte Artnachweise, auf der anderen Seite klimatische Parameter wie Niederschlags- oder Temperaturverläufe mit einer entsprechend hohen geografischen Auflösung (Abb. 3).

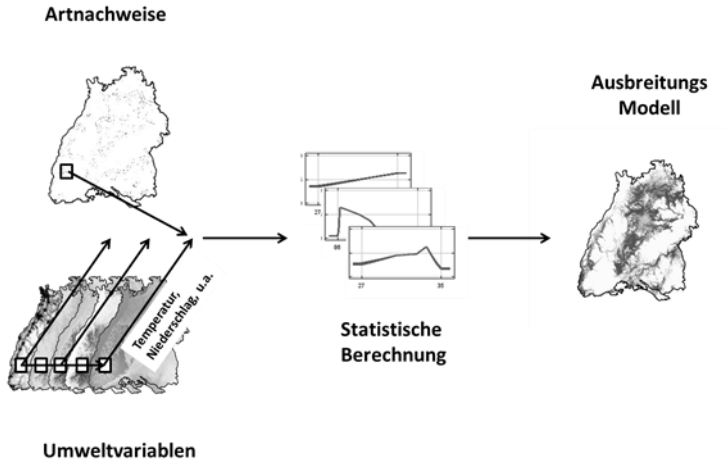


Abb. 3: Schematische Darstellung der Artverbreitungsmodellierung. Artnachweise und verschiedene Umweltparameter werden für die Modellierung genutzt, um eine Lebensraumeignung für eine Fischart zu ermitteln. Grau eingefärbte Flächen entsprechen einer hohen Vorkommenswahrscheinlichkeit im Ausbreitungsmodell.

Möglicher Verlierer des Klimawandels

Die Groppe (Koppe, *Cottus gobio*) wird durch die zu erwartenden Veränderungen des Klimawandels massiv in ihrer Ausbreitung in Baden-Württemberg beeinflusst werden (Abb. 4). Ist sie heutzutage noch fast flächendeckend in den meisten Gewässern zu finden, so nimmt ihr geeigneter Lebensraum bis 2050 nahezu im ganzen Land ab. Nur noch wenige Höhenlagen im Südlichen Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb sind in Zukunft für die Groppe klimatisch ideal (Abb.4, grüne Flächen).

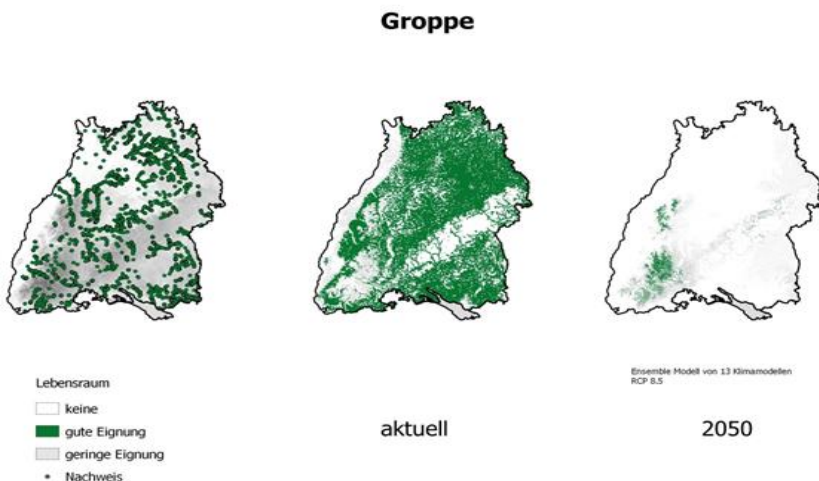


Abb. 4: Mögliche Veränderung der Lebensräume für die Groppe (*Cottus gobio*) in Baden-Württemberg durch den Klimawandel. Grüne Punkte stellen Nachweise im Land dar, grüne Flächen spiegeln geeignete Lebensräume der Art aktuell und für die Zukunft wider.

Möglicher Gewinner des Klimawandels

Für den wärmetoleranten Brachsen (*Brasse, Abramis brama*) ergibt sich ein anderes Bild (Abb. 5). Die Ausbreitung der Art in Baden-Württemberg ist aktuell auf weite Teile des Oberrheingrabens, des Oberen Neckar und Oberschwaben beschränkt (Abb.5, grüne Punkte). Es wird erwartet, dass die Art durch zukünftige Veränderung der Temperaturen und Niederschläge begünstigt werden wird. Für die zukünftige Entwicklung möglicher Brachsenlebensräume erfolgt eine deutliche Ausdehnung auf weite Teile des Neckar-einzugsgebietes im Nördlichen Landesteil aber auch darüber hinaus.

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass nur die Temperatur einbezogen worden ist und gekoppelte Parameter aber auch für den Brachsen nachteilig werden können oder Ausbreitungsareale andere natürliche Gremien aufweisen und somit die Situation sich hier womöglich geschönt darstellt.

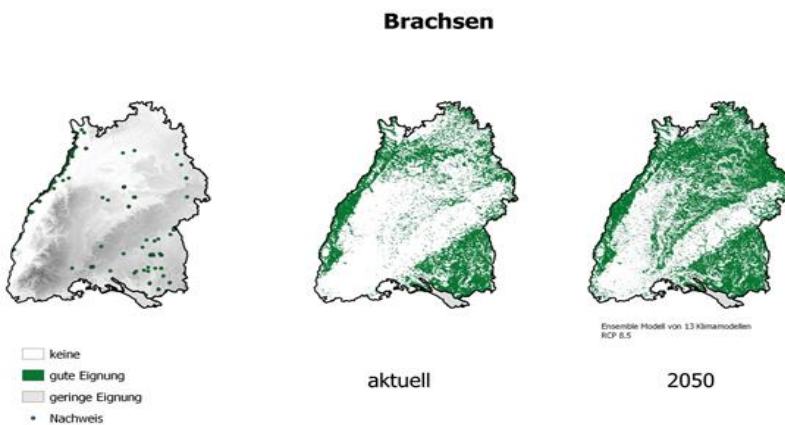


Abb. 2: Mögliche Veränderung der Lebensräume für den Brachsen (*Abramis brama*) in Baden-Württemberg durch den Klimawandel. Grüne Punkte stellen Nachweise im Land dar, grüne Flächen spiegeln geeignete Lebensräume der Art aktuell und für die Zukunft wider.

FFH-Gebiete

Die Fauna Flora Habitat -Richtlinie (FFH) wurde „zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen“ beschlossen (FFH 1992). Sie bildet zusammen mit der Vogelschutzrichtlinie die Rechtsgrundlage für den Naturschutz in der

Europäischen Union. Das vorrangige Ziel der FFH-Richtlinie ist die Erhaltung, Wiederherstellung und Sicherung der in Europa vorhandenen biologischen Vielfalt. Durch die FFH-Richtlinie sollen die europaweit gefährdeten, natürlichen und naturnahen Lebensräume sowie die Vorkommen gefährdeter Tier- und Pflanzenarten geschützt werden. Bereits jetzt sind ungünstige Erhaltungszustände und Artenrückgänge in den FFH-Schutzgebietskatalogen bekannt. Ursachen dafür sind z. B. Flächenverluste naturnaher Ökosysteme, Übernutzung, Verlust von ungestörten Großlebensräumen, Eutrophierung und nicht zuletzt Gewässerübernutzung und -ausbau (BfN 2011). Der Klimawandel ist ein neuer zusätzlicher Gefährdungsfaktor, der die bestehenden Problematiken verstärken kann. Zusätzlich werden sich großräumige klimatische Bedingungen und im Besonderen Lebensräume massiv verändern. Folglich wird die derzeitige Strategie des (Fisch-)Artenschutzes in ausgewiesenen Schutzgebieten in Zukunft mit der Problematik konfrontiert sein, dass aktuell ausgewiesene Schutzzonen nicht mehr die heute idealen Habitate für schützenswerte Arten darstellen. Verschieben sich die Populationen infolge der Klimaveränderung, ist außerhalb der Schutzgebiete (rechtlich) kein Schutz mehr gewährleistet und eine Neubewertung und Ausrichtung von Schutzgebieten wird notwendig.

Rechtliche Umsetzung Wassertemperatur

Die gesetzliche Verordnung

Die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) hat den Schutz der Oberflächengewässer zum Ziel. Zu diesem Zweck wurden in Anlage 7 Anforderungen für den guten bzw. sehr guten ökologischen Zustand und das gute/sehr gute ökologische Potential der Fließgewässer festgelegt, die nicht zu überschreiten sind. (Tab. 2). Diese Bewertung von Temperaturschwellenwerten ist vielerorts die Basis für wasserrechtliche Verhandlungen um die Nutzung von Oberflächengewässern. Das zugrundeliegende Prinzip des Verschlechterungsverbots der Zustandsklasse ist aber für die Bewertung thermischer Defizite für Gewässer absolut unzureichend. Die Bewertung der Zustandsklasse nach WRRL auf Basis der Fische erfolgt durch das Fischbasiertes Bewertungssystem „fiBS“, einer Methodik, die anhand verschiedener Parameter des nachgewiesenen Fischbestands mit den Werten der zugehörigen Referenz-Fischzönose vergleicht. Diese Bewertung kann aufgrund ihrer Komplexität und strukturellen Beschaffenheit keine einzelnen (bspw. temperatursensitiven) Fischarten herausarbeiten, die durch ein Überschreiten eines Schwellenwertes gefährdet sind, sie integriert eher über einen ganzheitlichen Fischbestand.

Tab. 2: Anforderungen an den „sehr guten“ und „guten“ ökologischen Zustand und das „sehr gute“ und „gute“ ökologische Potential nach Oberflächengewässerverordnung (Anlage 7, 1.1.1 und 2.1.1)

Fischzonierung	obere	untere	Barbenregion			Brachsenregion
	Forellenregion	Forellenregion	Äschenregion			
Gewässertypen	Salmoniden-Epirhithral	Salmoniden-Metarhithral	Salmoniden-Hyporhithral	Cypriniden Rhithral	Epi potamal	Meta potamal
Winter <i>Dez-Mär</i>	[° C]	[° C]	[° C]	[° C]	[° C]	[° C]
„sehr gut“	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
„gut“	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Sommer <i>Apr-Nov</i>						
„sehr gut“	≤ 18	≤ 18	≤ 18	≤ 20	≤ 20	≤ 25
„gut“	≤ 20	≤ 20	≤ 21,5	≤ 23	≤ 25	≤ 28

Regionalisierung der Temperaturansprüche von Fischen

Für Baden-Württemberg wurde ein Temperatur-Datenbank-Modul entwickelt, mit dem es möglich ist, Hinweise auf temperaturbedingte Defizite eines Gewässers zu finden und gezielt einzelne temperatursensitive Arten hervorzuheben (Abb. 6). Dafür wurde zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche bezüglich Temperaturempfindlichkeiten der heimischen Fischarten durchgeführt und die Einträge in die Datenbank eingespielt. Aus dieser Sammlung von über 2000 Literatureinträgen wurde für vier Entwicklungsstadien der heimischen Fischarten eine Einordnung der Temperaturempfindlichkeiten erstellt.

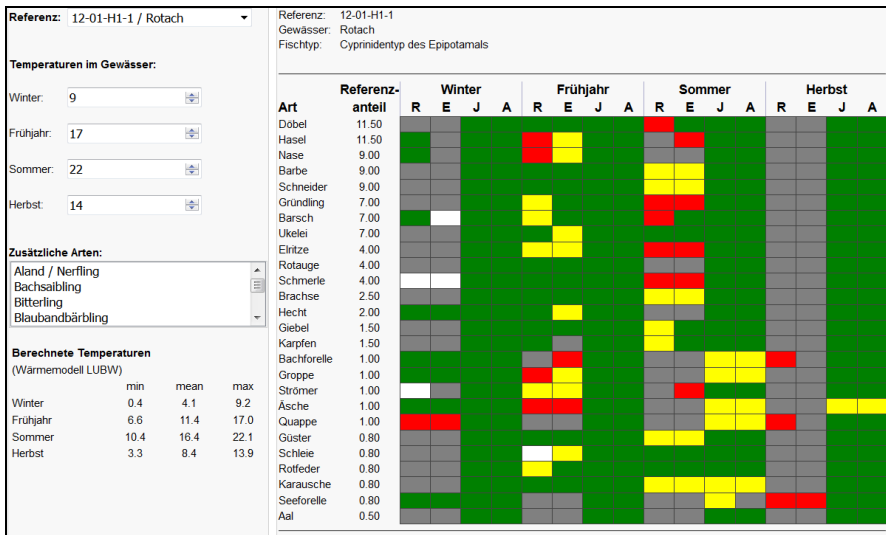


Abb. 3: Beispiel eines Gewässerabschnittes in der Temperaturempfindlichkeits-Datenbank. Dargestellt werden die Fischarten der Referenzzönose und die für ihre Lebensstadien (R = Reproduktion, E = Eier, J = Juvenil, A = Adult) spezifischen Temperaturempfindlichkeiten für die verschiedenen Jahreszeiten. Sollte die Wassertemperatur außerhalb des natürlichen Bereiches (grün) der Art liegen, verfärbt sich die Anzeige auf gelb (kurzfristig zu ertragen, nicht im Idealbereich) hin zu rot (Überschreiten der Temperatur kann zu Schädigungen des Bestandes führen).

Für die Fließgewässer des Landes Baden-Württemberg existiert eine Aufteilung nach Abschnitten mit entsprechender Fischreferenzzönose (FFS 2019). Diese Referenz beschreibt eine Auflistung von natürlicherweise dort vorkommenden Arten aufgrund von historischen Nachweisen, geografischen Grenzen, ökologischen Ansprüchen und natürlichen Verbreitungsmustern. Somit existiert für jeden Gewässerabschnitt von Fließgewässern (WRRL relevant, mit einem Einzugsgebiet >10km²) eine ideale Fischgemeinschaft. Diese wurde mit den zuvor ermittelten regionalisierten Temperatur-

bedürfnissen der heimischen Fischarten kombiniert (Abb. 6). Somit ist man nun in der Lage, vorhandene Bedingungen und thermische Belastungen eines Gewässerabschnittes zu simulieren, und so thermische Defizite einzelner sensibler Arten bzw. deren sensibler Stadien herauszuarbeiten. Dies kann sowohl in Fragen der Gewässerbewirtschaftung und Wasserrechtsfragen, als auch bei zukünftigen Entwicklungen der Klimaveränderungen genutzt werden.

Fließgewässerschutz

Aktuelle Notfallmaßnahmen

Für Gewässerabschnitte, in denen ein Fortbestand der Fischbestände nicht mehr gewährleistet ist, werden aktuell schon Bestandsbergungen und Umsetzmaßnahmen oftmals durch Ehrenamtliche und lokale Vereine durchgeführt. Die Fische werden in der Regel in Abschnitte des gleichen Gewässers gesetzt, die weniger stark (durch Hitze und Trockenheit) belastet sind, in der Hoffnung, dass bei Entspannung der Verhältnisse diese wieder in ihre ursprünglichen Lebensräume zurückwandern.

Während Hitzephasen drohen Fische oftmals durch erhöhte Temperaturen und niedrige Sauerstoffkonzentrationen Schaden zu nehmen. Oftmals werden akute Maßnahmen (durch Feuerwehr und THW) mit speziellem Gerät eingeleitet, die für eine Belüftung des Gewässers sorgen sollen. Damit diese aber wirksam sind und nicht sogar Nachteiliges bewirken, benötigt es wirksame Eintragsgeräte

und eine spezielle Ausbildung von Einsatzkräften, um auf die unterschiedlichen Gegebenheiten vor Ort reagieren zu können.

In extremen Hitzeperioden, wenn die Pegel und Abflüsse der Fließgewässer niedrig sind, sollten zu den bestehenden Regelungen für die Wassernutzung und -entnahme spezielle ökologisch abgeleitete Regeln entwickelt werden, die die akute Gefährdungslage von Fischen (und anderen Wasserorganismen) berücksichtigt.

Maßnahmen und Schutzkonzepte

Um den Auswirkungen von Extremwetterlagen und langfristigen Effekten des Klimawandels entgegenzuwirken, müssen langfristige Maßnahmen entwickelt werden, die die Funktionalität von Gewässern aufrecht erhalten, und Flora und Fauna der Lebensräume nachhaltig schützen.

Für kleine Fließgewässer stellt die direkte Sonneneinstrahlung einen großen Wärmeeintrag dar. Um diesen und die daraus resultierende Erwärmung des Gewässers zu vermindern, ist es hilfreich, kleine Gewässer im Längsverlauf mit Ufergehölz zu bepflanzen. Durch die Kronendecke erfolgt eine Beschattung der Gewässer und die direkte Einstrahlung von Wärme kann deutlich reduziert werden.

Für die Funktionalität des Gewässers ist es zusätzlich wichtig, neben dem direkten Uferbereich auch einen Gewässerrandstreifen

anzulegen bzw. dafür zu sorgen, dass die vorgeschriebene Breite auch von den Landnutzern eingehalten wird. Funktionierende Gewässerrandstreifen mit ausreichender Bepflanzung helfen bei Starkregenereignissen, den Eintrag von gelösten Stoffen und stofflichen Belastungen ins Gewässer zu vermindern.

Im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen von Gewässern sollte zusätzlich zur gängigen Praxis darauf Wert gelegt werden, dass die neu angelegten Lebensräume auch bei Extremwetterlagen mit niedrigem Abfluss und hohen Temperaturen funktionell bleiben und Fische Ausweichmöglichkeiten (z. B. in tiefere Gumpen) haben.

Für den Fall von Starkregenereignissen müssen Gewässer durch Regenrückhaltebecken vor dem Eintrag von ausgeschwemmten Stoffen (Erosion, Düngereintrag) geschützt werden. Diese müssen den Prognosen angepasst werden und für zukünftige Extremwittersituationen ausgelegt sein.

Ein weiterer Eintrag von Wärme in Fließgewässer stellen anthropogene Staubereiche dar, die durch eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit die Verweildauer des Wasserkörpers erhöhen. Infolgedessen wird sich das Wasser stärker erwärmen und im Staubereich und stromab zu einer thermischen Belastung für Fische führen. Somit ist es sinnvoll, nicht natürliche Staubereiche, wenn möglich, aufzulösen und den Abfluss der Gewässer wieder zu

normalisieren. Dies führt zum einen zu einer Reduktion der Wassertemperatur (besonders während Hitzeperioden), zum anderen werden die Gewässer für Wasserlebewesen wieder durchgängig.

Für große Gewässer im Land stellen Hitzeperioden eine ernst zu nehmende Bedrohung dar, über die größtenteils noch Wissensdefizite bestehen. So sind zwar langfristige Temperaturentwicklungen punktuell erfasst (z. B. Landespegel), wie sich die Wassertemperatur aber vor Ort im Gewässerquerschnitt oder -verlauf entwickelt, ist jedoch bisher weitgehend unbekannt. Welche Bedeutung für kleine Lebensräume im Quer- und Längsprofil eines Flusses haben (i. d. R. kältere) Zuflüsse aus Nebengewässern oder Grundwassereintritte? Was bedeuten diese möglichen thermischen Habitate für die Fische und ihre Meidbewegungen? Schwimmen Fische in diese kalten Refugien oder suchen sie sogar Nebengewässer auf, um thermischen Belastungen auszuweichen?

Für die Funktionalität der Gewässer ist es somit wichtig, dass auch bei Pegeltiefständen die Nebengewässer für Fische erreichbar sind. Bei Nichterreichen sollten Renaturierungsmaßnahmen die Vernetzung der Gewässer wiederherstellen. An geeigneten Gewässerabschnitten, in denen Kaltwassereintritte erfolgen (Grundwasserzuflüsse, kältere Einmündungen) kann durch den Aushub von tiefen Abschnitten ein kurzfristiges „Kaltwasserrefugium“ geschaffen

werden (Herrmann und Gründler, 2003). Ob dies von Fischen angenommen wird, wie stark die baulichen Belastungen für das Gewässer sind und ob hier nachhaltig ein Rückzugshabitat geschaffen werden kann, bedarf einer genauen Beurteilung vor Ort.

Gerade durch die Veränderung von Umweltbedingungen werden sich die Lebensraumbedingungen und somit geeignete Lebensräume für die Fischarten ändern und verschieben (Basen 2016; Basen und Ros 2018). Somit ist es mittelfristig notwendig, aktuelle Schutzgebiete und -konzepte, nicht nur für Fische, an die Veränderungen durch den Klimawandel anzupassen und notfalls Schutzgebiete neu auszuweisen. Um dem erwarteten negativen Einfluss von Gewässererwärmung im Zuge der zukünftigen Klimaveränderungen entgegenzuwirken, ist es notwendig, die Gewässer ökologisch wieder aufzuwerten. Mit Gewässersanierung und –renaturierung ermöglicht man es Fischen, zumindest in gewissem Maß, den klimatischen Belastungen in Zukunft entgegenzutreten. Sofern den Fischen aber keine thermischen Rückzugsmöglichkeiten gegeben werden, scheinen Bestandseinbußen unausweichlich.

Für die Gewässerhege und den Fischbesatz wird zukünftig die Proliferative Nierenerkrankung (PKD), eine in Europa und Nordamerika weitverbreitete Parasitose, immer mehr von Bedeutung für Salmonidenbestände werden. Die Krankheit befällt in Europa vor allem junge Bachforellen und Äschen (Ros et al. 2018, Strepparava

et al. 2016). In typischen sommerkalten Salmoniden-Gewässern überleben die Jungfische die Krankheit i. d. R. gut. Nur bei sehr warmem Spätsommerwetter, mit Wassertemperaturen jenseits der 15 °C, kann es zu Verlusten bei Jungfischen kommen. Zukünftig werden sich durch den fortschreitenden Klimawandel die Gewässer erwärmen und die kritische Schwelle länger und häufiger überschritten, somit werden auch größere Ausfälle in Salmonidenbeständen unausweichlich. Sofern man weiterhin plant, Gewässerhege mit Fischbesatz zu bedienen, sollte für juvenile Bachforellen ein später Besatz im Jahr geplant werden (BfV-Merkblatt 2001, Schneider und Schmidt-Posthaus 2017). Somit kommt es zwar noch zu einer Infektion in den Besatzfischen, aber durch die absinkenden Wassertemperaturen im Herbst führt dies nicht zu einer direkten Erkrankung. Im Winter bauen die Fische dann eine gewisse Resistenz auf und sind damit gegen weitere Ausbrüche der Parasitose geschützt.

Literatur

- BfV, Bundesamt für Veterinärwesen**, 2001, Merkblatt über die Proliferative Nierenkrankheit (PKD)
- Basen, T.** 2016. Auswirkungen des Klimawandels auf die Fische. - Auf Auf - Aquakultur Fisch. LAZBW 2: 26–31.
- Basen, T. und Ros, A.** 2018. Wie warm darf's denn sein? Temperaturbedürfnisse der Bachforelle in Baden-Württemberg. - Auf Auf - Aquakultur Fisch. LAZBW 1: 46–50.
- BfN** 2011. Bundesamt für Naturschutz: Klimawandel und Natura 2000.
- DWD** 2018a. Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst – Deutschlandwetter im Frühjahr 2018.
- DWD** 2018b. Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst – Deutschlandwetter im Sommer 2018.
- DWD** 2018c. Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst – Deutschlandwetter im Jahr 2018.
- DWD** 2018d. Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst – Deutschlandwetter im Herbst 2018.
- EEA** 2016. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016.
- FFH** 1992. Richtlinie 92/43/EWG des Rates zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.
- FFS** 2019. Referenz-Fischzönosen für Baden-Württemberg <http://www.lazbw.de/pb/,Lde/Startseite/Themen/Referenz-Fischzoenosen>
- LUBW** 2013. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg - Perspektiven aus regionalen Klimamodellen.

- Melcher, D. D. A., Pletterbauer, D. F., Kremser, D. H. und Schmutz, Stefan** 2013. Temperaturansprüche und Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischfauna in Flüssen und unterhalb von Seen. - Österr. Wasser- Abfallwirtsch. 65: 408–417.
- Ros, A., Basen, T., Schneider, E. und Schmidt-Posthaus, H.** 2018. Die Verbreitung einer temperatur-abhängigen Nierenerkrankung (PKD) in Baden-Württemberg. - Auf Auf - Aquakultur Fisch. LAZBW 1: 45–45.
- Schneider, E. und Schmidt-Posthaus, H.** (2017) Die proliferative Nierenerkrankung in der Wutach: Fischerei in Baden-Württemberg, Ausgabe 1, S. 18.
- Strepparava, N., Schmidt-Posthaus, H. und und Wahli, T.** (2016). "Infektionskrankheiten: Eine Gefahr für unsere Bachforellen?" Aqua Viva 2: 22 - 39.
- Statistisches Landesamt BW** 2019. Ernte 2018 in Baden-Württemberg – endgültige Ergebnisse.
- Süddeutsche.de** 2018a. Trockenheit in Deutschland - Auf Grund. - Süddeutsche.de
- Süddeutsche.de** 2018b. Der längste Sommer. - Süddeutsche.de
- UBA** 2015. Umweltbundesamt: Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. - Umweltbundesamt.
- WRRL** 2000. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

Folgen von Klimaveränderungen für Fischbestände in Standgewässern: Mechanismen, Beispiele und Handlungsoptionen

Dr. Uwe Brämick, Institut für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow

Dr. Thomas Klefoth, Anglerverband Niedersachsen

1. Einleitung

Aquatische Ökosysteme sind in unserer stark menschlich überprägten Landschaft einer Vielzahl von Stressoren ausgesetzt. Im Hinblick auf Fische und ihre Lebensräume in Standgewässern – hier nicht nur als Begriff für Seen, sondern auch für zeitweise oder dauerhaft stagnierende Wasserkörper z. B. in Kanälen verwendet – sind beispielsweise neben Nährstoffeinträgen und Verschmutzungen vor allem Verbauungen der Uferzone, Wasserentnahmen, touristische Nutzungen und Abtrennungen von Feuchtgebieten und anderen Wasserspeichern im Einzugsgebiet bedeutsam. Diese multifaktoriellen Stressoren resultieren in einer mehr oder minder starken Abweichung des ökologischen Zustandes der Gewässer vom Referenzzustand. So waren im Jahr 2015 nach Angaben des Umweltbundesamtes nur etwa ein Viertel der nach Wasser-Rahmenrichtlinie berichtspflichtigen stagnierenden Wasserkörper in Deutschland in einem guten bzw. sehr guten ökologischen Zustand (Umweltbundesamt 2015). In der Folge dieser dauerhaften und vielfältigen Stressoren sind Stabilität und Widerstandsfähigkeit

(Resilienz) der Systeme und der von ihnen besiedelten Fischbestände in Standgewässern stark belastet. Klimatische Veränderungen in kurzen Zeiträumen verstärken in diesem Zusammenhang den Stress zusätzlich. Ihre Effekte sind durch das bereits bestehende Konglomerat der genannten Einflussfaktoren im Einzelfall schwer separat quantifizierbar und oft durch diese bzw. deren paralleles oder additives Wirken maskiert.

2. Wirkfaktoren

Die aktuell stattfindenden und für die nächsten Jahrzehnte prognostizierten klimatischen Veränderungen umfassen viele Parameter und erhebliche regionale Unterschiede. In dem hier vorliegenden Beitrag liegt der Fokus auf prinzipielle Folgen veränderter Temperatur- und Niederschlagsgänge für Standgewässer und die von ihnen besiedelten Fischbestände in Deutschland. Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes zeigen, dass die Jahre seit 2001 wärmer und in Bezug auf den Niederschlag sehr variabel waren (DWD, 2019). Insgesamt kam es unter zunehmender Ausbildung von Wetterextremen (Trockenperioden und Starkniederschläge) zu einem deutlichen Anstieg der Jahresmitteltemperatur (2018 um 2 K!) und einem leichten Anstieg der Niederschlagsmengen im Jahresverlauf im Vergleich zum langjährigen Referenzzeitraum von 1961 - 1990. Aber auch die Verdunstung stieg aufgrund erhöhter Sonneneinstrahlung und wärmeren Temperaturen an, was zu einer negativen Bilanz für den Oberflächenabfluss führte. Prognosen bis zum

Ende des 21. Jahrhunderts gehen von einer Fortsetzung dieses Trends aus. Das Zukunftsszenario für deutsche Standgewässer beinhaltet somit höhere Wassertemperaturen und stärker schwankende Wassermengen.

3. Veränderungen im Lebensraum

Höhere Temperaturen und eine veränderte Niederschlagsdynamik beeinflussen Fischbestände direkt und vor allem auch indirekt. Veränderungen physiko-chemischer und limnologischer Parameter bzw. Prozesse in Standgewässern nehmen wesentlichen Einfluss auf die Lebensbedingungen aquatischer Organismen. Bereits vor mehr als 20 Jahren schlussfolgerten De Stasio et al. (1996) aus Ergebnissen von Modellierungen für kleine Seen in temperierten Zonen Europas, dass im Zuge klimatischer Veränderungen mit höheren epilimnischen Wassertemperaturen im Sommer zu rechnen ist – ähnlich, wie auch in lotischen Systemen. Allerdings fehlen in stagnierenden Wasserkörpern durch Turbulenzen verursachte Durchmischungen der Wassersäule mit Ausnahme der oberflächennahen Bereiche. Speziell bei tieferen lentischen Gewässern resultiert daraus eine stabilere vertikale Temperaturschichtung, die früher in der Saison einsetzt und länger anhält. Für den Bodensee zeigen Messreihen, dass infolge der höheren Schichtungsstabilität und der höheren Temperaturdifferenz zwischen Epilimnion und Hypolimnion vertikale winterliche Durchmischungen bereits heute seltener stattfinden und dazu öfter schwach bzw. unvollständig

bleiben. Dieser Trend wird sich voraussichtlich weiter fortsetzen (IGKB 2015, 2018; Abb. 1). Generell ist im Zuge der klimatischen Veränderungen eine Änderung der Mixis zu erwarten. Heute dauerhaft durchmischte Flachseen mit Maximaltiefen im Grenzbereich werden zukünftig sommerliche Stagnationsphasen ausbilden, winterliche Vollzirkulationen werden speziell in großen und tiefen Seen seltener (Adrian et al. 2016) und führen zu oligomiktischen Verhältnissen in heute dimiktischen Seen.

Aus Veränderungen im Schichtungsverhalten resultieren veränderte Stoffumsätze und Lebensbedingungen in den Gewässern. Während winterliche Eisbedeckungen und daraus folgende „Verschlüsse“ der Wasserkörper inklusive Sauerstoffmangelsituationen seltener werden, führen längere sommerliche Vertikalschichtungen zu häufigeren und längeren Anoxia im Tiefenwasser. Heterotrophen Organismen geht Lebensraum verloren und gewässerinterne Rücklösungen von Nährstoffen aus dem Sediment werden befördert. In Verbindung mit verstärkten Einträgen organischen Materials aus der Umgebung durch Starkregen und höheren Wassertemperaturen kann daraus ein Anstieg der Primärproduktion (Eutrophierung) resultieren. Diese Eutrophierung kann dann vor allem spätsommerliche Sauerstoffmangelsituationen im Sinne eines sich selbst verstärkenden Kreislaufs provozieren. Ein häufigeres Auftreten von Blaualgenblüten, die weniger gut von Zooplankton gefressen werden und Toxine sowie geschmacksbeeinträchtigende Aromate

produzieren können, ist nur eine von vielen weiteren potenziellen Folgen mit indirekten Auswirkungen auf Fischbestände und Fischerei.

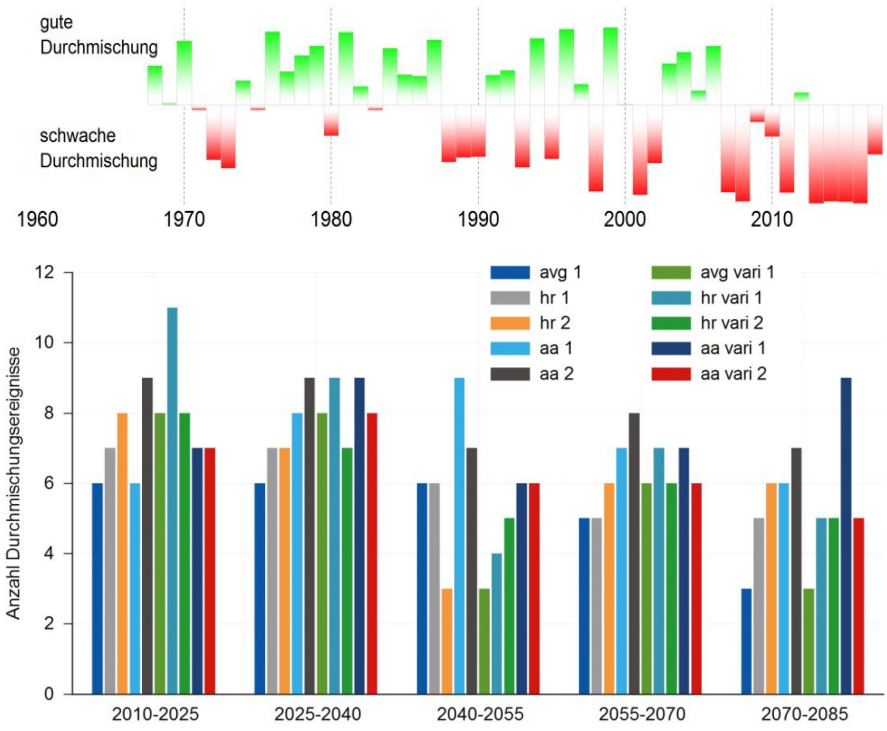


Abb. 1: Oben: Stärke winterlicher vertikaler Durchmischungen des Bodensees im Zeitraum 1970-2017; Unten: Anzahl modellierter Vollzirkulationen im Bodensee bei verschiedenen Klimaszenarien (Farbcode) in 15-Jahres-Zeiträumen (IGKB 2015, 2018)

Neben Veränderungen limnologischer Prozesse in stagnierenden Wasserkörpern bewirken häufigere sommerliche Trocken- und Hitzephase eine stärkere Verdunstung. Dies wiederum erhöht die Wahrscheinlichkeit von dauerhaften oder zumindest temporären

Niedrigwasserständen in Binnenseen - was im Kontrast zum erwarteten Wasserspiegelanstieg der Meere steht. So belegen Messungen für das Gebiet der Großen Seen in Nordamerika einen bereits heute eingetretenen Rückgang des Wasserspiegels um 1 m, der sich wahrscheinlich bis Ende des Jahrtausends auf bis zu 2,5 m fortsetzen wird (Gaeta et al. 2019, Schindler 2009). Damit einher geht ein Verlust strukturierter Litoralzonen, speziell im Sommer, und damit von wichtigen Reproduktions- und Jungfischhabitaten. Verschiedene Studien zeigen, dass speziell das Litoral entscheidend für die fischereiliche Produktivität von Seen ist (Vadeboncoeur et al. 2002; VanDer Zanden et al., 2006; (Karsson & Byström, 2005; Schindler & Scheuerell, 2002; Malkin et al., 2010). Bei ausgedehnten Trocken- und Starkregenperioden ist auch ein alternatives Szenario mit erhöhten Schwankungen des Wasserspiegels denkbar, was die Produktivität der Gewässer im Einzelfall über den aus der Teichwirtschaft bekannten „Erstbespannungseffekt“ sogar steigern könnte. Die eintretenden Effekte werden selbst innerhalb einer kleinen Region sehr seespezifisch sein und in Abhängigkeit von Gewässergröße, Gewässermorphologie, Windexposition, Grundwasserzustrom und vielen weiteren Faktoren stehen.

4. Reaktionen im Fischbestand und Folgen für dessen Bewirtschaftung

Verbreitung von Arten: Für Fischartengemeinschaften im Meer sowie in Fließgewässern wird speziell mit Blick auf den erwarteten

Temperaturanstieg eine nordwärts (Meer) bzw. stromauf (Fließgewässer) gerichtete Verschiebung von artspezifischen Verbreitungsgebieten erwartet (siehe z. B. Artikel von M. Peck und T. Baasen in diesem Heft). Da das Ausmaß der Verschiebung maßgeblich von der Temperaturtoleranz der jeweiligen Art aber auch von weiteren Parametern wie z. B. in Fließgewässern von deren Bindung an die Strömungsgeschwindigkeit abhängt, wird es voraussichtlich zu Veränderungen in der Zusammensetzung lokaler Fischzönosen kommen. Bei Fischarten in Standgewässern sind derartige Wechsel der Verbreitungsgrenzen aufgrund der oftmals isolierten Gewässerlage und daraus resultierenden starken Einschränkungen bezüglich weiträumiger Zu- und Abwanderungsmöglichkeiten problematischer. Ihnen bleiben in den meisten Fällen nur Wechsel zwischen den Lebensräumen innerhalb eines Gewässers. Für eurytherme Arten mit breiter Temperaturtoleranz, wie beispielsweise viele Cypriniden, wird mit dem Anstieg der mittleren und maximalen Wassertemperaturen sogar eine Ausweitung geeigneter Habitats in Standgewässern verbunden sein. Bestände kaltstenothermer Arten (z. B. Coregonen) könnten hingegen lokal und regional erlöschen (Graham & Harrod 2009). Dies hätte unmittelbare Folgen für die Artenvielfalt, da gerade kaltstenotherme Gattungen und Familien wie die erwähnten Coregonen einen hohen Anteil endemischer Arten (z. B. *Coregonus fontane*, *C. lucinensis*) aufweisen. Eine Metastudie von Comte et al. (2013) zeigt, dass die meisten veröffentlichten Einzelstudien eine Zunahme von warm-

sowie eurythermen Arten und eine Abnahme bis hin zum Verschwinden von kaltstenothermen Arten belegen bzw. prognostizieren. Die Befürchtung, dass diese Entwicklung auch in deutschen Binnengewässern auftreten könnte, ist daher durchaus berechtigt.

Mortalität: Infolge milderer Winter und einer abnehmenden Wahrscheinlichkeit längerer Eisbedeckung werden die aus nährstoffreichen Flachseen des norddeutschen Tieflandes bekannten Fischsterben unter Eis seltener werden. Dagegen führen Sauerstoffdefizite in länger anhaltenden sommerlichen Stagnationsphasen und höhere Temperaturen im Epilimnion zu einer Einengung des Lebensraumes, insbesondere für Kaltwasserarten (Abb. 2). Seespezifische Modellierungen zeigen, dass eine Erwärmung der Lufttemperatur um 2 – 4 °C mit einer Verringerung des Sauerstoffgehalts im Hypolimnion um 2 – 4 mg/l bei gleichzeitig erhöhtem Sauerstoffbedarf der Fische einhergehen kann (Ficke et al. 2007). Das lässt die Wahrscheinlichkeit sommerlicher Fischsterben ansteigen. Das Auftreten von Starkregen nach längeren Trockenphasen und die damit verbundene Einspülung leicht abbaubarer organischer Substanz vom Ufer können die Situation zusätzlich verschärfen.

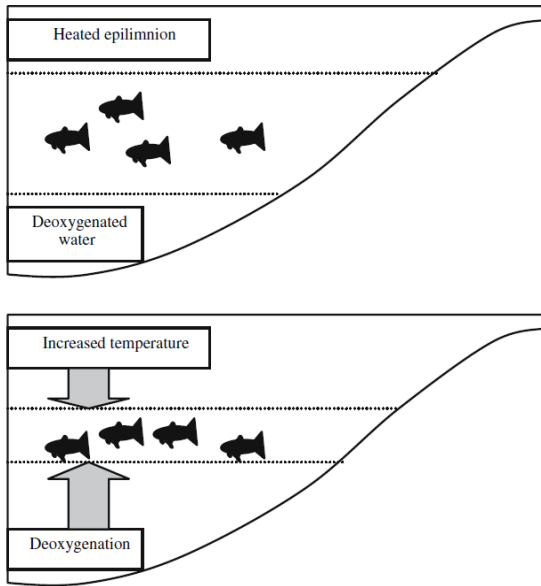


Abb. 2: Verringerung des Lebensraumes im Hypolimnion für stenotherme Arten infolge längerer sommerlicher Stagnationsphasen bei erhöhter Temperatur (aus Ficke et al. 2007)

Durch die Dichteabhängigkeit der Mortalität in Fischbeständen ist neben der skizzierten Sterblichkeit infolge von Sauerstoffmangel auch mit erhöhten Mortalitäten als Resultat temporär verringerter Habitatgrößen zu rechnen (Abb. 2). Für manche Arten bzw. Altersklassen können höhere Temperaturen aber auch positiv wirken und die Überlebenswahrscheinlichkeit erhöhen. So diskutieren Jeppesen et al. (2012) beispielsweise, dass ein schnelleres Wachstum von 0+ Barschen in Jahren mit höheren Temperaturen in der Vegetationsphase deren Mortalität im ersten Winter senkt und erklären so die Beobachtungen positiver Korrelationen zwischen Sommertempe-

ratur und Jahrgangsstärke bei Barschen und Zandern in skandinavischen Seen wie sie von Lehtonen & Lappalainen (1995) gezeigt wurden (Abb. 3)

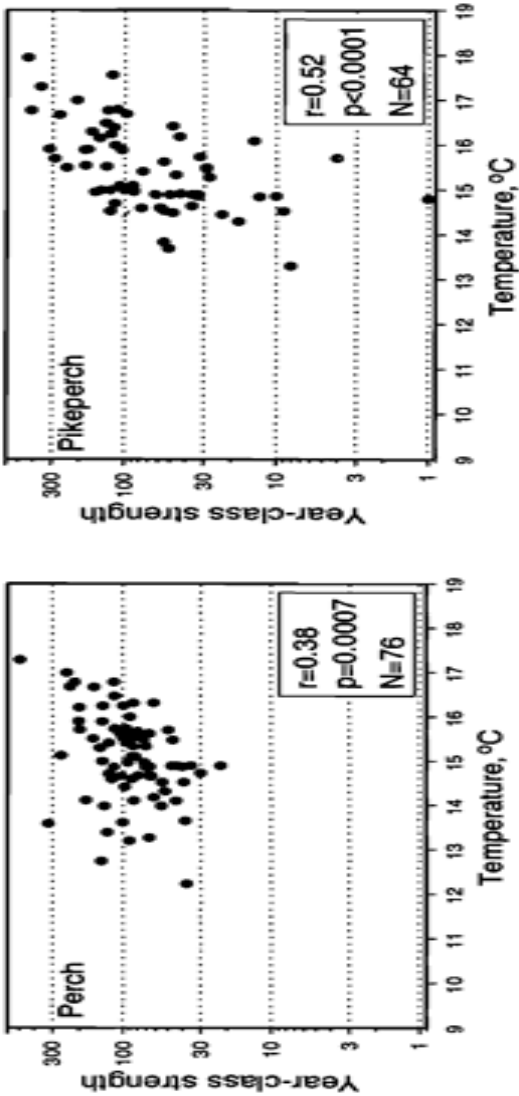


Abb. 3: Korrelation zwischen Jahrgangsstärke und mittlerer Wassertemperatur im Sommer für Barsch (links) und Zander (rechts) in skandinavischen Seen (aus Lehtonen & Lappalainen, 1995).

Wachstum: Für das individuelle und damit auch das Bestandswachstum von Fischen hat die Temperatur eine Schlüsselfunktion. Höhe und Spannweite des optimalen und eingeschränkten Temperaturbereichs sind dabei artspezifisch und bilden die Grundlage für eine Typisierung der heimischen Fischfauna in steno- und eurytherme Warm-, Kühl-, und Kaltwasserarten. Im jeweiligen optimalen Temperaturbereich ist die Wachstumsgeschwindigkeit am höchsten. Typische Fischartengemeinschaften in unseren temperierten Seen umfassen zumindest in geschichteten Gewässern in aller Regel sowohl steno- als auch eurytherme Arten aller drei Temperaturgilden. Vor diesem Hintergrund sind die Effekte einer Temperaturerhöhung auf das Wachstum artspezifisch. Bleiben die Temperaturen innerhalb des Optimalbereichs der Art, führt eine Erwärmung unter ansonsten identischen Bedingungen zu einem besseren Wachstum. Dabei ist auch von Bedeutung, wie sich die Anzahl an „Zuwachstagen“ (Growing Degree Days, GDD) verändert.

Während auf der Ebene von Individuen positive Korrelationen von Temperatur und Wachstumsgeschwindigkeit innerhalb des art-eigenen optimalen Temperaturbereichs zu erwarten sind, stellt sich die Situation aus einer mehr generalisierten Sicht auf Fischartengemeinschaften anders dar. Fischartengesellschaften in wärmeren Umwelten bestehen typischerweise aus kleinwüchsigeren Arten (z.B. Emmrich 2013, Rypel & David 2017). Gleichzeitig bleiben Individuen der gleichen Art in wärmerer Umwelt kleiner, wie

Jeppesen et al. (2010) am Beispiel des Barsches in schwedischen Seen zeigen konnten. Als ursächlicher Zusammenhang wird vermutet, dass Individuen einer Art in wärmeren Gewässern zwar zunächst ein schnelleres Wachstum zeigen, daraus aber eine frühere Anlage von Gonaden resultiert, die eine stärkere Energieinvestition in die Reproduktion und nicht mehr in das Wachstum bewirkt. Dies wiederum bewirkt eine Abnahme des somatischen Wachstums in späteren Lebensphasen und der erreichbaren Maximalgröße (Jeppesen et al. 2010).

Rekrutierung: Die Auswirkungen eines Temperaturanstiegs in Standgewässern unserer Region auf die Rekrutierung von Fischarten sind mechanistisch sehr komplex. Zunächst sind mögliche Veränderungen bezüglich des Eintritts der Geschlechtsreife zu berücksichtigen. Dieses korreliert in der Regel mit dem Alter oder/und der Größe des Individuums. Auch das Geschlecht spielt eine Rolle (z. B. Bone and Marshall 1985; Ficker et al. 2014). Ob ein Temperaturanstieg Auswirkungen auf das Geschlechterverhältnis in der Nachkommenschaft und darüber die Rekrutierung hat, ist bisher kaum untersucht. Laborexperimente mit juvenilen Fischen zeigen jedoch, dass erhöhte Temperaturen in den frühen Lebensphasen, z.B. bei Salmoniden, zu einem höheren Anteil funktionell männlicher Tiere führen können (Valdivia et al. 2014; Magerhans et al. 2009). Wie im vorangehenden Abschnitt dargestellt, können höhere Temperaturen bei manchen Arten in schnellerem Wachstum

resultieren. Eine darüber ausgelöste Vorverlegung des Geschlechtsreifealters ist bei einem Temperaturanstieg von 2 K kaum zu erwarten, allerdings mangelt es an gezielten Studien zu diesem Thema. Klarer scheint, dass durch schnelleres Wachstum die Größe bzw. Masse der Rogner eines Jahrgangs zunimmt. Da nicht nur die absolute sondern auch die relative Fruchtbarkeit von Rognern zumindest in den ersten Jahren positiv mit deren Größe korreliert (für *C. albula* z.B. Wanke et al. 2017), liefert die gleiche Laicherbiomasse mehr Eier. Über diesen Weg könnte es also zu einer Stärkung des Reproduktionserfolgs kommen. Hinzu kommt, dass finnische Untersuchungen auch für kaltstenotherme Coregonen eine hohe Flexibilität für die Dauer der Eientwicklung belegen (Karjalainen et al. 2014). Erhöhungen der Erbrütungstemperatur im Bereich um 2 K resultierten in einem früheren Schlupf, wobei die Schlupf- und Überlebensraten der Larven im Labor konstant blieben.

Ob eine Vorverlegung des Schlupfes allerdings unter natürlichen Bedingungen zu einem „Mismatch“ mit der Verfügbarkeit adäquater Nahrungsmengen und –qualitäten führen kann, bleibt für Süßwasserfischarten zu untersuchen. Der Beitrag von P. Polte im vorliegenden Heft geht dieser Frage am Beispiel von *C. harengus* in der Ostsee nach.

Da die Auswirkungen von Temperaturerhöhungen auf den Vermehrungserfolg artspezifisch unterschiedlich sind, werden Verschiebungen in den Dominanzverhältnissen erwartet. Hansen et al. (2017) analysierten mehr als 2.500 Datensätze zum Vermehrungserfolg von Zander (*S. vitreus*) und Forellenbarsch (*M. salmoides*) in Seen in Wisconsin und identifizierten einen Kipppunkt bei einer Jahressumme von 2.300 - 2.500 Tagesgraden (Abb. 4). Bei geringeren Werten ist die Wahrscheinlichkeit starker Zandervermehrung hoch, bei Werten darüber gilt das für den Forellenbarsch. Eine darauf basierende Modellierung unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien zeigt, dass zanderdominierte Seen um mehr als 85% zurückgehen werden, während die Zahl an Forellenbarschseen bis Ende des 21. Jahrhunderts stark anwächst (Hansen et al. 2017).

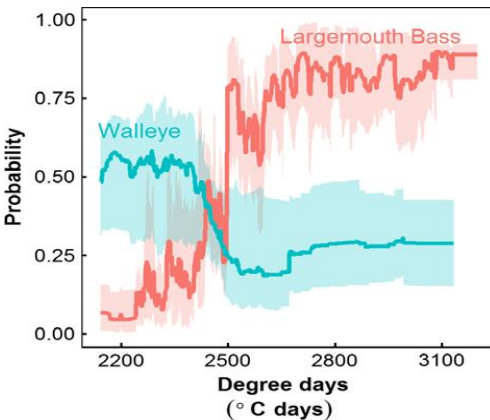


Abb. 4: Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Zandervermehrung (türkis) bzw. hoher Forellenbarschdominanz (rot) als Funktion der mittleren Jahreswassertemperatur (Tagesgradsumme) aus Hansen et al. (2017).

Klimawandel und Fischerei: Die erwerbsfischereiliche Nutzung von Binnengewässern in Deutschland ist seit Jahrzehnten sowohl in Bezug auf die Fangmengen als auch die Anzahl an Unternehmen rückläufig (Brämick 2018). Hauptursachen hierfür liegen in einer schwachen Position der Fischerei in der Auseinandersetzung mit anderen Interessensgruppen zur Nutzung und Entwicklung von Gewässern bzw. Biozönosen, schwierigen Vermarktungsbedingungen für viele Süßwasserfischarten bei einem globalisierten Fischmarkt und der bei Binnengewässern besonders starken Einwirkung externer und damit durch die Fischerei kaum beeinflussbarer Faktoren auf Fischbestände und ihre fischereiliche Nutzbarkeit (Brämick 2016). Vor diesem Hintergrund sind Folgen klimatischer Änderungen für die Situation und Perspektive der Fischerei bisher kaum betrachtet worden. Deutlich wird das z.B. bei einer Analyse der Anzahl und Tendenz von Aussagen zu Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien zu den Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland (adelphi 2015). Hier sind für die Fischwirtschaft (Fischerei und Aquakultur) im Vergleich zu anderen Handlungsfeldern nur sehr wenige Aussagen in den ausgewerteten Studien zu finden. Als Grund wird vermutet, dass von den Akteuren möglicherweise nur geringe Auswirkungen erwartet werden und die eigene Betroffenheit durch den Klimawandel noch nicht als sehr groß eingeschätzt wird (Brasseur et al. 2017). Diese Einschätzung teilen wir angesichts eigener Untersuchungen und Beobachtungen sowie der weiteren Beiträge in diesem Heft nicht. Es ist vielmehr davon auszugehen,

dass die Folgen klimatischer Veränderungen einen weiteren bedeutsamen Stressor für Fischbestände und Fischerei darstellen, der allerdings in seiner Wirkung von anderen Faktoren oft überlagert wird.

5. Fallbeispiele für Folgen klimatischer Veränderungen aus Niedersachsen

In der fischereilichen Praxis wurden in den vergangenen Jahren bereits klimatisch bedingte Veränderungen der aquatischen Ökosysteme festgestellt. Dies betraf einen akuten Wasserverlust von Standgewässern ebenso wie das Auftreten von Fischsterben im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen. Einige der wichtigsten Beobachtungen aus Niedersachsen, kombiniert mit lokalen Datenerhebungen, werden nachfolgend vorgestellt.

Wasserverlust und Pegelschwankungen: Erhöhte Verdunstungsraten und stark schwankende Niederschlagsmengen mit längeren Dürreperioden während der Sommermonate haben den Grundwasserpegel auf einen aktuell historischen Tiefstand in Niedersachsen sinken lassen (Wriedt 2019). Dieser Wasserverlust übertrug sich in den vergangenen Jahren auch unmittelbar auf die Pegel der natürlichen und der künstlichen Oberflächengewässer. Das Steinhuder Meer, mit rund 29 km² der größte Natursee des Landes, vermeldete in den Herbstmonaten der Jahre 2018 und 2019 einen historischen Tiefwasserstand von 74 cm am Pegel

Wilhelmstein. Sowohl die kommerzielle Fischerei als auch die Angelfischerei wurden dadurch teilweise stark eingeschränkt, da Fischereigeräte nicht mehr effizient einsetzbar waren und Flachbereiche mit dem Boot unerreichbar wurden. Erstmals wurde zudem das vollständige Trockenfallen von Auengewässern und flachen Abgrabungsgewässern gemeldet. In der Leinemasch in Hannover kam es dabei zum vollständigen Verlust regional bedeutsamer Bitterlingsbestände (Klefoth et al. 2019). Da nur wenige Kleingewässer einem regelmäßigen Monitoring unterliegen, ist der ökologische und fischereiliche Schaden ausgeprägter Dürreperioden aktuell noch nicht hinreichend quantifizierbar. Die regionalen Gewässerbewirtschaftler, in der Regel Angelvereine, berichten allerdings vermehrt von vollständig trockenfallenden Seen und Teichen oder Teilabschnitten dieser Gewässer, wodurch die anglerische Nutzung stark eingeschränkt wird.

Kleine, künstlich geschaffene Abgrabungsgewässer mit einer Fläche < 20 ha repräsentieren die dominierende Standgewässerform in weiten Teilen Deutschlands und bieten insbesondere für Angelvereine eine wichtige Gewässerressource. Allein in Niedersachsen beläuft sich die Anzahl dieses Gewässertyps auf mehrere zehntausend (Nikolaus et al., unpubliziert). Aufgrund der anthropogenen Entstehungsgeschichte sind sie häufig sehr steilscharig und weisen nur geringe Litoralfächen auf. Eine landesweite Vermessung von 19 niedersächsischen Baggerseen (durchschnittliche Gewässerfläche

7,3 ha) ergab im September 2019 eine flächendeckende Pegelverringerung gegenüber dem Normalwasserstand in Folge anhaltender Niederschlagsdefizite in den Jahren 2018 und 2019. Durchschnittlich betrug die Pegelabsenkung 72 cm und schwankte zwischen 24 – 201 cm. Die Litoralfläche (definiert als 3 m Wassertiefe oder geringer) verringerte sich dadurch um durchschnittlich 11,6 %, wobei im Extremfall bis zu 44 % der flachen Uferzonen verloren gingen. Der relative Litoralverlust korrelierte positiv mit der mittleren Seentiefe (Abb. 5), sodass die Strukturvielfalt in besonders tiefen und steilscharigen Baggerseen durch den Wasserverlust überproportional stark abnahm. Trotz verstärkter Regenfälle von Dezember 2018 bis April 2019 konnte der sommerliche Wasserverlust in vielen Gewässern nicht vollständig kompensiert werden. Somit können sommerliche Trockenperioden auch jahresübergreifende Effekte auf die Fischfauna entwickeln.

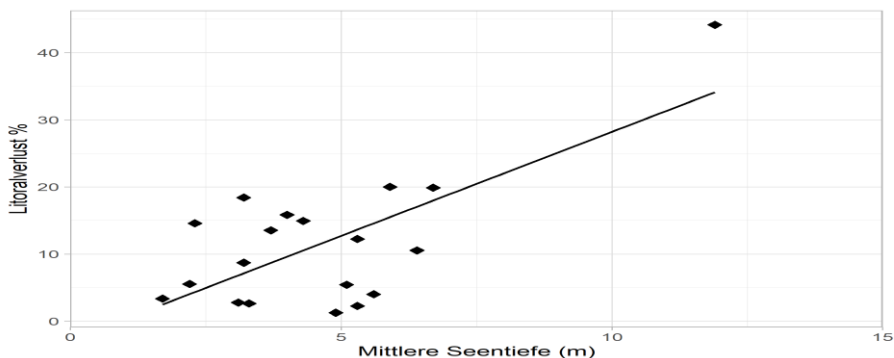


Abb. 5: Korrelation zwischen dem relativen Litoralverlust durch Grundwasserabfall und Niederschlagsmangel in den Jahren 2018 und 2019 und der mittleren Seentiefe am Beispiel von 19 niedersächsischen Baggerseen mit einer Größe von 1 – 19 Hektar. Die Messung erfolgte im September 2019 ($t = 4,01$, $df = 17$, $p < 0,001$, Pearson's $r = 0,697$)

Algenblüten: In den vorangestellten Ausführungen wurde bereits erwähnt, dass die prognostizierten klimatischen Veränderungen das Vorkommen von Cyanobakterien fördern können. Verstärkt durch die beschriebenen überproportionalen Verluste an Litoralfäche und in der Folge submerser Makrophyten, welche natürlicherweise Blaualgenblüten entgegenwirken, sind zukünftig häufigere Fischsterben und Sauerstoffmangelercheinungen aufgrund erhöhter Vorkommen von Blaualgen zu erwarten (Bakker & Hilt 2016; Adrian & Shatwell 2018). In der Praxis scheint sich dieses Szenario bereits heute zu bestätigen. Zwar liegen keine flächendeckenden Erhebungen vor, allerdings wurden in den Sommermonaten der Jahre 2018 und 2019 vermehrt Blaualgenblüten, teilweise verbunden mit lokalem Fischsterben, beim Anglerverband Niedersachsen gemeldet. Dies traf insbesondere für nährstoffreiche Flachgewässer natürlichen Ursprungs wie den Alveser See, flache Stauseen wie den Alfsee und viele Baggerseen in allen Regionen des Landes zu.

Fischkrankheiten: In der kommerziellen Fischerei und in der Aquakultur wird intensiv über das Potential neuer Krankheitsbilder bei Fischen sowie eine Zunahme von Parasiten in Folge ansteigender Wassertemperaturen diskutiert (Cochrane et al. 2009). In der praktischen Standgewässerbewirtschaftung in Deutschland sind diese Probleme bisher selten aufgetreten. Eine Ausnahme bildet die sogenannte Süßwasser-Aal-Rotseuche. Diese bakterielle Krankheit tritt primär bei Wassertemperaturen oberhalb von 24 °C auf und

wurde im Hochsommer 2018 vereinzelt in kleinen, flachen und nährstoffreichen Seen mit hoher Bestandsdichte beobachtet (bspw. Stadtgraben in Wolfenbüttel). Lehmann et al. (2007) bezeichnen die Bakterien des *Aeromonas hydrophila/sobria* – Komplexes als die wichtigsten bakteriellen Erreger in unseren heimischen Aalbeständen, da sie die Süßwasser-Aal-Rotseuche verursachen, die vergleichsweise häufig auftritt und dabei hohe Verluste hervorruft. Zunehmend hohe Wassertemperaturen im Sommer können somit zumindest mit Blick auf die Aalfischerei zusätzliche Mortalitäten durch Krankheiten hervorrufen und einen regional bedeutsamen fischereilichen Schaden bewirken.

Anreicherung natürlicher fischtoxischer Substanzen: Eine in der deutschen Fischereipraxis bisher kaum beachtete Form des Fischsterbens trat erstmals im Winter 2018 in den Küstengebieten Niedersachsens auf. In den stark vernetzten Gräben und Kanalsystemen der Landkreise Cuxhaven und Stade kam es zu lokalen Totalverlusten der Fischbestände. Entlang der gesamten deutschen Küstenlinie sind häufig sogenannte „potentiell sulfatsaure Böden“ anzutreffen. Diese Bodenbezeichnung umfasst Böden, Sedimente und Torfe mit geogen bedingten hohen Gehalten an reduzierten anorganischen Schwefelverbindungen, die wegen der konstant hohen Grundwasserstände unter anaeroben Bedingungen konserviert wurden (Heumann et al. 2018). Bei diesen säurebildenden Schwefelverbindungen handelt es sich vor allem um Eisensulfide,

welche in Form von Pyrit vorliegen. Aufgrund der langanhaltenden Trockenheit im Sommer 2018 kam es zu einem Sauerstoffkontakt des im Boden eingelagerten Pyrits. Bedingt durch die daraus resultierenden Oxidationsprozesse konnten erhebliche Mengen an Säure und Sulfat freigesetzt werden (Klefoth et al. 2019). Da die Säureneutralisationskapazität der pyridhaltigen Böden (insbesondere Torfe) nicht ausreichte um die Säurebildung zu puffern, sank der pH-Wert der Böden auf Werte unter 4. Unter diesen Bedingungen kam es zu erhöhten Schwermetallverfügbarkeiten, bzw. zu einer Löslichkeit von natürlichen Metallen wie Aluminium im Sickerwasser. Mit den einsetzenden Regenfällen im Herbst/Winter 2018 wurden diese gelösten Schwermetalle in die Graben- und Kanalsysteme der norddeutschen Tiefebene eingespült und verursachten Fischsterben. Noch Tage nach dem ersten Auffinden toter Fische ergaben Wasserproben der Landkreise und der bewirtschaftenden Angelvereine Aluminiumkonzentrationen von 1,67 mg/l. Diese Konzentrationen waren bei den vorherrschenden pH-Werten im Wasser von deutlich < 4 als hoch fischgiftig einzustufen (Birchall et al. 1989; Sutela & Vehanen 2017). Trotz erhöhter Niederschlagsmengen im Jahr 2019 wiederholte sich das Fischsterben in den betroffenen Gewässern im Folgejahr und trat erstmals auch im Landkreis Friesland auf. Ähnliche, auf die Einspülung von natürlichem Aluminium auf potentiell sulfatsauren Böden zurückzuführende Fischsterben unter fast identischen Bedingungen sind beispielsweise aus Finnland und Australien bekannt (Hyne & Wilson 1997; Sutela &

Vehanen 2017). Da der Oxidationsprozess des Pyrids nach einmaligem Sauerstoffkontakt nicht abgeschlossen ist und über Jahrzehnte fortauern kann, ist mit vergleichbarem Fischsterben nach erheblicher Trockenheit auch in den kommenden Jahren und Jahrzehnten zu rechnen.

6. Reaktionen der Angler auf klimatische Veränderungen

Aktuell wird angenommen, dass klimatische Veränderungen nicht nur die aquatischen Ökosysteme, sondern auch das menschliche Verhalten beeinflussen. Nach Hunt et al. (2016) werden Angler in ihrer Gewässerwahl und der Befischungsintensität auf klimatisch bedingte Veränderungen im Fischbestand reagieren. Zudem gehen die Autoren davon aus, dass wärmere Wetterbedingungen die Intensität der Angelei beeinflussen und ein moderater Temperaturanstieg in den gemäßigten Klimazonen den Fischereiaufwand steigern kann. Am Beispiel des Elbe-Seitenkanals (ESK) wurde die Hypothese überprüft, dass die Befischungsintensität der lokalen Angler mit wärmeren und damit für den Angler angenehmeren Wetterbedingungen ansteigt. Dazu wurden die individuellen Angeltage pro Jahr von 2013 bis 2018 auf den Jahreserlaubnisscheinen erfasst und die Angelaktivitäten mit den Wassertemperaturen in Verbindung gesetzt. Insgesamt wurden dabei 20.388 Angeltage in 3.396 individuellen Angeljahren berücksichtigt. Die Wassertemperatur (°C, Mittelwert pro Tag) wurde von der Wasserschifffahrtsverwaltung für den mit dem ESK in Verbin-

dung stehenden Mittellandkanal für die Jahre 1999 – 2018 zur Verfügung gestellt. Im Zeitraum 1999 – 2012 lag die durchschnittliche Wassertemperatur mehr als ein Grad unterhalb des untersuchten Zeitraums von 2013 – 2018 (mittlere Jahreswassertemperatur von 1999 – 2012 = 11,58 °C und von 2013 – 2018 = 12,64 °C) und besonders hohe Wassertemperaturen waren in diesen sechs Jahren häufiger (Abb. 6).

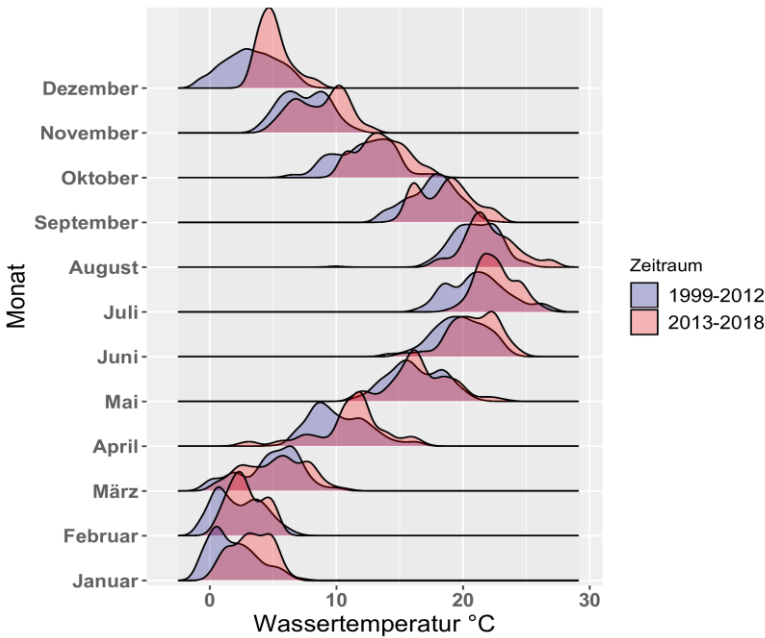


Abb. 6: Temperatur-Häufigkeitsverteilung des an den Elbe-Seitenkanal angrenzenden Mittellandkanals in den Zeiträumen 1999 – 2012 und 2013 – 2018.

Die Dauer der Angelsaison, definiert als Zeitdifferenz zwischen dem ersten und dem letzten Angeltag innerhalb eines Jahres für jeden individuellen Angler, korrelierte positiv mit der Häufigkeit (Anzahl

Tage) von Wassertemperaturen über 15 °C (Abb. 7). Witterungsbedingungen haben also maßgeblich bestimmt, wann die Angelsaison begann und wann sie endete. Ab einer Wassertemperatur > 10 °C stieg zudem die Anzahl der realisierten Angeltage innerhalb einer Saison, sodass der Fischereiaufwand bei steigenden Temperaturen gemäß der Hypothese zunahm (Abb. 8). Die vorliegende Analyse basiert allerdings auf lediglich sechs aufeinanderfolgenden Jahren, beinhaltet daher nicht die vollständige Witterungsvariabilität über einen längeren Zeitraum und zeigt im Falle der in Abb. 8 dargestellten Korrelation auch keinen eindeutig signifikanten Zusammenhang. Ein Pearson's r von 0,782 lässt aber trotz oder gerade wegen des geringen Stichprobenumfangs einen starken Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und den realisierten Angeltagen pro Saison vermuten.

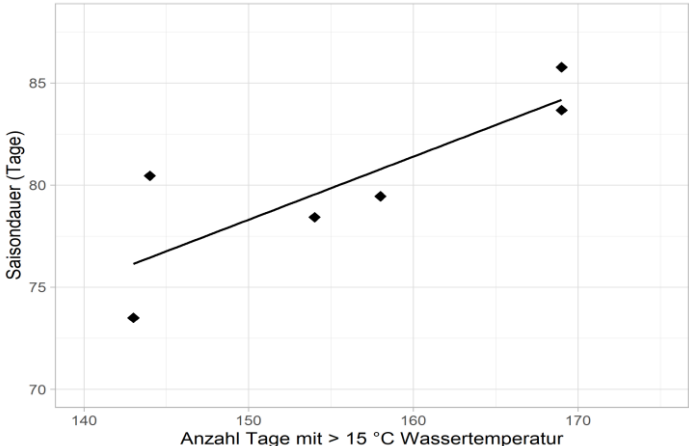


Abb. 7: Zusammenhang zwischen der Häufigkeit einer Wassertemperatur > 15 °C und der mittleren Angelsaisondauer von 2013 – 2018 (S = 6,59, p < 0,05, Spearman's rho = 0,812).

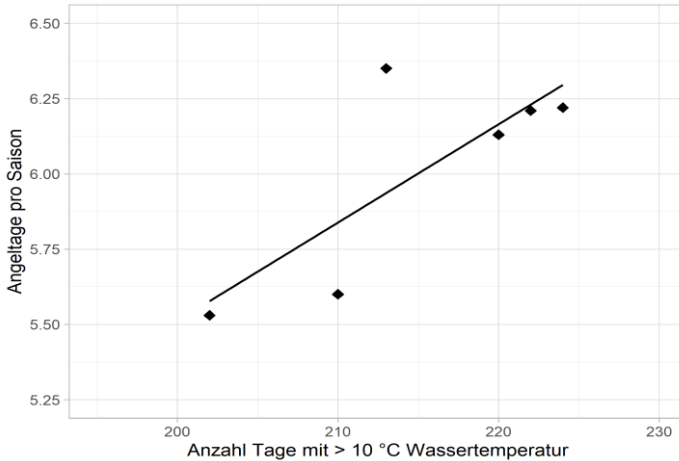


Abb. 8: Zusammenhang zwischen der Häufigkeit einer Wassertemperatur > 10 °C und der durchschnittlich realisierten Angeltage pro Saison ($t = 2,51$, $df = 4$, $p = 0,066$, Pearson's $r = 0,782$).

Eine Zunahme der Angelaktivitäten (Angeltage) bei fortdauernd wärmerer Witterung könnte nicht nur Einfluss auf das menschliche Freizeitverhalten, die Fischbestände und den Fischereiaufwand haben, sondern aufgrund der erhöhten Aktivitäten auch einen zusätzlichen ökonomischen Nutzen generieren (Mendelson & Markowski 1999; Hunt et al. 2016). Entsprechende Schätzungen wurden bisher allerdings kaum angestellt und müssen zudem die möglichen negativen Wirkfaktoren wie Wetterextreme und eine potentiell verringerte fischereiliche Qualität berücksichtigen. Daher besteht weiterhin hoher Bedarf an (Langzeit)Datensätzen, mit denen das Verhalten der Angler im Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen analysiert werden kann.

7. Handlungsoptionen für die Praxis und bestehender, angewandter Forschungsbedarf

Klimatische Veränderungen entfalten bereits heute erhebliche und insbesondere in den beiden letzten Sommern deutlich gewordene Wirkungen auf Standgewässer, die darin lebenden Fischbestände und deren Nutzung. Erste regionale Beispiele bestätigen einige der prognostizierten Folgen. Daraus erwächst ein zunehmender Handlungsdruck sowohl für Fischereiunternehmen als auch für Akteure der Angelfischerei. Verbreitete Werkzeuge bei der Bewirtschaftung stehender Gewässer sind Schon- und Entnahmebestimmungen, Fischbesatz, und Verbesserungen von Habitatstrukturen. Diese Bewirtschaftungsinstrumente sind nach unserer Auffassung grundsätzlich auch dazu geeignet, die Binnenfischerei an die klimatischen Veränderungen anzupassen und die Fischbestände gegenüber anthropogenen Stressoren zu stabilisieren. So sind in Erwartung zunehmender Erwärmung, milderer Winter und daraus resultierender Veränderungen der Laich- und Schlupfzeitpunkte angepasste Schonzeiten ein erfolgsversprechender Ansatz. Gleiches gilt für Entnahmeregularien. Ändern sich Wachstum und Eintritt der Geschlechtsreife, könnten Anpassungen von Mindestmaßen oder ergänzende Entnahmeregeln zur Stabilisierung der Rekrutierung und Erhöhung der Vermehrungsraten wirksam sein. Rückzugsgebiete für Fische können durch die Ausweisung von Schongebieten realisiert werden, die unter einem Szenario veränderter Wasserstände ausgewählt oder gezielt aufgewertet werden. Da die

Gewässer und die darin lebenden Fische voraussichtlich sehr unterschiedlich von den klimatischen Veränderungen betroffen sein werden und entsprechend unterschiedlich stark reagieren, kann die Regionalisierung der fischereilichen Bewirtschaftung in Bezug auf Schonzeiten und Entnahmebestimmungen, bis hin zu gewässer-spezifischen Regularien, ein geeignetes Anpassungsinstrument sein. Zentral ist dabei auch die Etablierung eines gezielten Monitorings zur Dokumentation und Überprüfung der Fischbestände und der Evaluation durchgeführter Maßnahmen. Dem potentiell andauernden Verlust der Litoralstrukturen kann zudem durch Habitat-aufwertungen begegnet werden. Das Schaffen neuer Flachwasserzonen oder die Substitution verlorengangener submerser Makrophyten durch Totholzeintrag wird aktuell im Rahmen des Projekts BAGGERSEE (www.baggersee-forschung.de) erprobt und erforscht. Die gezielte Förderung diversifizierter Litoralstrukturen soll die Jungfischmortalität verringern und die Rekrutierung fördern und so die Fischbestände insgesamt stabilisieren.

Bei veränderten Temperaturgängen in isolierten Standgewässern kommt bei der Durchführung von Fischbesatz der Auswahl geeigneter, angepasster Herkünfte erhebliche Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang muss auch darüber diskutiert werden, ob die gezielte Ansiedlung eurythermer Arten im Falle des Verlustes kaltstenothermer Arten eine akzeptable Strategie zur Erhaltung von Artendiversität sein kann.

Forschungsbedarf: Die Diskussion um die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf Standgewässersysteme, Fischbestände und die Binnenfischerei ist bisher von einer erheblichen Datenarmut, insbesondere in Mitteleuropa, geprägt. Zu einer qualifizierten Bewertung von Risiken aber auch Chancen werden biologische, ökologische und sozioökonomische Studien benötigt. Neben diesen gezielten Studien kommt langfristigen Monitorings und Datensammlungen eine hohe Bedeutung für das Verständnis von Veränderungen zu. Der stärkste Mangel an biologischen und ökologischen Daten besteht in diesem Zusammenhang bei Standgewässern mit einer Wasserfläche unter 50 Hektar sowie fast alle Gräben und Kanalsysteme bis hin zu den künstlichen Bundeswasserstrassen, die allesamt nicht im Zuge der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie regelmäßig beprobt werden.

Weiterhin besteht Forschungsbedarf zur Eignung von Maßnahmen, welche den negativen Auswirkungen der Klimaveränderungen entgegenwirken und die Fischbestände stabilisieren sollen. Möglichkeiten und Grenzen eines angepassten fischereilichen Managements im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen, steigenden Temperaturen, Einwirkungen der regionalen Landnutzung und verändertem menschlichen Verhalten sind bisher nicht ausreichend untersucht und bewertet worden. Hinzu kommt die Entwicklung und Prüfung von Handlungsleitfäden für Bewirtschafter zur Anpassung an ökosystemare Veränderungen.

Literatur:

- ADELPHI, PRC, EURAC** (2015). Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_0.pdf
- ADRIAN, R., HESSEN, D.O., BLENCKER, T., HILLEBRAND, H., HILT, S., JEPPESEN, E., LIVINGSTONE, D.M., TROLLE, D.** (2016): Environmental Impacts—Lake Ecosystems. In: M. Quante and F. Colijn (eds.), North Sea Region Climate Change Assessment, Regional Climate Studies, DOI 10.1007/978-3-319-39745-0_10
- ADRIAN, R. & SHATWELL, T.** (2018). Seen im Klimawandel. Diagnosen und Prognosen aus der Langzeitforschung. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin. IGB Dossier
- BAKKER, E. S. & HILT, S.** (2016). Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management. *Aquatic ecology* 50(3), 485-498
- BIRCHALL, J. D., EXLEY, C., CHAPPELL, J. S. & PHILLIPS, M. J.** (1989). Acute toxicity of aluminium to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature* 338(6211), 146
- BONE, Q. & MARSHALL, N.B.** (1985). *Biologie der Fische*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 236
- BRÄMICK, U.** (2016). Besonderheiten der fischereilichen Bewirtschaftung von Binnengewässern. *Arbeiten des Deutschen Fischerei-Verbandes* 94, 25-58
- BRÄMICK, U.** (2018). Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2017. www.portal-fischerei.de und www.ifb-potsdam.de; 57
- BRASSEUR, G.P., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S.** (2017). *Klimawandel in Deutschland*. Springer Spektrum DOI 10.1007/978-3-662-50397-3, 352

- COCHRANE, K., DE YOUNG, C., SOTO, D. & BAHRI, T.** (2009). Climate change implications for fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper* 530, 212
- COMTE, L., BUISSON, L., DAUFRESNE, M., GRENOUILLET, G.** (2013): Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. *Freshwater Biology* (2013) 58, 625–639
- DESTASIO, B.T., HILL, D.K., KLEINHANS, J.M., NIBBELINK, P.N., MAGNUSON, J.J.** (1996): Potential effects of global climate change on small north-temperate lakes: Physics, fish, and plankton. *Limnol. Oceanogr.* 41(5), 1136-1149
- DWD Deutscher Wetterdienst** (2019):
https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102_waermstes_jahr_in_deutschland_2018.pdf
- EMMRICH, M.** (2013). Fish assemblages in European lakes - Comparison of sampling methods and analysis of size structure. Humboldt-Universität zu Berlin, Dissertationsschrift, 151
- FICKE, A.D., MYRICK, C.A. & HANSEN, L.A.** (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater. *Rev Fish Biol Fisheries* 17, 581-613
- FICKER, H., MAZZUCCO, R., GASSNER, H., WANZENBÖCK, J. & DIECKMANN, U.** (2014). Fish length exclusively determines sexual maturation in the European whitefish *Coregonus lavaretus* species complex. *Journal of Fish Biology*, DOI: 10.1111/jfb.12301
- GAETA, J.W., SASS, G.G. & CARPENTER, S.R.** (2019). Drought-driven lake level decline: effects on coarse woody habitat and fishes *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71, 315-325
- GRAHAM, C.T. & HARROD, C.** (2009): Implications of climate change for the fishes of the British Isles. *J.Fish.Biol.*,
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02180.x>

- HANSEN, G.J.A., READ, J.S., HANSEN, J.F., WINSLOW, L.A.** (2017): Projected shifts in fish species dominance in Wisconsin lakes under climate change. *Global Change Biology* (2017) 23, 1463–1476
- HEUMANN, S., GEHRT, E. & GRÖGER-TRAMPE, J.** (2018). Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebieten: Entstehung, Vorerkundung und Auswertungskarten. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Geofakten 24
- HUNT, L. M., FENICHEL, E. P., FULTON, D. C., MENDELSON, R., SMITH, J. W., TUNNEY, T. D., LYNCH, A. J., PAUKERT, C. P. & WHITNEY, J. E.** (2016). Identifying alternate pathways for climate change to impact inland recreational fishers. *Fisheries* 41(7), 362-372
- HYNE, R. V. & WILSON, S. P.** (1997). Toxicity of acid-sulphate soil leachate and aluminium to the embryos and larvae of Australian bass (*Macquaria novemaculeata*) in estuarine water. *Environmental Pollution* 97(3), 221-227
- IGKB** (2015): KlimBo – Klimawandel am Bodensee. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), Blaue Reihe, Bericht Nr. 60, 136 S.
- IGKB** (2018): Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 42 (2016-2017), 133 S.
- JEPPESEN, E., MEERHOFF, M., HOLMGREN, K., GONZALEZ-BERGONZONI, I., TEIXEIRA-DE MELLO, F., DECLERCK, S.A.J., DE MEESTER, L., SØNDERGAARD, M., LAURIDSEN, T.L., BJERRING, R., CONDE-PORCUNA, J.M., MAZZEO, N., IGLESIAS, C., REIZENSTEIN, M., MALMQUIST, H.J., LIU, Z., BALAYLA, D., LAZZARO, X.** (2010): Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* (2010) 646:73–90

- JEPPESEN, E., MEHNER, T., WINFIELD, I.J., KANGUR, K., SARVALA, J., GERDEAUX, D., RASK, M., MALMQUIST, H.J., HOLMGREN, K., VOLTA, P., ROMO, S., ECKMANN, R., SANDSTROM, A., BLANCO, S., KANGUR, A., RAGNARSSON S.H., TARVAINEN, M., VENTELA, A.M., SONDERGAARD, M., LAURIDSEN, T.L. & MEERHOFF, M.** (2012). Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia* 694(1), 1-39
- KARSSON, J. & BYSTRÖM, P.** (2005). Littoral energy mobilization dominates energy supply for top consumers in subarctic lakes. *Limnology and Oceanography* 50, 538-543
- KARJALAINEN, J., KESKINEN, T., PULKKANEN, M., MARJOMÄKI, T.J.** (2014): Climate change alters the egg development dynamics in cold-water adapted coregonids. *Environ Biol Fish*, DOI 10.1007/s10641-014-0331-y
- KLEFOTH, T., EMMRICH, M., GERKEN, R., WOLF, K., FOCKE, R. & MÖLLERS, F.** (2019). Hitzesommer 2018 – eine Bilanz aus Sicht der Fische und der Angler. Geschäftsbericht des Anglerverband Niedersachsen e.V. 2018 https://av-nds.de/images/2019_BEITRAEGE/2019_28_WEB_GB2018/2019-05-09_AVN-Geschaeftsbericht2018_WEB.pdf
- LEHMANN, J., STÜRENBERG, F. J. & SCHÄFER, W.** (2007). Überblick über die Krankheiten des Europäischen Aals. *Arbeiten des Deutschen Fischereiverbandes* 85, 27-36
- LEHTONEN, H. & LAPPALAINEN, J.** (1995). The effects of climate on the year-class variations of certain freshwater fish species. In BEAMISH, R. J. (ed.), *Climate Change and Northern Fish Populations* 121. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, Ottawa, Canada, 37-44
- MAGERHANS, A., MÜLLER-BELECKE, A., & HÖRSTGEN-SCHWARK, G.** (2009). Effect of rearing temperatures post hatching on sex ratios of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) populations. *Aquaculture* 294(1-2), 25-29

- MALKIN, S.Y., BOCANIOV, S.A., SMITH, R.E., GUILDORD, S.J. & HECKY, R.E.** (2010). In situ measurements confirm the seasonal dominance of benthic algae over phytoplankton in nearshore primary production of a large lake. *Freshwater Biology*, early view, doi:10.1111/j.1365-2427.2010.02477
- MENDELSON, R. & MARKOWSKI, M.** (Eds.). (2004). The impact of climate change on outdoor recreation in Mendelsohn, R. & Neumann, J.E. (eds.) *The impact of climate change on the United States economy*. Cambridge University Press
- RYPEL, A. L & DAVID, S.R.** (2017). Pattern and scale in latitude–production relationships for freshwater fishes. *Ecosphere* 8(1):e01660. 10.1002/ecs2.1660
- SCHINDLER D.E. & SCHEUERELL M.D.** (2002). Habitat coupling in lake ecosystems. *Oikos* 98, 177-189
- SCHINDLER, D.W.** (2009). Lakes as sentinels and integrators for the effects of climate change on watersheds, airsheds, and landscapes. *Limnol. Oceanogr.* 54(6), 2349-2358
doi:10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2349
- SUTELA, T. & VEHANEN, T.** (2017). The effects of acidity and aluminium leached from acid-sulphate soils on riverine fish assemblages. *Boreal Environment Research* 22, 385-391
- UMWELTBUNDESAMT** (2015). Bewirtschaftungspläne für die Periode 2016 bis 2021. Berichtportal WasserBLlck / Bundesanstalt für Gewässerkunde.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/zustand-der-seen#textpart-1>
- VADEBONCOEUR, Y., VANDER ZANDEN, M.J., & LODGE, D.M.** (2002). Putting the lake back together: Reintegrating benthic pathways into lake food web models. *Bioscience* 52(1), 44-54, doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0044:PTLBTR]2.0.CO;2

- VALDIVIA, K., JOUANNO, E., VOLFF, J. N., GALIANA-ARNOUX, D., GUYOMARD, R., HELARY, L. & GUIGUEN, Y.** (2014). High temperature increases the masculinization rate of the all-female (XX) rainbow trout "Mal" population. *PloS one* 9(12), e113355
- VANDER ZANDEN, M.J., CHANDRA, S., PARK, S., VADEBONCOEUR, Y. & GOLDMAN, C.R.** (2006). Efficiencies of benthic and pelagic trophic pathways in a subalpine lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 2608-2620
- WANKE, T, BRÄMICK, U. & MEHNER, T.** (2017). High stock density impairs growth, female condition and fecundity, but not quality of early reproductive stages in vendace (*Coregonus albula*). *Fisheries Research* 186, 159-167
- WRIEDT, G.** (2019). Grundwasserbericht Niedersachsen - Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation im Trockenjahr 2018. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Auswirkungen des Klimawandels auf die Karpenteichwirtschaft

Matthias Pfeifer

Dr. Gert Füllner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie

1. Einleitung

Der Sommer 2018 gab mit seinen außergewöhnlich langen Hitzeperioden durchaus Anlass zur Sorge. Vielerorts gab es große Trockenheit und Wassermangel. Niederschläge fielen nur sporadisch in Form von Gewitterschauern. Örtlich begrenzt fielen dann aber vielfach große Wassermengen in kurzer Zeit, die sehr rasch abflusswirksam wurden, weil der ausgetrocknete Boden die hohen Wassermengen der Regenschauer gar nicht aufnehmen konnte.

Für die Medien war der Hitzesommer natürlich das gefundene Ereignis, das nachrichtenarme „Sommerloch“ zu füllen. So titelten die Medien:

- „Fische leiden unter der Hitze – erste Verluste in Teichwirtschaft“
(Leipziger Volkszeitung 11.06.18)
- „Not-Abfischen in der Teichwirtschaft“
(Sächsische Zeitung 14.08.18)

- Teiche mit Zuchtfischen trocknen regelrecht aus
(Mitteldeutscher Rundfunk 11.07.18)
- „Kleine Fische, große Sorgen. Die extreme Dürre lässt sogar Bäche und Teiche austrocknen. Ein Ende ist nicht abzusehen.“
(Sächsische Zeitung 13.10.18)

Aber auch:

- „Am Horstsee ist fast alles eitel Sonnenschein. Fischverluste halten sich in Wermsdorf und Torgau trotz Trockenheit und hoher Temperaturen in Grenzen“
(Oschatzer Allgemeine Zeitung 09.08.18)
- „Tirschenreuth - Fische trotzen der Hitze“
(Oberpfalz TV 13.08.19)

Schuldige an der Sommerdürre waren auch rasch ausgemacht. Ursache ist natürlich der Klimawandel, an dem die Menschen selbst schuld sind. Wie so oft wurden in der Öffentlichkeit und den Medien Klima und Wetter in einen Topf geworfen. An dieser Stelle sollen deshalb beide Begriffe noch einmal definiert werden.

Unter Wetter versteht man den kurzfristigen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche, charakterisiert u. a. durch Sonnenschein, Bewölkung, Niederschlag oder Temperatur. Klima hingegen ist die statistische Bewertung der zeitlichen Entwicklung des Wetters (Bernier & Streif 2004). Der Begriff „Klima“

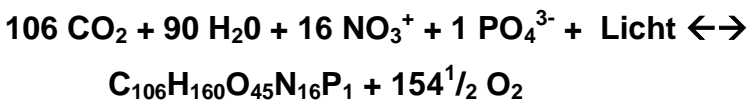
stammt aus dem Griechischen, bedeutet „sich neigen“ und meint ursprünglich die Klimagliederung der Erde in Abhängigkeit von der Neigung der Erdachse. Heute verstehen wir unter Klima die Gesamtheit der atmosphärischen Zustände und Vorgänge in einem hinreichend langen Zeitraum, beschrieben durch den mittleren Zustand (Mittelwerte) sowie die auftretenden Schwankungen (Streuung, Extremwerte usw.). Als hinreichend langer Zeitraum gelten bei Klimaforschern heute in der Regel 30 Jahre (Malberg 1997).

Tatsächlich hatte das Wetter des Sommers 2018 für die Karpfenteichwirtschaft natürlich einige Besonderheiten. Inhalt dieses Aufsatzes ist jedoch die Auswirkung des Klimawandels auf die Teichwirtschaft.

Karpfenteichwirtschaft als Aquakulturproduktion unter freiem Himmel ist in besonderem Maße von Vorgängen in der Atmosphäre abhängig. Das sind im Wesentlichen:

- Strahlung
- Lufttemperatur
- Niederschlag und Verdunstung
- Luftdruck

Extensive Warmwasserteichwirtschaft, wie unsere Karpfenteichwirtschaft, ist auf das auf die Erde auftreffende Sonnenlicht angewiesen. Die Primärproduzenten, die grünen Pflanzen im Teich, die Algen, aber auch die höheren Wasserpflanzen, benötigen das Sonnenlicht für die Photosynthese. Entsprechend der (vereinfachten) Summenformel



entsteht aus Kohlendioxid, Wasser und den Makronährstoffen Stickstoff und Phosphor Pflanzenbiomasse. Quasi als Nebenprodukt wird der für alle Lebensprozesse und eine erfolgreiche Fischproduktion notwendige Sauerstoff erzeugt.

Der infrarote Teil des Sonnenlichts (die Wärmestrahlung) ist außerdem für die Erwärmung des Wassers verantwortlich. Karpfenteiche haben nur eine geringe Wassertiefe. Die eingebrachte Strahlungsenergie muss deshalb nur einen relativ flachen Wasserkörper erwärmen. Die mittlere Wassertemperatur von Karpfenteichen ist aus diesem Grund höher, als die von tieferen Seen, in denen mit der gleichen Strahlungsmenge ein viel größeres Wasservolumen aufgeheizt werden muss. Extrem flache Teiche sind unsere Brutteiche, die sich im Mai bei der bereits hohen Strahlungsintensität, trotz noch kühler Lufttemperaturen, besonders rasch erwärmen sollen. Pro-

duktionsteiche sind tiefer, damit durch die nächtliche Abkühlung nicht zu viel der bereits akkumulierten Wärmemenge wieder an die Atmosphäre verloren geht. Bei den üblicherweise etwa einen Meter tiefen Karpfenteichen ist das gesichert. Wasser hat eine hohe spezifische Wärmekapazität. Deshalb ist die Tagesmitteltemperatur des Teichwassers stets höher, als das Tagesmittel der Lufttemperatur (Abbildung 1).

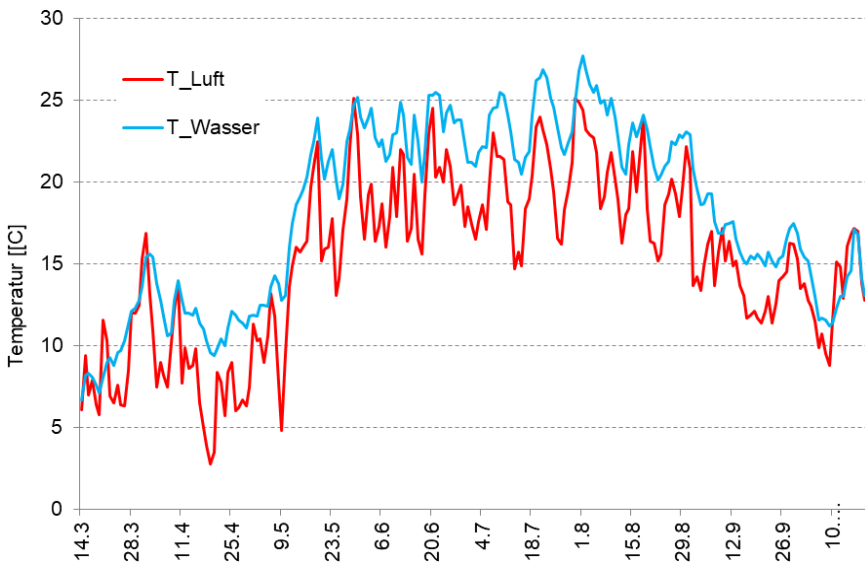


Abb. 1: Vergleich der Tagesmittel der Lufttemperatur und der Wassertemperatur eines Karpfenteiches (Versuchsteich #7 der Lehr- und Versuchsteichanlage (VTA) Königswartha 2017)

(Sonnen-) Strahlung, Luft- und Wassertemperatur stehen also in einem engen Zusammenhang. Bei Betrachtung längerer Zeiträume (Zehntage- oder Monatsmittel) ergeben sich zwischen Luft- und Wassertemperatur entsprechend sehr enge Korrelationen. Bei

einem Bestimmtheitsmaß von 0,91 erklären sich immerhin 91 % des Monatsmittels der Teichwasser-temperatur aus dem Zehntagesmittel der Lufttemperatur (Abb. 2).

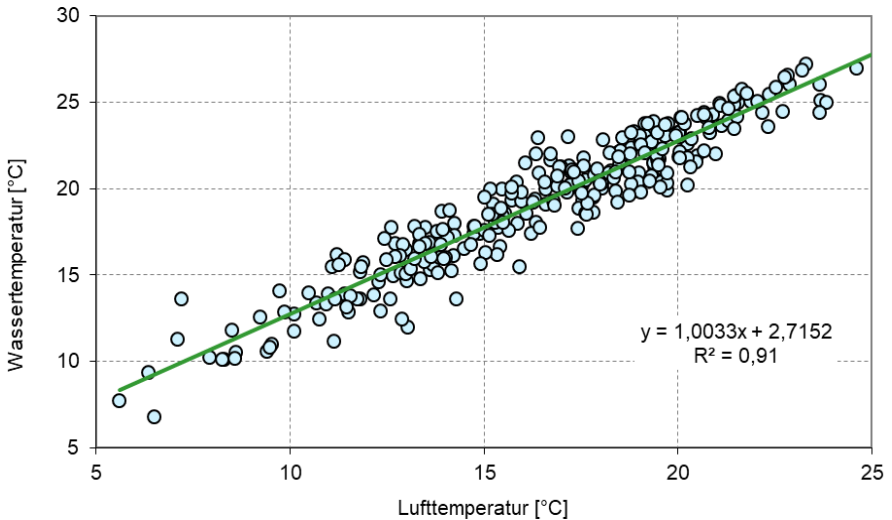


Abb. 2: Verhältnis der Lufttemperatur zu Teichwassertemperatur in der Lehr- und Versuchsteichanlage (VTA) Königswartha. Zehntagesmittel aus den Produktionsperioden von 1994 - 2018.

Für poikilotherme (wechselwarme) Tiere, wie unsere Fische, ist die Umgebungstemperatur entscheidend für ihre Stoffwechselaktivität. Grundsätzlich beschleunigt sich das Wachstum von Fischen bei steigenden Wassertemperaturen. Bei 30 ° C Wassertemperatur verdoppelt sich beispielsweise gegenüber 20° C gemäß der RGT-Regel (auch VAN'T HOFF'SCHE Regel) die Stoffwechselrate des Karpfens.

Jede Fischart hat einen optimalen Temperaturbereich, in dem Wachstum und Futterverwertung am effektivsten funktionieren. Für den wärmeliebenden Karpfen (*Cyprinus carpio*) ist das der Bereich zwischen 23 und 28°C. Wassertemperaturen von über 20° C werden in der Karpfenteichwirtschaft Mitteleuropas allerdings im Mittel nur in einem relativ kurzen Zeit-raum des Jahres erreicht (Abb. 3).

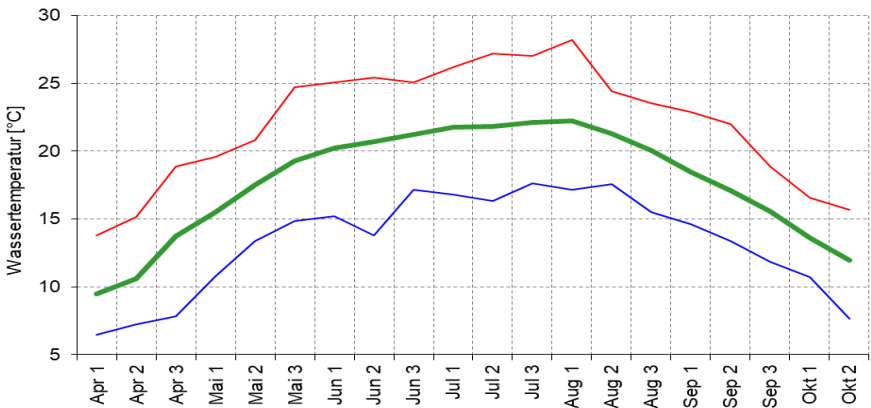


Abb. 3: Teichwassertemperatur an der Station Königwartha. Zeitraum 1959 bis 2018: Mittelwert, Maximum, Minimum von Zehntageszeiträumen (Dekaden)

Für extensiv bewirtschaftete Karpfenteiche wurde nachgewiesen, dass ein Grad Erhöhung der Wassertemperatur im Zeitraum Juni bis August für eine Ertragserhöhung von mehr als 100 kg/ha bei der K1-Aufzucht, 70 kg/ha bei der Satzkarpfenerzeugung und etwa 50 kg/ha bei der Speisekarpfenproduktion verantwortlich ist (Füllner 1990).

Höhere Teichwassertemperaturen in der Produktionsperiode sollten der deutschen Karpfen-teichwirtschaft deshalb prinzipiell zu Gute kommen. Höhere Wassertemperaturen im Sommer sind also vom Karpfenteichwirt prinzipiell erwünscht, da sie den Fischertrag steigern. Die erfolgreichsten Warmwasserteichwirtschaften der Welt befinden sich bekanntlich in den Subtropen, z. B. in China oder Israel.

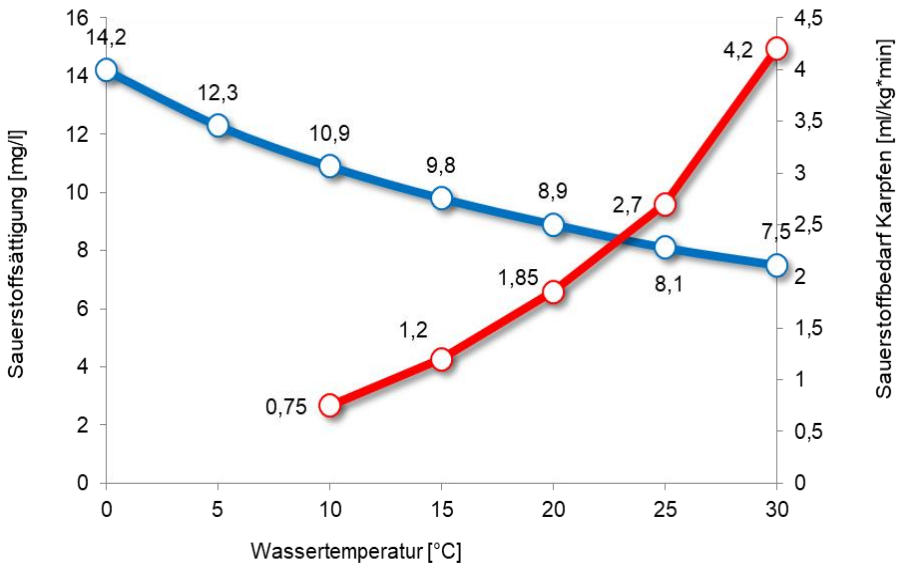


Abb. 4: Temperatur-Sauerstoffdilemma der Fische: Bei steigenden Temperaturen sinkt die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser. Gleichzeitig steigt der Sauerstoffbedarf der Fische an.

Hohe Temperaturen steigern aber auch die Verdunstung. Daraus ergibt sich ein höherer Wasserbedarf der Karpfenteichwirtschaften vor allem im Sommer. Hinzu kommt das Problem einer zunehmend unsicheren Sauerstoffversorgung bei höheren Wassertemperaturen. Bei steigenden Temperaturen sinkt die Löslichkeit des lebensnotwendigen Sauerstoffs, bei gleichzeitig steigendem Sauerstoffbedarf wegen der erhöhten Stoffwechselaktivität der Fische (Abb. 4).

Die Löslichkeit von Gasen im Wasser ist aber nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Druck des Gases abhängig (Tab. 1).

Tab. 1: Die Löslichkeit von Gasen im Wasser ist abhängig vom Druck, ihrem Partialdruck und von der Temperatur

Komponente	Luft	N ₂	O ₂	Argon	CO ₂
Volumenanteil in Luft (%)	100,0	78,09	20,95	0,93	0,04
Partialdruck in Luft [bar]	1,0132	0,7912	0,2123	0,0094	0,0004
Partialdruck im Wasser [bar] (0 m Wassertiefe)		0,78	0,21		
Partialdruck im Wasser [bar] (10 m Wassertiefe)		1,56	0,42		

Diese Zusammenhänge sind in der Karpfenteichwirtschaft nicht unbekannt und können in Folge von Gewitter im Extremfall sogar zu Fischsterben führen. Hier können Zehrungsprozesse, Druckabfall

und hohe Wassertemperaturen zu einer tödlichen Kombination führen:

Vor einem Sommergewitter gibt es in der Regel hohe Sonneneinstrahlung und in der Folge sehr hohe Wassertemperaturen. Die Primärproduzenten (die Algen) arbeiten auf Hochtouren und produzieren Sauerstoff, oft weit bis hin zu Übersättigungen, da ja der Sättigungswert bei hohen Temperaturen sehr niedrig liegt. Bei einem plötzlichen Gewitter verdunkelt sich die Sonne. Die gerade noch vorhandenen Übersättigungen werden vom stürmischen Gewitterwind physikalisch aus dem Teich ausgetrieben. Durch den rasch sinkenden Luftdruck sinkt der Partialdruck des Sauerstoffs und damit der Sättigungswert auch im Wasser weiter. Die Sauerstoffproduktion der Primärproduzenten geht gegen null oder die Atmung der Algen übersteigt sogar deren Assimilation, so dass auch sie zu Sauerstoffverbrauchern werden. Dieses Temperatur-Gasdruckproblem tritt zunehmend auf, wenn die Sommer heißer und wechselhafter werden.

Die extensive Karpfenteichwirtschaft in Deutschland ist also in starkem Maße von atmosphärischen Vorgängen und Zuständen abhängig. Im Folgenden sollen den Fragen nachgegangen werden, wie sich der Klimawandel in der Teichwirtschaft darstellt, und welche Folgen eine gleichbleibende Entwicklung auf die Karpfenteichwirtschaft hätte.

2. Methodik

Grundlage für die Analyse sind Daten der Wetterstation der Lehr- und Versuchsteichanlage in Königswartha. Hier erfolgt seit 1959 eine kontinuierliche Messung der Teichwassertemperaturen jeweils in 10 cm Wassertiefe und 10 cm über dem Grund.

Anfangs erfolgte die kontinuierliche Wassertemperaturmessung mit schreibenden Geräten, heute werden alle Werte im Sekundentakt gemessen und online auf den PC-Arbeitsplatz übertragen. Die aktuell eingesetzte vollautomatische Wetterstation der Firma TOSS (Potsdam) ist in das Agrarmeteorologische Messnetz des Freistaats Sachsen eingebunden und zeichnet neben der Teichwassertemperatur in verschiedenen Wassertiefen auch Lufttemperaturen (2 m und 0,2 m über Grund), Bodentemperaturen (in 5 cm und 20 cm Tiefe), die Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Luftfeuchtigkeit sowie Niederschlagsmengen und –intensität auf. Die Station befindet sich auf 51° 18' 21" nördlicher Breite und 14° 18' 22" östlicher Länge in der Lehr- und Versuchsteichanlage im Ortsteil Entenschenke in einer Höhe von 135 m ü. NN (Abb. 5). Die Datenauswertung erfolgt mit der zugehörigen Software UK-TOSS Basic, Version 3.2.



Abb. 5: Wetterstation in der Lehr- und Versuchsteichanlage Königwartha

Durch die seit 1959 nahezu ununterbrochene Messung steht für die Produktionsperiode (Zeitraum Mai bis September) ein für Deutschland einmaliger Datenbestand zu Verfügung. Außerdem betreibt der Deutsche Wetterdienst in Königwartha seit 1964 eine Niederschlagsmessstation, so dass auch zu Niederschlägen ein ausreichend langjähriger Datensatz vorhanden ist, der Aussagen zum Klima und dessen Änderungen zulässt.

Die vorhandenen Daten waren auch Grundlage für das landeseigene Projekt Klimawandel und Teichwirtschaft, welches im Jahr 2017 abgeschlossen wurde. Im Rahmen dieses Projekts wurden

anhand der aufgezeichneten Daten Modelle zur Entwicklungen des Temperatur- und Wasserhaushalts in für die sächsischen Karpfenteichwirtschaftsbetriebe relevanten Regionen für die nächsten Jahre erstellt (Hausmann et al. 2018).

Die Datenauswertung der Teichwassertemperaturen beschränkt sich aber nicht nur auf die tatsächlich gemessenen Daten aus der Zeit von 1959 bis 2018. Für die Beziehungen zwischen der Temperatur der Luft und des Teichwassers liegen inzwischen hochsignifikante Korrelationen mit einem sehr hohen Bestimmtheitsmaß vor (Abb. 6). Das Bestimmtheitsmaß der Korrelation zwischen Wasser- und Lufttemperatur beträgt immerhin 0,91. Damit werden 91 % der Variation der Teichwassertemperatur durch die Lufttemperatur erklärt.

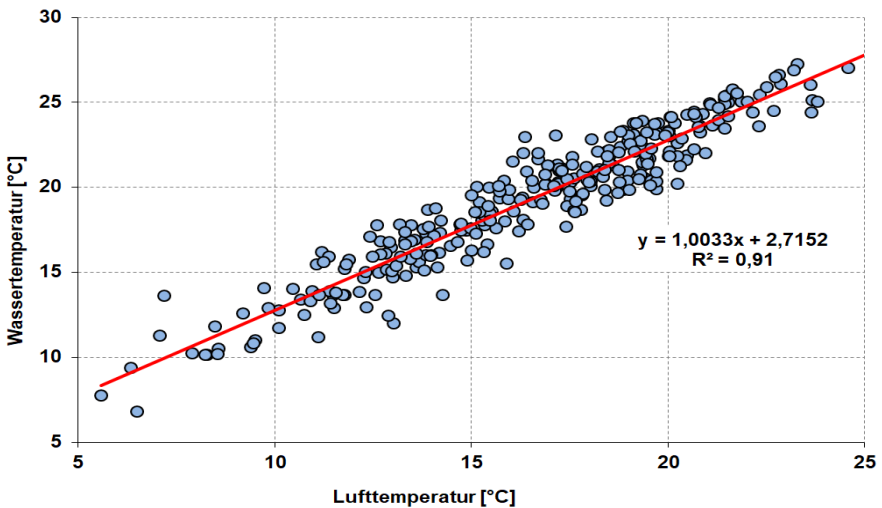


Abb. 6: Korrelation zwischen Lufttemperatur und Teichwassertemperatur (Zehntagesmittelwerte). Station Königswartha Daten aus dem Zeitraum Mai 2000 bis Juni 2019.

Um längerfristige klimatologische Betrachtungen für die Teichwirtschaft anzustellen, können Temperaturmittel der Wassertemperatur mit dieser Funktion recht genau zurück berechnet werden. Dafür werden möglichst lange zurückreichende Daten für die Monatsmittel der Lufttemperatur benötigt. Von Königswartha nächstgelegenen Stationen des Deutschen Wetterdienstes liegen leider nur episodische Datensätze vor (z. B. Stationen Hoyerswerda, Bad Muskau) oder die Stationen liegen in einer anderen Meereshöhe (Kubschütz).

Der am weitesten zurückreichende Datensatz für die Lufttemperatur in Deutschland steht im Climate Data Center (CDC) des Deutschen Wetterdienstes für die Station Berlin-Dahlem zur Verfügung (DWD 2019). Das CDC listet für Dahlem Daten seit dem Jahr 1719 auf. Die Station Berlin-Dahlem liegt 51 m ü. NN hoch und ist nur 170,9 km Luftlinie von Königswartha entfernt (Koordinaten N52°45'37 E13°30'17). Da Berlin-Dahlem von der Meereshöhe und auch klimatologisch mit dem Standort Königswartha durchaus vergleichbar ist, ist die Korrelation zwischen den gemessenen Monatsmittelwerten der Teichwassertemperatur und dem Monatsmittel der Lufttemperatur in Berlin-Dahlem mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,75 immer noch recht hoch (Abb. 5). Daher lag es nahe, aus den Monatsmitteln der Lufttemperatur für Berlin-Dahlem unter Zuhilfenahme dieser Korrelation die Teichwassertemperaturen für den Standort Königswartha für diesen produktionsentscheidenden Zeitraum bis ins Jahr 1719 zurück zu berechnen.

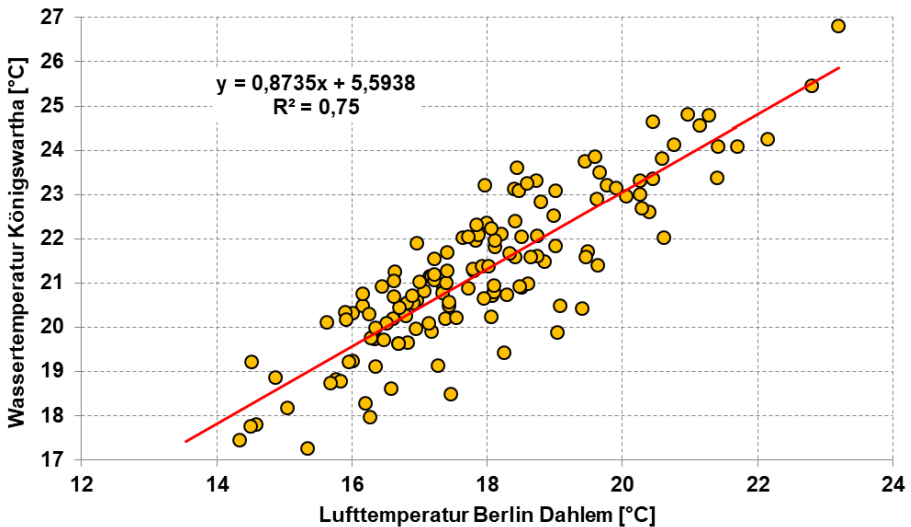


Abb. 5: Korrelation zwischen den tatsächlich gemessenen Monatsmitteln (Juni, Juli und August) der Teichwassertemperatur in der VTA Königswartha und der Lufttemperatur für die Station Berlin-Dahlem des DWD für den Zeitraum 1959 – 2018

3. Ergebnisse

3.1 Wassertemperatur

Abb. 8 stellt die Entwicklung der mittleren Teichwassertemperaturen im produktions-entscheidenden Zeitraum Juni bis August auf Grundlage der am Standort Königswartha gemessenen Daten dar. Interessanterweise tendiert die Teichwassertemperatur in Königswartha in den vergangenen 60 Jahren nicht nur in eine Richtung (Abb. 4). Vielmehr ist für den Zeitraum 1959 bis 1980 eine negative Tendenz und erst ab dem Jahr 1980 ein Anstieg bei den Teichwassertemperaturen zu erkennen. Eine nahezu identische

Entwicklung beschreibt Szu-Miec (2005) für die Versuchsteiche der Station Gołysz der Polnischen Akademie der Wissenschaften (südlich Katowice).

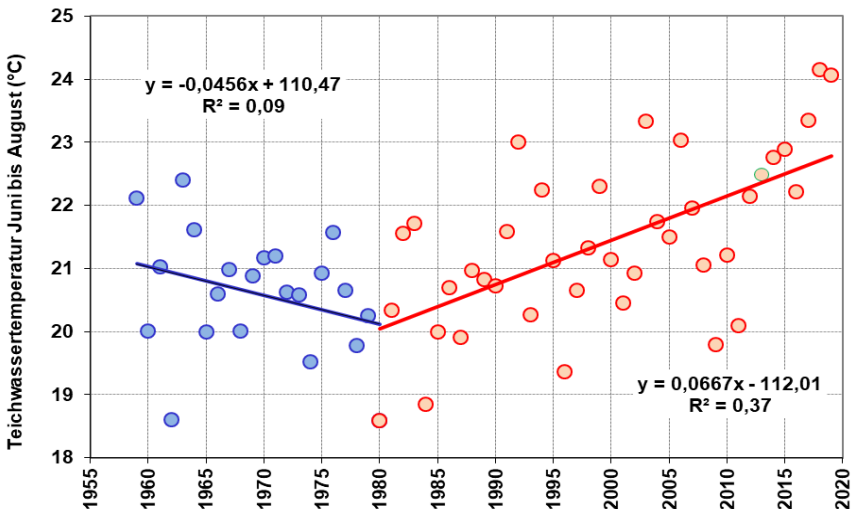


Abb. 8: Mittlere Teichwassertemperatur an der Station Königswartha in den Monaten Juni bis August im Zeitraum 1959 bis 2019. Wassertemperaturmessung in 10 cm Wassertiefe. Blaue Punkte: Werte bis einschließlich 1980, rote Punkte: Werte ab 1981.

Tatsache bleibt aber, dass wir seit 1980 einen markanten Anstieg bei den mittleren Teichwassertemperaturen in Mitteleuropa verzeichnen können. Gerade in den letzten zehn Jahren häufen sich die Jahre mit den höchsten Wassertemperaturen (Tab. 2). Sofort fällt natürlich auf, dass die Jahre 2018 und 2019 hier eine absolute Spitzenposition einnehmen und erst auf Rang 6 ein Jahr im vergangenen Jahrhundert (1992) in dieser Rangliste auftaucht. Sind das noch besondere Witterungssituationen oder sind das die

Auswirkungen eines Klimawandels? Die Frage wird beantwortet, wenn man die Spreizung der Daten verkleinert, indem man den Zeitraum der Betrachtung verlängert.

Tab. 2: Die zehn Jahre mit den höchsten Teichwassertemperaturen für den Zeitraum Juni bis August (Station Königswartha, Daten aus 1959 – 2019)

Rang	Jahr	Mittlere Teichwassertemperatur Juni bis August (°C)
1	2018	24,16
2	2019	24,06
3	2017	23,35
4	2003	23,34
5	2006	23,03
6	1992	23,01
7	2015	22,88
8	2014	22,75
9	2013	22,49
10	1995	22,40

In Abb. 9 werden die aus den Lufttemperaturen für Berlin-Dahlem zurück berechneten Teichwassertemperaturen für Königswartha für den Zeitraum ab 1719 dargestellt.

Deutlich bleibt, dass wir es in den letzten Jahren mit einer Klimaerwärmung zu tun haben. Allerdings relativiert sich diese mit Blick auf vergangene Jahrhunderte. Eine ähnliche Warmphase gab es auch schon zwischen 1770 und 1790 sowie um 1830. Der Sommer

2018 bleibt aber ganz offensichtlich einer der heißesten der nachvollziehbaren Vergangenheit.

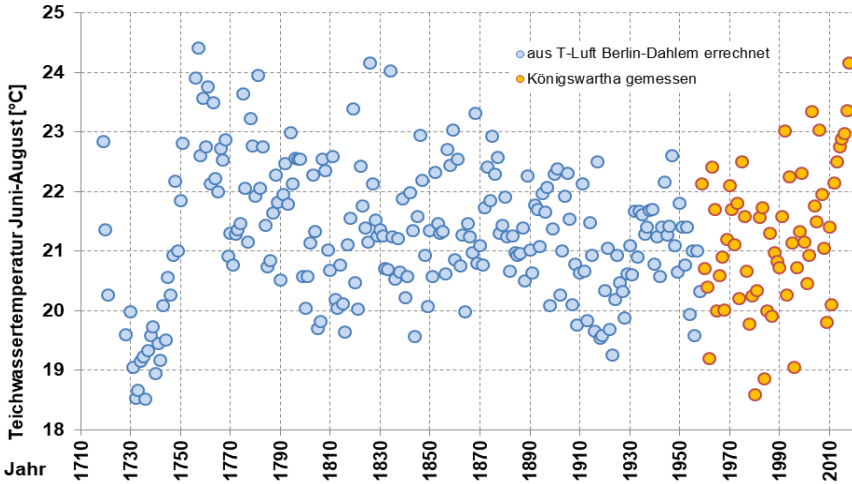


Abb. 9: Teichwassertemperaturen für den Zeitraum Juni - August aus Monatsmittelwerten der Lufttemperatur Station Berlin-Dahlem zurückgerechnet (ab 1719) bzw. Messwerte VTA Königswartha (ab 1959). Quelle der Daten für Berlin-Dahlem: DWD (2019).

Aus der Abbildung wird auch deutlich, dass wir von 1870 bis 1980 in der Zeit einer relativen Klimakonstanz gelebt haben, die nun vorüber zu sein scheint. Vor 1870 gab es definitiv größere und vor allem raschere Klimaänderungen! Zwischen 1736 und 1757 stieg die Teichwassertemperatur in nur 20 Jahren im Sommer von 18,5 °C auf 24,4°C um fast 6 K an! Für eine vergleichbare Entwicklung zwischen 1980 (18,6°C) und 2018 (24,2°C) brauchte es aktuell fast 40 Jahre.

3.2 Niederschlag

Die Niederschlagentwicklung kann, anders als die der Temperaturen, nur auf Basis der Daten der Station Königswartha dargestellt werden. Niederschläge anderer Stationen zu längerfristigen Vergleichen heranzuziehen, wie bei der Temperatur praktiziert, wäre gerade wegen der üblicherweise im Sommer kleinteiligen Gewitterereignisse unseriös.

Bis 2006 liegen Daten des Deutschen Wetterdienstes für die Station Königswartha vor. Ab 2007 werden Daten der Wetterstation des LfULG dargestellt (Abb. 6). Deutlich wird eine Zunahme der Niederschläge in den letzten Jahren. Weil aber ab 1980 auch die Wassertemperaturen angestiegen sind, stieg natürlich auch die Verdunstung. Zieht man die Bilanz aus Niederschlag und Verdunstung (hier nach HAUDE), führt das in einem „normalen Jahr“, wie 2017 immer noch zu einer ausgeglichenen oder sogar positiven Niederschlagsbilanz, die die Grundwasservorräte auffüllt (Abb. 7). In einem Sommer, wie 2018 wird die Bilanz aber stark negativ (Abb. 8).

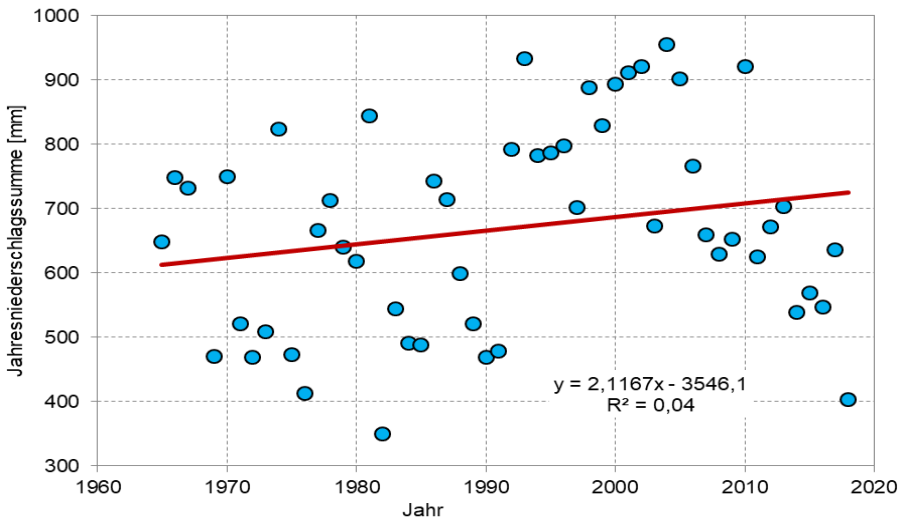


Abb. 6: Jahresniederschlagssummen der Station Königswartha des DWD (1994 -2006) bzw. der Wetterstation des LfULG (2007 - 2018)

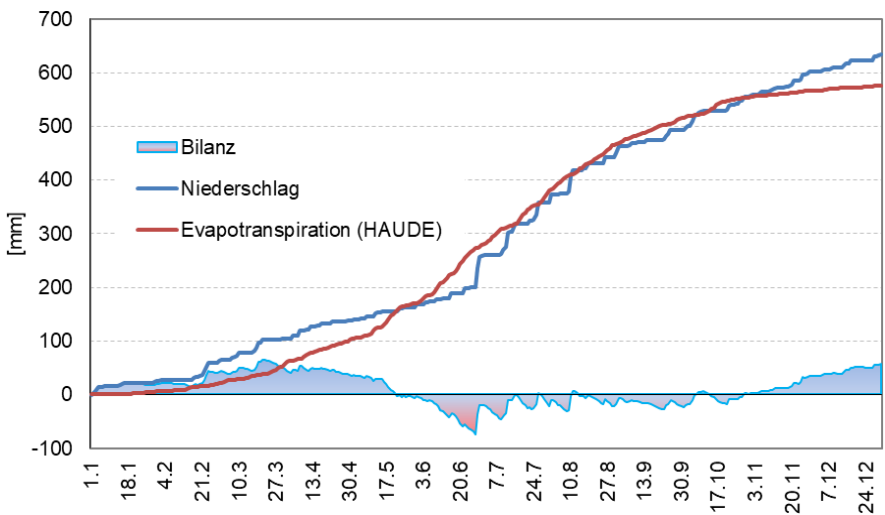


Abb. 7: Wasserbilanz: Niederschlag – Verdunstung (Evapotranspiration [Haude]) Königswartha 2017

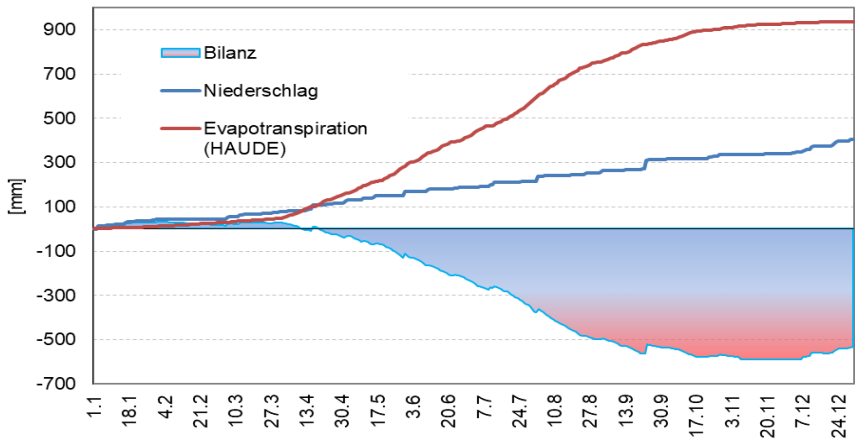


Abb. 8: Wasserbilanz: Niederschlag – Verdunstung (Evapotranspiration [Haude]) Königswartha 2018

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die für die Kurven der Abb. 7 und 8 verwendete potentielle Evapotranspiration nach HAUDE nur maximale theoretische Werte für die Verdunstung abbildet. Sie ist ein Rechenwert, den die Software UK-TOSS Basic automatisch für den Standort VTA Königswartha berechnet und welche die maximale Verdunstung bei einem theoretisch unbegrenzten Wasservorrat angibt. Sie darf nicht mit der tatsächlichen (aktuellen) Verdunstung verwechselt werden. Die tatsächliche Verdunstung kann maximal gleich groß wie die potentielle sein, liegt aber in der Regel deutlich darunter, da ja aus einem Boden, der gar kein Wasser mehr enthält, auch keins mehr

verdunsten kann. Die Wasserbilanz für beide dargestellte Jahre ist also tatsächlich etwas günstiger.

Bei anhaltendem Temperaturtrend könnte also die Wassersituation in unseren Teichwirtschaften im Sommer noch angespannter werden. Vor allem Himmelsteiche sind auf den Niederschlag ihres sehr kleinen Einzugsgebiets angewiesen und deshalb künftig wohl häufiger vom Wassermangel bedroht. Bei Flussteichen könnte die Wasserversorgung weiter ausreichend sein, insbesondere bei solchen Teichen die unterhalb von Talsperren kontinuierlich mit ausreichend Zuflusswasser versorgt werden können.

Örtlich können Starkregenereignisse aber auch zu Überschwemmungen führen. Damit können Fischbestände nicht wie geplant abgefischt werden oder können bei Überspülung der Dämme sogar aus Teichen entweichen.

Die Wasserbilanz wird auch davon abhängen, wie intensiv wir unsere Karpfenteiche in den nächsten Jahren nutzen und wie viel Verlandung wir hier zulassen. Hält, aus welchen Gründen auch immer, der Trend zu einer weiteren Extensivierung der Produktion an, beschleunigt sich die Verlandung der Teiche. Herbst & Kappen (1999) wiesen nach, dass die Verdunstung von Schilfflächen um 50 bis 100 % höher ist, als die einer freien Wasserfläche.

4. Folgen des Klimawandels für die Karpenteichwirtschaft

Folgt man den gängigen Klimamodellen, ist für die nächste Zukunft mit weiter ansteigenden Temperaturen im Sommer und Winter sowie mit einer Zunahme der Jahresniederschläge zu rechnen.

Wie dargestellt wurde, könnte eine solche Entwicklung sowohl positive, wie auch negative Auswirkungen auf die Karpenteichwirtschaft haben.

In der Produktionsperiode sind grundsätzlich ein besseres Wachstum der Karpfen und ein höherer Fischertrag zu erwarten. Höhere Wassertemperaturen haben auf den Verlauf der meisten Fischkrankheiten prinzipiell positive Effekte. Bei hohen Temperaturen funktioniert das Immunsystem der Fische besser. Immunantworten auf verschiedene Erreger erfolgen rascher. Krankheiten, die an niedrige Temperaturen gebunden sind, wie z. B. die Frühjahrsvirämie (SVC) dürften weiter an Bedeutung verlieren. Mit Stress verbundene hohe Temperaturen oder starke Temperaturschwankungen können aber auch den akuten Ausbruch einzelner Krankheiten, wie z. B. die KHV, auslösen. Wassertemperaturen über 30 °C könnten wiederum sogar dazu führen, dass Karpfen eine Immunität gegenüber Viren erwerben können, ein Verfahren, welches aus Israel zum KHV-Immunsierung bekannt wurde (Ronen et al. 2005).

Parasitosen sind in gleicher Weise temperaturabhängig, werden aber wegen der zu erwartenden mildereren Winter häufiger auftreten, da Zwischenwirte und diverse Entwicklungsstadien wegen ausbleibender Starkfrost in größerer Zahl überleben können.

Wegen des beschriebenen Temperatur-Sauerstoffdilemmas der Fische bei hohen Wassertemperaturen und häufigeren Gewitterereignissen werden verstärkt Sauerstoffmangelsituationen auch bei niedrigem Intensitätsniveau der Produktion auftreten. Durch Wassermangel für die Befüllung der Teiche oder im Sommer sind Notabfischungen häufiger zu befürchten.

Während im Sommer durch die „ungarischen“ Verhältnisse, auf die deutsche Karpfenteichwirte noch vor wenigen Jahren neidisch blickten, grundsätzlich eher mit positiven Effekten zu rechnen ist, überwiegen im Winter wohl die negativen Änderungen. Die über einen langen Zeitraum fehlende Eisbedeckung setzt die in Winterruhe befindlichen Karpfen einem wesentlich längeren und intensiveren Druck durch Prädatoren aus. Diese Beunruhigung und die generell höheren Wintertemperaturen führen durch die höhere Stoffwechselintensität der Fische zu einem stärkeren Verbrauch von Reservestoffen. Andererseits sind durch fehlende Eisbedeckung im Winter geringere Verluste durch akuten Sauerstoffmangel zu erwarten, die bei Dauerfrost mit Eisbedeckung und/oder lichtdichten

Schneeeauflagen und durch Frost verminderten Zuflüssen in der Vergangenheit durchaus auftreten konnten.

5. Anpassungsstrategien der Karpfenteichwirtschaft an den Klimawandel

Karpfenteichwirtschaft ist Tierproduktion unter freiem Himmel. Trotzdem ist der Bewirtschafter dem Wetter und dem sich ändernden Klima nicht schutzlos ausgeliefert. Vielmehr bestehen Möglichkeiten, den sich den ändernden Witterungsbedingungen anzupassen.

Um Wassermangel entgegen zu wirken, gewinnen wassersparende Abfischungen an Bedeutung. So kann das Ablaufwasser von oberliegenden Teichen in den untenliegenden Teichen wieder aufgefangen werden, um für die Winterung oder die folgende Aufzuchtperiode weiter genutzt zu werden. Generell sollte in wasserunsicheren Abwachsteichen so rasch wie möglich nach der Herbstabfischung mit dem Wiedereinstau begonnen werden.

Um die Verdunstung zu minimieren, müssen Schilf und andere Gelegepflanzen konsequent kurzgehalten werden. Schilfschnitt gewinnt an Bedeutung!

Trotz aller bekannten Nachteile kann zur Gewährleistung einer weniger vom Wasserdargebot abhängigen Produktion auch ein mehrjähriger Umtrieb (z. B. Besatz von einsömmerigen Karpfen und Abfischung dreijähriger Speisekarpfen) sinnvoll sein.

Auch wenn ausreichend Wasser zur Verfügung, sind Anpassungsstrategien der Teichbewirtschaftung allein wegen der Temperaturänderungen erforderlich. Das betrifft zum Beispiel die Fütterung. Wegen der sich verlängernden Produktionszeit und der Tendenz zu Sauerstoffmangel im Spätsommer ändert sich die „klassische“ Futterverteilung, die noch vor wenigen Jahren zumindest in der ostdeutschen Teichwirtschaft Standard war (Schäperclaus 1961, Steffens 1979). Bei den aktuellen Temperaturbedingungen kann nun aber auch in Deutschland mit der Getreidezufütterung bereits eher begonnen werden. Die Futtermenge im August reduziert sich wegen der häufigeren „futterfreien“ Tage wegen des zeitweiligen Sauerstoffmangels. Damit nähert sich die Futterverteilungskurve den Empfehlungen ungarischer Autoren Horvarth et al. (1979) aber auch der von Walter (1928) an.

Aus den gleichen Gründen sollten in der Karpfenteichwirtschaft auch bei extensiver Bewirtschaftung flexibel einsetzbare Notbelüftungssysteme bereitgehalten werden. Die Gefahr des Sauerstoffmangels kann aber auch reduziert werden, indem die Produktion von Karpfenmonokulturen auf Polykulturen mit pflanzen- und

sestonfressenden Cypriniden umgestellt wird, wie das in der subtropischen asiatischen Warmwasserteichwirtschaft nicht zufällig praktiziert wird. Silber- und Marmorkarpfen bewirken durch die Aufnahme der großen Algenpartikel eine ständige Verjüngung des Phytoplanktons, was einen Zusammenbruch der Algenpopulation durch Überalterung und bei spätsommerlichen Lichtmangel weniger wahrscheinlich macht.

Werden wegen Wassermangels einzelner Teiche sommerliche Notabfischungen häufiger oder sogar regelmäßig erforderlich, muss eine Sömmerung oder sogar eine dauerhafte Trockenlegung (Auflassen des Teichs) in Betracht gezogen werden, auch wenn solchen Maßnahmen heute noch naturschutzrechtliche und/oder förderrechtliche Bedenken entgegenstehen.

Auch in der Winterung sind Anpassungen notwendig. In wärmeren Wintern ohne Eisbedeckung ist die Fütterung der Fische nicht nur möglich, sondern je nach Temperatur sogar erforderlich, um den erhöhten Energiebedarf der überwinternden Karpfen zu ergänzen. Dabei sind unbedingt eiweißreiche, am besten vollwertige Futtermittel einzusetzen, da Kohlenhydrate vom Karpfen bei niedrigen Wassertemperaturen nur sehr schlecht verdaut werden können (Schade 1982).

Die Anstrengungen im Winter zur Prädatorenabwehr müssen erhöht werden, wenn sich die Anzahl der Tage mit Eisbedeckung verringert.

6. Diskussion

Die Karpfenteichwirtschaft erlebt in den letzten Jahren eine Änderung der Wetterbedingungen. Seit 1980 ist an der Wetterstation Königswartha, wie auch an anderen Stationen in Mitteleuropa ein fast kontinuierlicher Anstieg der sommerlichen Wassertemperaturen gemessen worden. Eine ähnliche Tendenz ergibt sich bei Betrachtung der Wassertemperaturentwicklung ab dem Jahr 1881. Dieses Jahr wird heute als Startpunkt regelmäßiger Wetteraufzeichnungen angesehen und ist die Grundlage der meisten Klimamodelle mit Projektionen in die Zukunft. Nutzt man noch ältere Wetteraufzeichnungen und spreizt somit die Zeitreihe weiter, wird deutlich, dass die jetzige sommerliche Warmphase kein ungewöhnliches und schon gar nicht einmaliges Ereignis ist. Für Klimabetrachtungen ist eben immer der Zeitraum der Betrachtung von entscheidender Bedeutung!

Auch die Klimaschwankungen in der Vergangenheit hatten selbstverständlich Auswirkungen auf die Karpfenteichwirtschaft im Gebiet des heutigen Deutschland. Erwähnenswert sind die Auswirkungen extrem niedrigen Sommertemperaturen um 1730, die

nach der wahrscheinlich noch kälteren Kleinen Eiszeit (1675 - 1715) nicht nur in Deutschland, sondern offenbar in ganz Mitteleuropa zu einem massiven Rückgang für die Karpfenteichwirtschaft genutzten Teichflächen führte (Szumiec & Augustyn 2000). Eine ähnliche negative Entwicklung gab es erneut im kühlen Zeitraum 1810 bis 1830 und nochmals zwischen 1843 und 1883, wobei die Ursachen der letzten massiven Aufgabe von Teichen nicht scharf von den politischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen getrennt werden können. Ökonomische Blütezeiten hatte die Karpfenteichwirtschaft andererseits immer in Warmzeiten, wie z.B. nachweislich um 1755 (Hartstock 2004).

7. Fazit

Die Karpfenteichwirtschaft hat sich in ihrer Geschichte nicht nur an politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, sondern stets auch an die Veränderungen des Klimas anpassen müssen. Durch zweckmäßige Anpassung der Bewirtschaftung sollte das auch in der Zukunft gelingen.

Literatur:

- BERNER, U., STREIF, H. (2004):** Klimafakten. Der Rückblick – Ein Schlüssel für die Zukunft. E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller) Stuttgart: 259 S.
- DWD (2019): DWD Climate Data Center (CDC):** Monatsmittel von Stationsmessungen der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C, abgerufen am 26./27.06.2019
- FÜLLNER, G. (1988):** Zum Temperaturverlauf 1987 aus der Sicht der Karpfenteichwirtschaft. Z. Binnenfischerei DDR 35 (7): 226-231
- FÜLLNER, G. (1990):** Der Temperaturverlauf 1989 und die Auswirkungen der Witterung auf die Karpfenteichwirtschaft. Z. Binnenfischerei DDR 37(4)
- HARTSTOCK, E. (2004):** Teichwirtschaft in der Oberlausitz. Abriß der Geschichte von den Anfängen bis 1945. Lusatia Verlag Bautzen Dr. Stübner & Co. KG. 392 S.
- HAUSMANN, A. , BALLMANN, H., BÄHRISCH, S., BÖHM, A., FRANKE, J., VÖLLINGS, A., FÜLLNER, G., JOHN, I., THIEM, A., KUHN, K., SCHREYER, R. (2017):** Auswirkungen des Klimawandels auf die Perspektiven in der sächsischen Teichwirtschaft. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: 41 S.
- HERBST, K. & KAPPEN, L. (1999):** The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions. Aquatic Botany 63 (2): 113-125
- HORVATH, L, TAMÁS, G., SEAGRAVE, C. (2002):** Carp and Pond Fish Culture. Fishing New Books: 170 S.
- MALBERG, H. (1997):** Meteorologie und Klimatologie. Springer Berlin Heidelberg New York: 354 S.
- RONEN, A., PERELBERG, A., HOTORAN, M., SHAPIRA, Y., STEINITZ, M., SIVAN, B.L., PIKARSKY, E., KOTLER, M. (2005):** Prevention of a Mortal Disease of Carps Induced by the Carps Interstitial Nephritis and Gill Necrosis Virus (CNGV) in Israel. Bull. Fish. Res. Agen. Yokohama. Suppl. 2: 9-11

- SCHÄPERCLAUS, W.** (1961): Lehrbuch der Teichwirtschaft. 2. Aufl. Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg: 582 S.
- SCHADE, R.** (1982): Untersuchungen zur Nahrungsausnutzung im Darm von Karpfen (*Cyprinus carpio* L.). Arch. Hydrobiol. Suppl. 59: 377-414
- STEFFENS, W** (1979): Industriemäßige Fischproduktion. – VEB Dtsch. Landw. Verlag Berlin: 375 S.
- SZUMIEC, M.A.** (2005): Climate warming and the growth of warm water fish in ponds in the temperate zone. Arch. Pol. Fish. 13 (1): 91-98
- SZUMIEC, M.A., AUGUSTYN, D.** (2005): Climate and Ponds Since the Middle Ages. Prace Geograficzne 108: 87-92
- WALTER, E.** (1934): Grundlagen der allgemeinen fischereilichen Produktionslehre. in: DEMOLL/MAIER: Handbuch der Binnenfischerei Mitteleuropas Bd. IV. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung Stuttgart: 483 – 662

Perspektive der Forellenzucht in Zeiten von Wasserknappheit und Erwärmung

Dr. Alexander Brinker
FFS Langenargen

Die Forellenerzeugung in Deutschland

Seit Jahrzehnten ist die Zucht von Salmoniden das Rückgrat der landbasierten Aquakultur in Deutschland. Jährlich werden laut statistischem Bundesamt rund 10.000 Tonnen bundesweit erzeugt, davon fallen auf die Regenbogenforelle mit knapp 80 Prozent das Gros der Produktion, auf Bachforelle und Saibling zusammen ca. 20 % (Brämick, 2018). Die Zucht von Salmoniden hat sich ursprünglich aufgrund der gut geeigneten naturräumlichen Gegebenheiten in vielen Regionen Deutschlands etabliert, und zwar überall dort, wo relativ kühles sauerstoffreiches Quell- und Oberflächenwasser zur Verfügung steht. Die Struktur der deutschen Aquakultur hat sich in den letzten Jahrzehnten kaum verändert. Überdurchschnittlich viele Betriebe sind nach wie vor in Familienbesitz und erzeugen bereits in dritter oder vierter Generation Fisch; der Vertrieb der Produkte erfolgt häufig regional, oft über den eigenen Hofladen, also in Direktvermarktung. Trotzdem sind viele Betriebe hochtechnisiert und setzen auf zeitgemäße züchterische Methoden.

Hervorragende Ökobilanz von heimischem Zuchtfisch

Die Ökobilanz der Erzeugung von Salmoniden schneidet im Vergleich zu anderen Sektoren der Tierzucht hervorragend ab, was hauptsächlich zwei Gründe hat: Zum einen sind Fische wechselwarme Tiere und müssen somit keine Energie aufwenden, um ihre Körpertemperatur aufrecht zu erhalten, und zum anderen benötigen sie aufgrund ihrer „schwebenden“ Lebensweise im Wasser keine schweren Skelettstrukturen – beides führt dazu, dass ein Großteil der aufgenommenen Futterenergie in Wachstum investiert werden kann und der essbare Anteil am Gesamtgewicht prozentual hoch ist. Dies trifft besonders auf Salmoniden zu, auch weil diese bereits seit Jahrzehnten züchterisch eine Weiterentwicklung durchlaufen. So zeigen z. B. Regenbogenforellen bei guten stressfreien Bedingungen eine hervorragende Futterverwertung und sind in der Lage aus 800 g Futter 1 kg Zuwachs zu erzielen. Diese Ressourceneffizienz gepaart mit der Erzeugung vor Ort und einer regionalen Vermarktung, macht aus heimisch erzeugtem Fisch ein Produkt, das beim Verbraucher großen Anklang findet und eine hervorragende Klimabilanz aufweist (Abb. 1). Doch der Selbstversorgungsgrad mit Fisch in Deutschland ist äußerst gering, so müssen rund 50 % der Regenbogenforellen, immerhin der am häufigsten erzeugte Fisch in der Bundesrepublik, importiert werden, um die Binnennachfrage zu decken (Brämick, 2018). Dieser Umstand wurde bereits vor Jahren erkannt und entsprechende Ziele ausgearbeitet und formuliert, die in

einem nationalen Strategieplan für die Aquakultur mündeten (BMEL, 2014). Eine zentrale Forderung dieses Strategiepapiers war, dass die Abhängigkeit von Importen zumindest für den Hauptfisch der Aquakultur in Deutschland, der Regenbogenforelle, verringert werden soll. Hierfür wurde eine Steigerung der Produktionsmenge auf 20 000 Tonnen anvisiert.

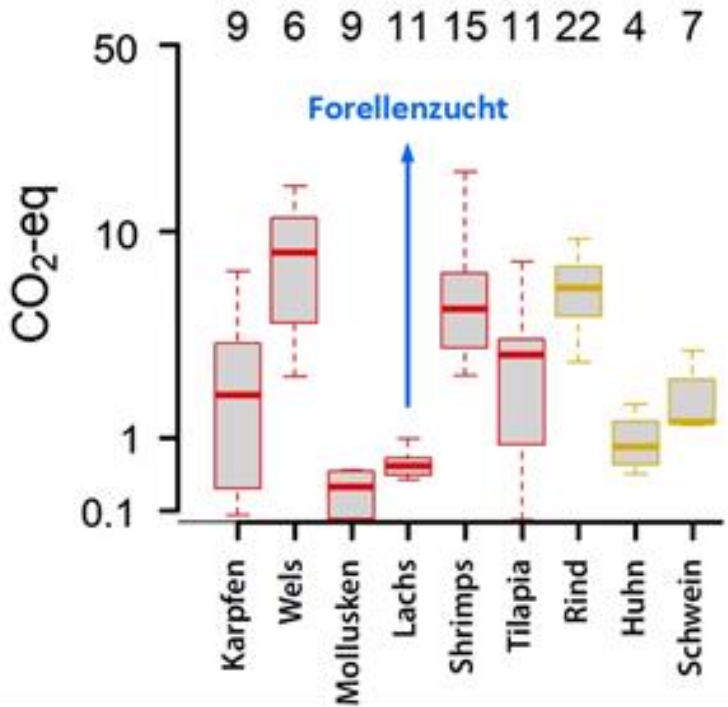


Abb. 1: CO₂-Emissionen einzelner Nutztierarten (emittierte CO₂-Äquivalente) im Vergleich (je 40 g Protein), obere Zahlenreihe: Anzahl der berücksichtigten Studien; verändert nach Hilborn (2018)

Auswirkungen des Klimawandels immer stärker spürbar

Seit Veröffentlichung des Nationalen Strategieplans 2014 hat die Aquakultur in Deutschland kaum Fortschritte gemacht, ganz im Gegenteil, die erzeugte Menge stagniert seit Jahren und die Zukunftsaussichten sind nach derzeitigem Stand und den sich auf-türmenden Problemen alles andere als vielversprechend. Das Ziel einer jährlichen Steigerung der Forellenerzeugung auf 20.000 Tonnen ist in weite Ferne gerückt und einer Aufrechterhaltung des momentan erzeugten Volumens gewichen – was bei den derzeitigen Umständen ohnehin schon äußerst ambitioniert ist. Die bekannten Problemen wie die hohen genehmigungsrechtlichen Hürden, immer strengere wasserrechtliche Auflagen sowie der zunehmende bürokratische Aufwand stellen für die Betriebe teilweise große Unsicherheitsfaktoren dar, was die ohnehin schwierige Suche nach Betriebsnachfolgern nochmals verschärft.

Zusätzlich macht sich im letzten Jahrzehnt zunehmend der Klimawandel immer stärker bemerkbar. Die sich häufenden Meldungen über Notfütterungen und Fischsterben in den Sommermonaten in den letzten Jahren sind ein deutliches Alarmsignal, und fordern ein schnelles Gegensteuern und das Ergreifen von geeigneten Maßnahmen. Empirische Erhebungen, die das Ausmaß der Problematik beziffern könnten, fehlen bisher leider fast vollständig, weshalb hier rasch Abhilfe geschaffen werden muss.

Die klimatischen Veränderungen treffen dabei die Fischzuchtbetriebe gleich in zweierlei Hinsicht: die steigenden Temperaturen führen zu einer Erwärmung der Oberflächengewässer und die zunehmende jahreszeitliche Verschiebung der Niederschläge zu temporärer Wasserknappheit.

Für Betriebe, die jetzt schon mit zu hohen Maximaltemperaturen zu kämpfen haben, wird es in Zukunft eine Herausforderung, ihren Fischbestand gesund und ohne größere Verluste durch die warme Jahreszeit zu bringen, da die Krankheitsanfälligkeit steigt, umso weiter der für die einzelne Fischarten bestehende Optimalbereich der Temperatur ausgereizt oder gar überschritten wird. Bei Regenbogenforellen in Deutschland liegt dieser Bereich, je nach Stamm, bei 17 – 19 °C. Die Temperatur hat auch starken Einfluss auf die Toleranz gegenüber niedrigen Sauerstoffkonzentrationen, wobei unter 15 °C Wassertemperatur die Schwelle für sauerstoffbedingten Stress deutlich geringer ist, als bei höheren Temperaturen (Abb. 2). Diese bieten zudem für die meisten vorhandenen Krankheitserreger bessere Wachstumsbedingungen, wie etwa dem Bakterium *Aeromonas salmonicida*, das für Furunkulose bei Forellen verantwortlich ist. Andere Krankheitserreger wiederum werden durch die wärmeren Wassertemperaturen ihren Ausbreitungsraum deutlich erweitern können, der Erreger der PKD *Tetracapsuloides bryosalmonae* profitiert beispielsweise bereits von der Erwärmung, was nicht nur zu Verlusten in der Fischzucht führt, auch Wildbestände

sind zunehmend unter Druck (Ros et al., 2018). Es ist zudem wahrscheinlich, dass neue Erreger, die in unseren Breiten heute noch unbekannt sind, sich aufgrund der veränderten Bedingungen etablieren und unkalkulierbare Konsequenzen nach sich ziehen können.

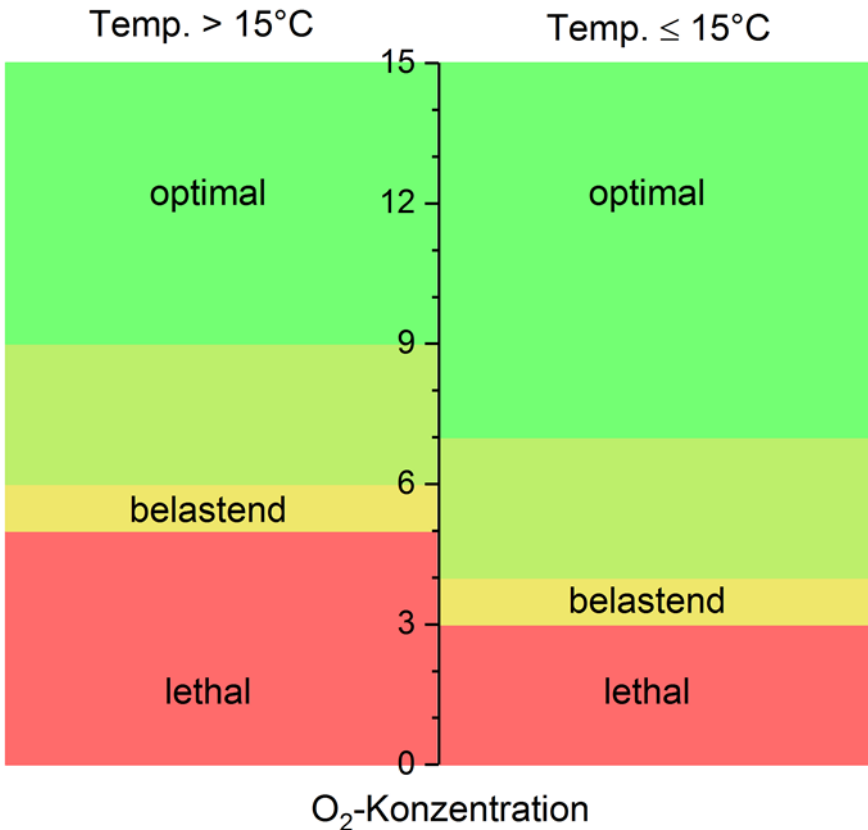


Abb. 2: Temperaturabhängige Sauerstofftoleranz bei Forellen. Nach Chapman (1987); Raleigh et al. (1984); Raleigh et al. (1986).

Wasserknappheit führt zu Problemen mit dem Bestand und den Behörden

Das sinkende Wasserdargebot aufgrund der sich verändernden Niederschlagsverteilung trifft auch Betriebe, die kühles Quellwasser zur Verfügung haben. Denn obwohl sich die Niederschlagsmenge im Jahresdurchschnitt in den letzten 30 Jahren kaum verändert hat, gab es eine deutliche Verschiebung zu mehr Winterniederschlägen und längeren Trockenphasen im Sommer. Dies stellt für Betriebe insofern ein Problem dar, als dass die fehlende Wassermenge zur Akkumulation von Stoffen führt, die entweder eine Wachstumsdepression nach sich ziehen kann oder im Extremfall auch eine nachhaltige Schädigung des Fischbestandes und entsprechend höhere Mortalität zur Folge haben kann. Zu nennen sind hier insbesondere die Stoffe NH_3 und CO_2 , die beide von Fischen hauptsächlich über die Kiemen abgeatmet werden und sich reichern bei fehlender Verdünnung schnell anreichern.

Neben den direkten Auswirkungen auf den Fischbestand kann die temporär fehlende Wassermenge auch dazu führen, dass der betroffene Betrieb aufgrund der fehlenden Verdünnung die wasserrechtlichen Vorgaben zeitweise nicht mehr einhalten kann. Die festgelegten Werte für das Ablaufwasser einer Fischzucht, sind in der Regel relativ streng bemessen und rasch überschritten, wenn ein Teil der normalerweise anfallenden Wassermenge fehlt. Im

Sommer 2018 waren von dieser Problematik bereits bundesweit Betriebe betroffen.

Eine weitere Folge des Klimawandels auf die Niederschlagsentwicklung ist die tendenziell steigende Anzahl von Starkregenereignissen, die Einschwemmungen von Feinsediment in die Vorfluter zur Folge hat. Ist ein Fischbestand von solchen Trübungsereignissen betroffen, wird dieser unweigerlich einer Stressbelastung ausgesetzt, was oft eine zeitweise Einstellung der Fütterung zur Folge hat und die Krankheitsanfälligkeit des gesamten Bestandes empfindlich erhöhen kann. Ein typisches Krankheitsbild nach so einem Ereignis, ist eine bakterielle Kiemenschwellung, da die empfindlichen Kiemenstrukturen besonders von feinen Sedimentpartikeln in Mitleidenschaft gezogen werden und somit eine optimale Angriffsfläche für Erreger bieten. Als ganz extreme Folge der Wasserknappheit kann im Einzelfall das vollständige Versiegen einer Quelle zur Einstellung der Fischerzeugung an manchen Standorten führen.

Weitere Folgen des Klimawandels sind indirekter Art, die ihren Ursprung in anderen Regionen der Welt haben, aber unmittelbar vor Ort wirken. Für die Aquakultur bestehen vor allem für die Futtermittelzusammensetzung und ihre Verfügbarkeit solche Risiken. Die Zunahme von extremen Wetterverhältnissen, vor allem von Dürren, kann sich auf die Zusammensetzung und Qualität von Futtermitteln

auswirken. Regionale Missernten führen dann zu einem Preisanstieg von pflanzlichen Rohstoffen und verursachen zusätzliche Schwankungen der Futtermittelzusammensetzung, deren Folgen für das Wachstums, die Fischgesundheit und die Qualität des Ablaufwassers schwer vorhersagbar sind. Insgesamt wird bei allen Klimaszenarien ein global sinkender Ertrag von Ölsaaten und Getreide wie Weizen prognostiziert, was die Dynamik und den Preisdruck auf dem Futtermittelmarkt verschärfen dürfte (Wiebe et al., 2019) (Abb. 3).

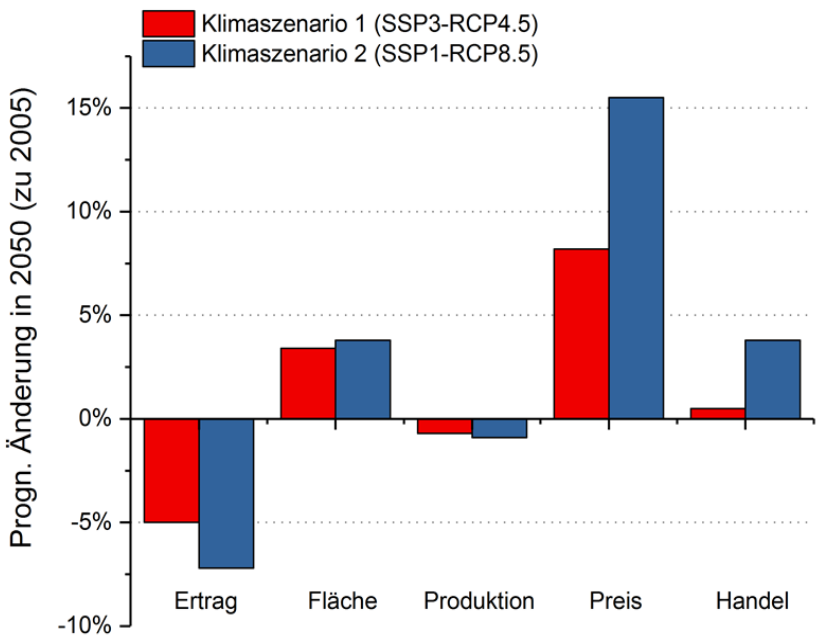


Abb. 3: Abbildung 3: Prognostizierte Veränderungen für Getreide, Reis, Ölsaaten, Weizen und Zucker für 2 unterschiedliche Klimaszenarien. Verändert nach Wiebe et al. (2019): Daten aus Wiebe et al., 2015

Mögliche Maßnahmen

Eine kurzfristig wirksame Maßnahme, um einer Erhöhung der Wassertemperatur in der Fischzucht entgegenzuwirken, kann die flächendeckende Beschattung z. B. in Form einer Überdachung der Produktionsfläche sein. Die Effekte solcher künstlichen Bauwerke sind zwar momentan noch kaum untersucht, es liegen aber zahlreiche Studien vor, die die positiven temperaturmindernden Auswirkungen einer vegetativen Beschattung klar belegen, wobei je nach Wasserkörper und Fließgeschwindigkeit bis zu 3 °C erreicht (Garner et al., 2017). Durch künstliche Beschattung dürften ähnliche Wirkungen erzielt werden können.

Der Schutz vor fischfressenden Vögeln und vermindertes Algenwachstum sind positive Nebeneffekte einer solchen Beschattung. In Kombination mit einer Photovoltaikanlage kann hier eine Win-Win-Situation erzeugt und der Strombedarf einer Fischzucht zudem erheblich gesenkt werden.

Um dem Problem der Wasserknappheit zu entgegen, kommt der Teilkreislaufführung zukünftig eine besondere Bedeutung zu. Hierbei wird ein Teil des verwendeten Ablaufwassers wieder aufbereitet und zurück in die Haltungseinheit geführt. Je nach Verschmutzungsgrad und Rückführtrate bedarf es verschiedener Klärstufen, die mehr oder weniger hohe Investitions- und Unterhaltungskosten nach sich

ziehen (Schäperclaus and Lukowicz, 2018). Daher ist in der Regel eine intensivere Erzeugung nötig, um kostendeckend zu arbeiten. Um den Energieaufwand möglichst gering zu halten, wäre es auch denkbar, temporäre Systeme einzusetzen, die bei Wassermangel die Spitzen der Nährstoffanreicherung abfangen und bei ausreichender Wassermenge wieder abgeschaltet werden können. Hierzu müsste aber Forschungs- und Entwicklungsaufwand betrieben werden, da solche Systeme aktuell nicht entwickelt und getestet sind.

Die Förderung von geschlossenen Kreislaufanlagen, wie sie oft propagiert wird, ist bei der derzeitigen Gesamtsituation wenig sinnvoll. Die kontinuierlich benötigten Pumpenbewegungen und die Wiederaufbereitung des Wassers machen die Anlagen deutlich energieintensiver, als Durchflusssysteme oder Teil-Kreislaufanlagen (Hilborn et al., 2018; Philis et al., 2019), so dass bei derzeitigem Energiemix hierzulande die Fischzucht ihren guten ökologischen Fußabdruck verlieren würde. Außerdem fehlt bei diesen Anlagen der Wirtschaftlichkeitsnachweis beinahe gänzlich, die Erzeugung verschiedener Arten in solchen Systemen scheiterte allzu oft in der Vergangenheit an zu hohen Gestehungskosten und/oder mangelnder Vermarktungsstrategien. Die technischen Voraussetzungen indes wären gegeben, um eine stabile Produktion in Kreislaufanlagen zu gewährleisten. Sollten sich die Rahmenbedingungen bezüglich Energiemix und Wirtschaftlichkeit substantiell verändern,

haben diese Systeme durchaus eine Perspektive und das Potential die regionale Fischzucht zu stärken.

Mittelfristig kann auch eine züchterische Anpassung von Forellensstämmen eine sinnvolle und wirksame Maßnahme sein, den Problemen des Klimawandels zu begegnen. Im Fokus einer züchterischen Entwicklung sollte sicherlich die Resilienz gegenüber hohen Wassertemperaturen und Temperaturschwankungen stehen, aber auch höhere Toleranzen gegenüber einzelnen Wasserparametern, wie CO₂, sind denkbar. Temperaturtolerante Forellensstämmen, wie die Bornforelle, sind seit längerem Gegenstand der Forschung, weitere Beispiele gibt es aus südeuropäischen Ländern oder Japan (Crichigno et al., 2018; Ineno et al., 2005).

Fazit

In Anbetracht der bereits heute spürbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischzucht und der gleichzeitig kaum vorhandenen Datengrundlage, ist es dringend notwendig unverzüglich zu handeln, denn die Effekte des Klimawandels werden weiter deutlich zunehmen (IPCC, 2019). Um die heimische Aquakultur möglichst widerstandsfähig gegenüber den anstehenden Klimaveränderungen zu machen, ist es primär erforderlich, Ausmaß und Art der potentiellen Herausforderungen abschätzen zu können und so Regionen oder Betriebe zu identifizieren, die besonders betroffen sein werden. Diese Kenntnisse bilden wiederum die Grundlage, um

die Richtung und den Umfang der notwendigen Maßnahmen abschätzen zu können. Dabei zeichnet sich heute schon ab, dass zumindest an einzelnen Standorten, möglicherweise auch in ganzen Regionen, die Forellenzucht, wie wir sie heute kennen und wie sie ursprünglich Jahrhunderte lang bundesweit betrieben wurde, nicht mehr möglich sein wird. Dennoch ist es unbedingt nötig, die Fischzucht insgesamt und insbesondere die Forellenzucht in Deutschland zu erhalten, da sie besonders hochwertiges tierisches Lebensmittel liefert (Willett et al., 2019) und das konkurrenzlos effizient und ökologisch verträglich (Hilborn et al., 2018). Der Selbstversorgungsgrad für Fisch und Fischprodukte liegt in Deutschland bei 12 %, obwohl zumindest für die Regenbogenforelle die naturräumlichen Potentiale vorhanden wären, die bestehende Nachfrage zu decken. Dies wäre auch geboten, denn regional erzeugter Fisch ist in Punkto Nachhaltigkeit und Lebensmittelsicherheit dem importierten Fisch deutlich überlegen.

Literatur:

- BMEL**, 2014. Nationaler Strategieplan Aquakultur für Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).
- Brämick, U.**, 2018. Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2016. Institut für Binnenfischerei e.V., Potsdam-Sacrow.
- Crichigno, S.A., Becker, L.A., Orellana, M., Larraza, R., Mirena, G., Battini, M.A., Cussac, V.E.**, 2018. Rainbow trout adaptation to a warmer Patagonia and its potential to increase temperature tolerance in cultured stocks. *Aquaculture Reports* 9, 82–88.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.11.001>
- Garner, G., Malcolm, I.A., Sadler, J.P., Hannah, D.M.**, 2017. The role of riparian vegetation density, channel orientation and water velocity in determining river temperature dynamics. *Journal of Hydrology* 553, 471–485. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.024>
- Hilborn, R., Banobi, J., Hall, S.J., Pucylowski, T., Walsworth, T.E.**, 2018. The environmental cost of animal source foods. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16, 329–335.
<https://doi.org/10.1002/fee.1822>
- Ineno, T., Tsuchida, S., Kanda, M., Watabe, S.**, 2005. Thermal tolerance of a rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* strain selected by high-temperature breeding. *Fisheries Science* 71, 767–775.
<https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2005.01026.x>
- IPCC**, 2019. Climate Change and Land. IPCC.
- Philis, G., Ziegler, F., Gansel, L.C., Jansen, M.D., Gracey, E.O., Stene, A.**, 2019. Comparing Life Cycle Assessment (LCA) of Salmonid Aquaculture Production Systems: Status and Perspectives. *Sustainability* 11, 2517. <https://doi.org/10.3390/su11092517>
- Ros, A., Basen, T., Schneider, E., Schmidt-Posthaus, H.**, 2018. Die Verbreitung einer temperatur-abhängigen Nierenkrankheit (PKD) bei Bachforellen in Baden-Württemberg. *AUF AUF* 42–45.

Schäperclaus, W., Lukowicz, M. von, 2018. Lehrbuch der Teichwirtschaft, 5th ed. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Wiebe, K., Robinson, S., Cattaneo, A., 2019. Climate Change, Agriculture and Food Security: Impacts and the Potential for Adaptation and Mitigation, in: Sustainable Food and Agriculture. Elsevier, pp. 55–74.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., Vries, W.D., Sibanda, L.M., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S.E., Reddy, K.S., Narain, S., Nishtar, S., Murray, C.J.L., 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393, 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

Einfluss der Phänologie auf die Produktivität des Herings der westlichen Ostsee

Dr. Patrick Polte

Thünen Institut für Ostseefischerei Rostock

Der Frühling von März bis Mai ist verbunden mit der Laichwanderung des Herings, der zu dieser Jahreszeit in Massen zum Laichen in die Bodden und Sunde strömt. Von der Schlei bis Rügen wandert er in das flache Wasser der Buchten, Kanäle und Ästuar, um seine klebrigen Eier vorwiegend an den Pflanzen der Uferzone abzustreifen. Den Boddengewässern – allen voran dem Greifswalder Bodden – kommt dabei eine besondere Bedeutung als Laichgebiet und Kinderstube für den Heringsnachwuchs zu. Doch der Nachwuchs macht Sorgen: Während des letzten Jahrzehnts gab es kaum noch starke Jahrgänge.

Das Thünen Institut für Ostseefischerei bestimmt jährlich die Zahl der Larven, die eine Körperlänge von 20 mm erreichen, die kritische Phase nach dem Schlupf überwunden haben und voraussichtlich als Jungfische zum Bestand beitragen werden. In den 1990er Jahren wurden regelmäßig über 5 Milliarden Larven dieser Länge allein im Greifswalder Bodden gefunden, in den letzten Jahren waren es weniger als eine halbe Milliarde. Allerdings schien sich die vergleichsweise geringe Nachwuchsmenge bislang nur moderat auf

den Bestand auszuwirken. Wie kann das sein? Waren die starken Jahrgänge in den 1990er Jahren einfach überdurchschnittliche Ausnahmen? Oder trägt der Nachwuchs, der aus anderen Küstengebieten stammt, mehr zur Rekrutierung bei, so dass die Daten aus den Gewässern des Strelasunds und Greifswalder Boddens einen falschen Eindruck vermitteln? Nun, letzteres ist möglich aber unwahrscheinlich: Die jährlichen Erhebungen der geschlüpften Heringslarven im Greifswalder Bodden und das Monitoring ihres Wachstums über die gesamte frühe Entwicklungsphase ist nur ein Teil der jährlichen Ermittlung der Jahrgangsstärke des Herings der westlichen Ostsee. In jedem Herbst wird das gesamte Seegebiet vom Kattegat bis zur Bornholmsee mit akustischen Methoden auf die Verteilung der Schwärme und die Alterszusammensetzung des Heringsbestandes untersucht. Über eine 27-jährige Zeitserie korreliert der Larven-Nachwuchs aus dem Greifswalder Bodden mit den Jungfischen, die im darauffolgenden Jahr in der westlichen Ostsee erfasst werden. Auch wenn der Greifswalder Bodden nachweislich nicht die einzige Wiege des Herings ist, so scheinen die Faktoren, welche die Nachwuchsstärke in diesem System bestimmen, doch sehr repräsentativ für die Produktion aller Küstengewässer zu sein, die Heringslarven hervorbringen. Neue Ergebnisse zeigen allerdings anhand der chemischen Zusammensetzung im Zentrum der Gehörsteine (Otolithen), dass der Beitrag des Greifswalder Boddens zum Gesamtbestand, wie er im Winterquartier im Öresund vorgefunden wird, durchaus den Hauptanteil ausmachen kann.

Aber wo liegt nun das Problem? Der Greifswalder Bodden steht dem Heringsbestand ja nach wie vor als Laichgebiet zur Verfügung. Warum bringen dieses Laichgebiet und offensichtlich andere Gebiete keine starken Nachwuchsjahrgänge mehr hervor? Bei den vielen verschiedenen Umweltfaktoren, die auf die heranwachsende Brut wirken, ist diese Gretchenfrage schwer allgemeingültig zu beantworten. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die zugrundeliegenden Ursachen in einer Kombination aus hoher Nährstoffbelastung des Gewässers und höheren Winter-Meerwassertemperaturen zu suchen sind. Die Laichwanderung und das „Startsignal“ zum Ab-laichen sind maßgeblich temperaturgesteuert. Langjährige Untersuchungen auf den pflanzenbewachsenen Laichbetten des Boddens haben gezeigt, dass Heringe bei einer Wassertemperatur von 3,5 bis 4 °C mit der Ei-Ablage beginnen. Dieser Temperaturschwellenwert scheint während der milden Winter der vergangenen sechs Jahre im Kalender immer weiter nach vorne verschoben zu sein. In den vergangenen drei Jahren fanden sich bereits im Februar und der ersten Märzwoche Heringseier an den Pflanzen. Der Greifswalder Bodden war in diesen Jahren kaum eisbedeckt. Ein Trend zu einer früheren Laichwanderung der Fische schlägt sich auch in der saisonalen Verteilung der Fischereianlandungen nieder. Der Anteil der Januarfänge am jährlichen Gesamtfang der Schleppnetzfischerei in der Pommerschen Bucht ist in der letzten Dekade drastisch angestiegen (Abb. 1).

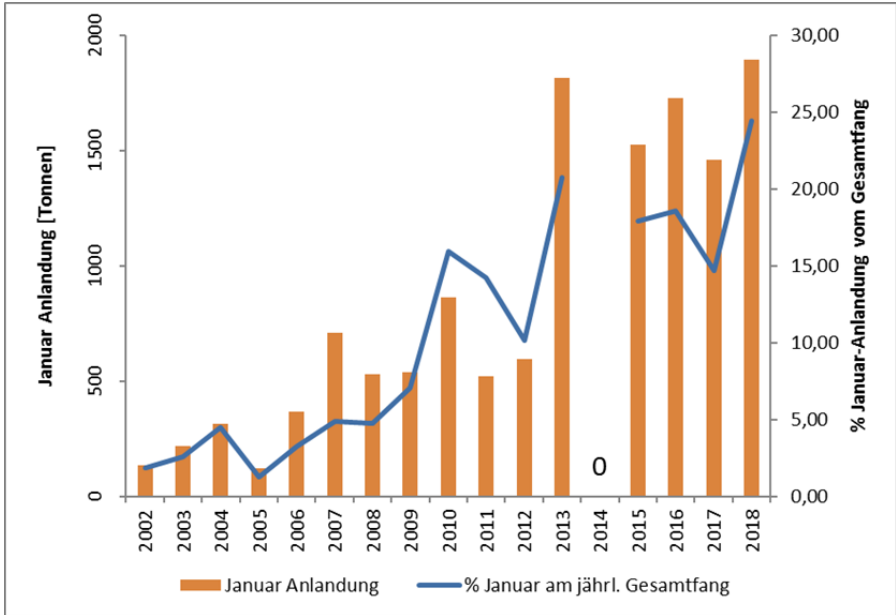


Abb. 1: Die Heringsanlandungen der Schleppnetzfischerei im Januar (orange) und der Prozentsatz der Januar-Anlandungen vom Jahresgesamtfang

Der saisonal frühe Beginn des Laichgeschehens äußert sich im Greifswalder Bodden im Mittel des letzten Jahrzehnts durch eine ca. 3-wöchige Verschiebung des Haupt-Larvenschlupfes (der Zeitraum in dem sich die meisten frisch geschlüpften Larven im Wasser finden).

Die Analyse der Langzeitreihe der jährlichen Larvenproduktion im Greifswalder Bodden (N20-Larvenindex) zeigt, dass der frühe Schlupf > 60% der reduzierten Nachwuchsproduktion erklärt (Abb. 2).

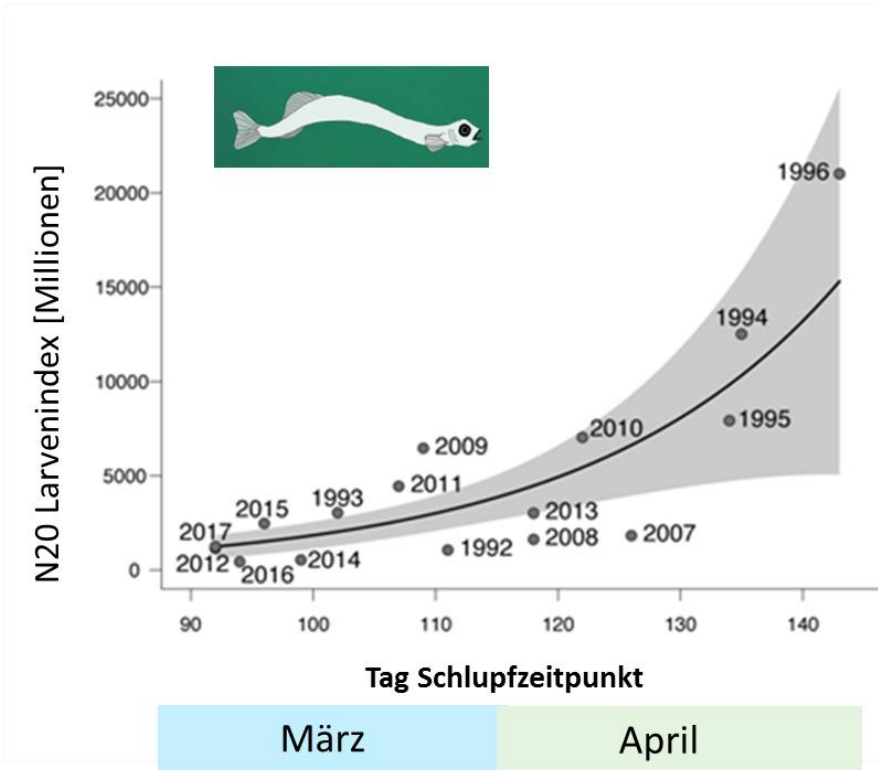


Abb.2: Korrelation des jährlichen Heringslarvenindex (N20) mit dem Tag (22.Sept-21 Juni) des Schlupfzeitpunktes ($R^2= 0.65$).

Fügt man den Schwellenwert für den Laichbeginn (3.5-4.5 °C) in die saisonale Temperaturkurve der Oberflächenwasser-Temperaturen ein, lassen sich relativ zur Fortpflanzungsbiologie des Herings verschiedene Parameter kategorisieren (Abb. 3).

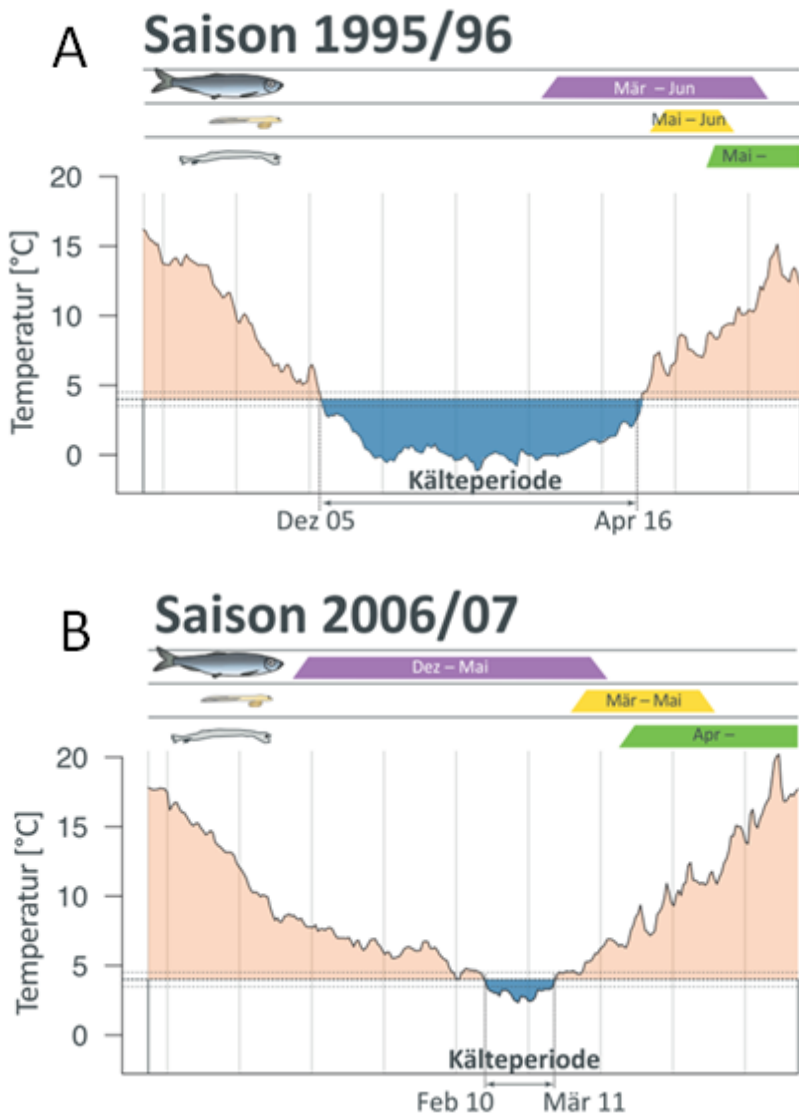


Abb. 3: Oberflächen-Wassertemperatur im Greifswalder Bodden für den Zeitraum vom 22. Sept - 21 Juni relativ zum Laichschwellenwert des Herings (unterbrochene Linie). A) 1995/96 kältester Winter im Zeitraum 1992-2018. B) 2006/07 einer der mildesten Winter im Zeitraum 1992-2018

Es zeigt sich, dass das immer kürzere und später eintretende Kälteperioden die Verschiebung des Schlupfzeitraumes und letztendlich > 40 % der Nachwuchsreduzierung erklären (Abb. 4A). Dieser Effekt zeigt sich nicht nur im Greifswalder Bodden, sondern auch auf der räumlichen Skala der gesamten westlichen Ostsee (Abb. 4B).

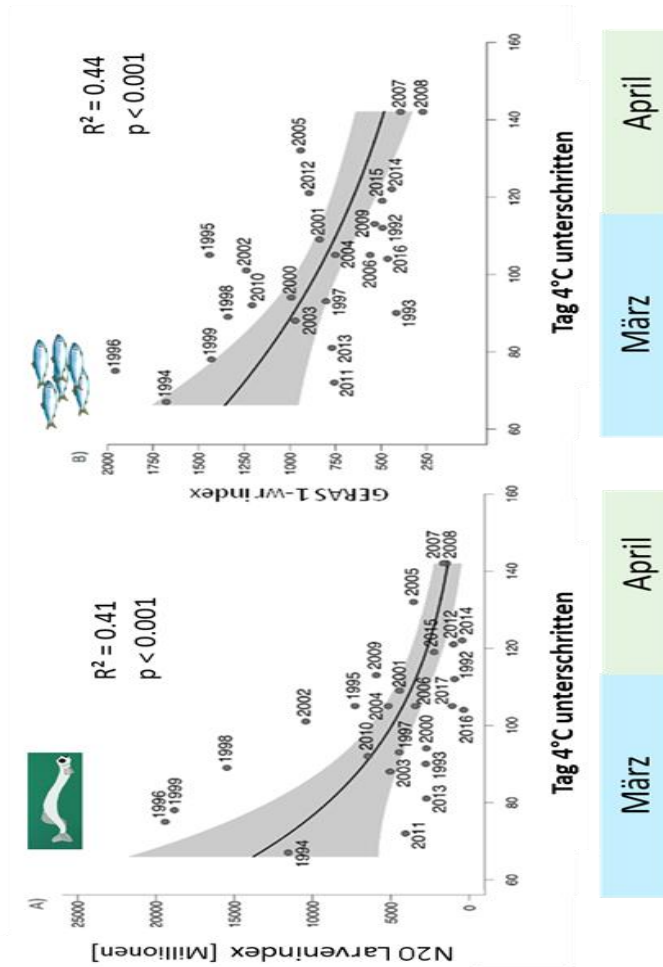


Abb. 4: A) Korrelation des Heringslarvenindex aus dem Greifswalder Bodden mit dem Tag (22. Sept.- 21. Juni) an dem die Kälteperiode einsetzt (Absinken der Wassertemperatur unter den 4°C Laich-Schwellenwert).

B) Korrelation der 1-jährigen Jungfische im Heringssurvey der westlichen Ostsee Aus dem Hydroakustik-Survey (GERAS) mit dem gleichen Parameter.

Die ökologischen Mechanismen, die für den Zusammenhang zwischen den veränderten Winterbedingungen und dem Heringsnachwuchs verantwortlich sind, werden gegenwärtig untersucht. Die Verschiebung der Heringsfortpflanzungs-Phänologie kann dazu führen, dass die Larven bereits schlüpfen bevor die Frühjahrsplanktonblüte eingesetzt hat. Ungefähr eine Woche nach dem Schlupf müssen die Heringslarven geeignetes Planktonfutter (entsprechend ihrer Maulgröße) zur Verfügung haben. Ist dies nicht der Fall, verhungern sie. Eine solche asynchron verlaufende Entwicklung (ein sogenanntes Nahrungs-„Mis-match“) wäre eine Erklärung für den beobachteten Zusammenhang.

Obwohl noch keine belastbaren Analysen zu dieser „Mis-match“-Hypothese aus dem System Greifswalder Bodden vorliegen, ist generell bekannt, dass bereits eine Verschiebung von wenigen Tagen in der Saison drastische Konsequenzen haben kann. Das potentielle „Verpassen“ der Planktonblüte ist dabei ein weitgehend klimagesteuertes Problem, das vor allem die allerersten einwandernden Heringe betrifft. Während ihr Fortpflanzungssignal temperaturgesteuert ist, ist die Frühjahrsplanktonblüte potentiell lichtgetrieben. Demzufolge ist die Hypothese eines zunehmenden Nahrungseingepasses durch saisonale Verschiebung eine wichtige Fährte auf der Ursachenforschung.

Die hohe Nährstoffbelastung der inneren Küstengewässer birgt eine weitere Gefahr, die den Heringsnachwuchs über die gesamte Laichsaison bedroht. Von der Eutrophierung profitieren fädige Braunalgen (der Gattungen *Pilayella* und *Ectocarpus*) die sich regelmäßig massenhaft ausbreiten. Diese Algen wachsen epiphytisch auf den Seegräsern und Laichkräutern, die die wichtigsten Heringslaichbetten bilden. Nicht nur werden die Pflanzenbetten dadurch langfristig geschädigt, sondern diese fädigen Algen wirken nachweislich in einer bisher unbekanntem Weise toxisch auf die Heringseier. Experimente am Thünen-Institut in Rostock zeigten überdeutlich eine extrem hohe Sterblichkeit der Heringseier, nachdem sie mit diesen Algen in Berührung kamen (von Nordheim et al. in press). Literaturangaben weisen darauf hin, dass auch diese fädigen Aufwuchsalgen von milden Wintertemperaturen profitieren (Lotze et al. 1999). Die Nährstoffbelastung an sich ist natürlich kein neues Phänomen. Unter einem sich veränderndem Klima und dadurch bedingten Verschiebungen biologischer Prozesse scheinen sich die Auswirkungen der Überdüngung aber drastisch zu verstärken. Das Massenvorkommen der Algen ist demnach eine Konsequenz aus synergistischen Effekten von Eutrophierung und Klimawandel (Abb. 5).

**Eutrophierung, Küstenveränderung,
Verschmutzung etc**

**Klimawandel
Phänologie- Verschiebung**

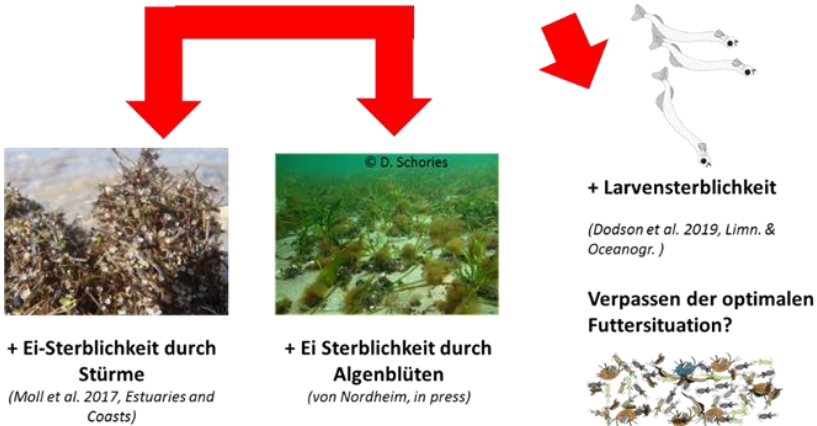


Abb. 5: Wirkgefüge menschlicher Einflüsse auf die Heringsnachwuchsproduktion in den Küstengewässern. Die Reduktion der Wasserpflanzenbestände als wichtiges Laichsubstrat und ihre Verbreitungsgrenze in den Uferzonen führt zu erhöhter Ei-Sterblichkeit durch Stürme. Toxische Aufwuchsalgen wirken lethal auf Heringseier. Phänologieverschiebungen durch den Klimawandel wirken negativ auf die Nachwuchsproduktion

Literatur:

- Dodson, J. J., G. Daigle, C. Hammer, P. Polte, P. Kotterba, G. Winkler, and C. Zimmermann.** 2019. Environmental determinants of larval herring (*Clupea harengus*) abundance and distribution in the western Baltic Sea. *Limnology and Oceanography* 64:317-329.
- Lotze H. K., Schramm W., Schories D., Worm B.** (1999). Control of macroalgal blooms at early developmental stages: *Pilayella littoralis* versus *Enteromorpha* spp. *Oecologia* 119: 46–54.
- Moll, D., P. Kotterba, L. von Nordheim, Polte P.** (2018). Storm-Induced Atlantic Herring (*Clupea harengus*) Egg Mortality in Baltic Sea Inshore Spawning Areas. *Estuaries and Coasts* 41:1-12.
- von Nordheim L., Kotterba P., Moll D., Polte P.** (in press). Lethal effect of filamentous algal blooms on Atlantic herring (*Clupea harengus*) eggs in the Baltic Sea Aquatic Conservation

Veränderung der Verbreitung und Migration von Fischbeständen

Dr. Heino O. Fock

Thünen Institut für Seefischerei Bremerhaven

Zusammenfassung

Der Klimawandel und menschliche Nutzungsformen im Meer rufen erhebliche Änderungen im Ökosystem hervor. Die Erwärmung zwingt Fischpopulationen in tiefere Gewässerbereiche abzuwandern, um dadurch im bevorzugten Temperaturbereich zu verbleiben. Die Scholle ist ein Beispiel dafür, dass die Kinderstube Wattenmeer zu warm geworden ist und Jugendstadien bereits in die Nordsee abwandern. Gleichzeitig verändern wir die Raumnutzung im Meer durch das Netz der Natura2000 Meeresschutzgebiete und die großflächige Einrichtung von Windparks. Dadurch entstehen für empfindliche Arten Möglichkeiten, über sogenannte 'Trittsteinhabitats' (stepping stones) wieder in den ursprünglichen Lebensraum zurückzukehren. Ein solches Beispiel ist der Nagelrochen, der noch Anfang des 20. Jahrhunderts die häufigste Rochenart an der deutschen Nordseeküste war und danach fast verschwunden war. Seit fünf Jahren ist diese Art wieder bei Helgoland und vor Sylt nachgewiesen. Der kälteliebende Kabeljau, dessen Verbreitungsgebiet sich insgesamt nach Norden verschoben hat, profitiert ebenfalls von den

in den Windparks vor Schleswig-Holstein entstehenden neuen Habitatstrukturen.

Einleitung

Die Erwärmung der Meere bietet wärmeliebenden Arten mehr Raum zur Ausbreitung, während für kälteliebende Arten der Lebensraum kleiner wird. Die Ausbreitung nach Norden für wärmeliebende Arten erfolgt entlang der Kontinentalsockel und Schelfhabitats (Kaimuddin et al., 2016), und die Fische können bevorzugte Temperaturzonen durch geeignete Tiefenzonierung aufsuchen. In der Nordsee ist entsprechend eine Tiefenverlagerung der nördlichen Arten bekannt (Dulvy et al., 2008). Neben klimabedingten Verschiebungen treten aber auch Habitateffekte auf. So wirken sich lokale Abnahmen des Fischereidrucks positiv auf das Vorkommen von fischereiempfindlichen Arten aus, wie z. B. Haien und Rochen (Shephard et al., 2011). Umgekehrt kann die Zunahme des Fischereidrucks zu starken lokalen Rückgängen führen. Für Haie und Rochen in der Deutschen Bucht konnte dies anhand historischer Daten belegt werden (Fock, 2014; Fock et al., 2014). Für die Rückkehr in ein ehemaliges genutztes Gebiet ist die Lebensphase, in der die Hauptverbreitung auftritt, die Größe des Ausdehnungsbereiches (engl. home range), die Verknüpfung mit bestehenden Ausgangspopulationen entscheidend (engl. connectivity) und die Entstehung von Trittsteinbiotopen entscheidend. Tatsächlich treten in einer zunehmend

vom Menschen beeinflussten Meeresumwelt mehr Mosaikstrukturen unterschiedlicher Nutzungsformen und Nutzungsintensitäten auf (Fock, 2008). Teilweise sind die Flächen mit einer differenzierten Fischereiregulierung versehen wie z. B. die 'Schollenbox' in der Deutschen Bucht (Beare et al., 2013), teilweise aber auch als Ausschluss von fischereilichen Aktivitäten in Form von Windparks und Meeresschutzgebieten mit entsprechenden möglichen wirtschaftlichen Rückwirkungen (Berkenhagen et al., 2010). Wie solche räumlichen Prozesse zur Ausbreitung von Fischarten beitragen können und damit in der Lage sind, die normalen Verbreitungs- und Migrationswege von Fischpopulationen zu verändern, soll am Beispiel vom Nagelrochen *Raja clavata* und Kabeljau untersucht werden.

Material und Methoden

Der Nagelrochen *Raja clavata* wies historisch starke Vorkommen vor den westfriesischen (Abb. 1c) und nordfriesischen Inseln und Eiderstedt bis hinauf zum Horns Riff auf (Abb. 1d). Seit 2014 treten wieder verstärkt Funde von *R. clavata* in der Deutschen Bucht auf. Da bei Haien und Rochen planktische Lebensphasen fehlen, lassen sich die Ausbreitungsprozesse über die Fänge von Jugend- oder Erwachsenenstadien verfolgen. Fock (2014) hat bereits postuliert, dass für den Nagelrochen *Raja clavata* die vor der Südostküste Englands liegenden Restpopulationen (Abb. 1 a, b) als Ausgangspunkt einer Neubesiedlung der südlichen Nordsee und der Deut-

schen Bucht dienen könnten (Abb. 1 c, d), wenn entsprechende Trittsteinbiotope für die Austauschprozesse etabliert werden könnten. Neben den geplanten Natura2000-Gebieten in der Nordsee sind durch die Etablierung der Windparks weitere potentielle Trittsteinbiotope entstanden.

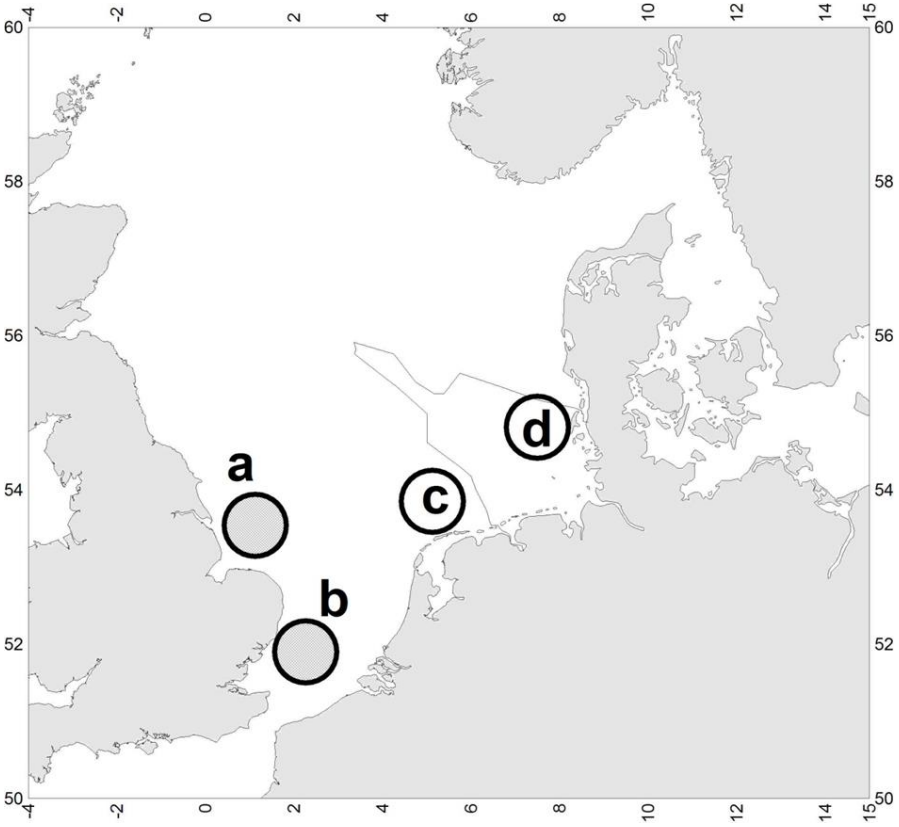


Abb. 1: Konzept der Wiederbesiedlung historischer Habitate von Nagelrochen *Raja clavata* in der Deutschen Bucht (c, d), ausgehend von den Restpopulationen vor der englischen Küste (a,b). Verändert nach Fock (2014).

Die Neuansiedlung des Nagelrochens wird anhand der vorhandenen Surveydaten in der Deutschen Bucht und der südlichen Nordsee abgebildet, ebenso wie die Veränderung des Artenspektrums in der Deutschen Bucht als Anteil der neu eingewanderten südlichen Arten (verändert nach Ehrich and Stransky, 2001). Die Änderung der Wassertemperatur wird über Oberflächentemperaturen als Jahreswerte abgebildet (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>).

Distanz zum Windpark, Größe des Windparks (Anzahl der Windenergieeinheiten), der Betrieb des Windparks (ja/nein) als auch die Jahre seit Inbetriebnahme sowie die Wassertemperatur dienen als Variablen bei der Entwicklung des Modells als logistischer Regression. Das Akaike Informations Kriterium (AIC) wird zur Bewertung des Modells herangezogen, je kleiner der AIC, desto besser das Modell. Ein Unterschied von 3 im AIC gilt als signifikante Verbesserung (Burnham et al., 2011).

Ergebnisse und Diskussion

Zunehmende Fänge von Wolfsbarsch im Küstenbereich und Seehecht in der offenen Nordsee sind Anzeichen dafür, wie nachhaltig sich das Artenspektrum in Richtung auf wärmeliebende Arten verschoben hat. Der Anstieg der südlichen Arten in der Deutschen Bucht stieg entsprechend stetig an seit 1970, in der Deutschen Bucht (Str 6) stärker als in der zentralen Nordsee (Str 4, Abb. 2A). Der Anstieg der südlichen Arten ist mit der Oberflächentemperatur

(Abb. 2B) stark korreliert. Sogar einzelne Phasen treten in beiden Kurven deckungsgleich auf: Der temporäre Rückgang der Oberflächentemperatur um 2010 herum spiegelt sich besonders in der geringeren Anzahl südlicher Arten im der zentralen Nordsee (Str 4) im selben Zeitraum wider.

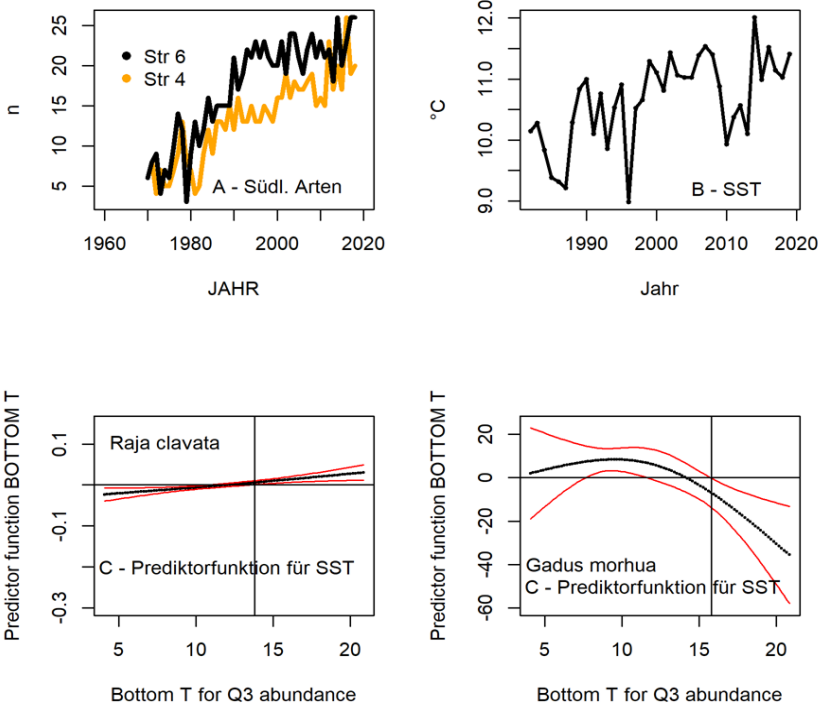


Abb. 2: A - Trends für südliche Arten in der Deutschen Bucht (Str 6, schwarz) und der zentralen Nordsee (Str 4, orange). B - Trend für die Oberflächentemperatur, Jahreswert Deutsche Bucht. C - Temperaturfunktionen für Nagelrochen und D- Kabeljau, jeweils mit Vertrauensbereichen. SST – Oberflächentemperatur

Obwohl das Vorkommen von *Raja clavata* im gesamten Verbreitungsgebiet (Ärmelkanal, Keltische See und nördliche Nordsee) negativ mit der Wassertemperatur korreliert ist, ist die Korrelation in der Deutschen Bucht und der südlichen Nordsee positiv (Simpson et al., 2011). Im Surveydatensatz ergibt sich eine signifikant positive Reaktion oberhalb von 13.8 °C Wassertemperatur (Mittelwert für 3. Quartal, Abb. 2C). Im Gegensatz dazu reagiert Kabeljau signifikant negativ oberhalb von 15.8 °C. Das Optimum bei 10°C entspricht dem globalen Optimum von 10.4°C (Simpson et al., 2011).

Bei der Erstellung des logistischen Modells für *R. clavata* wurden die Daten der nächstgelegenen Windparks auf ICES-Rechteckbasis als potentielle Trittsteinbiotope in die Analyse miteinbezogen. Bei einem tagging-Experiment für Nagelrochen wurden die Mehrzahl der Nagelrochen in einem Radius < 60 sm vom Aussetzpunkt wiedergefangen (Walker et al., 1997), so dass der Abstand zwischen den einzelnen ICES Rechtecken von 30 Seemeilen diesem Aktivitätsradius entsprechend angesehen werden kann. Der maximale Migrationsradius für diese Art kann mit 150 Seemeilen angegeben werden (Fock et al., 2014). *R. clavata* wurde in den in Abb. 1 c, d angegebenen Bereichen in höherer Anzahl wiedergefangen, was die Bindung an bestimmte Biotoptypen unterstreicht. Hinsichtlich der Windparkansiedlungen wurden bei der Auswertung die niederländischen Projekte Egmond aan Zee (2006), Prinses Amalia (2008), die dänischen Projekte Horns Rev 1 (2001) und Horns Rev2 (2009), sowie die in

der deutschen Wirtschaftszone angesiedelten Projekte Alpha Ventus (2010) und Bard (2013) und die in 2015 realisierten Vorhaben Global Tech, Trianel, Butendiek und Nordsee Ost berücksichtigt. Die besten Modelle wurden jeweils mit einem Zeitfaktor und der Größe der Windparkfelder erzielt (Tabelle 1, Modelle 2 und 5), die Einbeziehung der Distanzen innerhalb der Rechtecke zu den Windenergieanlagen brachte keinen zusätzlichen Erklärungsgewinn, der AIC stieg gegenüber den Modellen ohne Distanz (Modelle 3, 6). Die Größe der Windparkanlagen war ein signifikanter Faktor, kleine An-

Tab. 1: Zusammenfassung der Modellergebnisse unter Verwendung des AIC Wertes. Die eingesetzten Variablen entsprechen hierbei dem Aufbau der Hypothesen, entsprechend ist die Wahrscheinlichkeit, Nagelrochen im benachbarten ICES-Rechteck anzutreffen, von dem Alter der Anlage und seiner Größe abhängig (Modell 5).

Model	Variablen	AIC
1	In Betrieb J/N	3726.1
2	In Betrieb J/N, Größe des Windparks	3712.7
3	In Betrieb J/N, Größe des Windparks und Entfernung zum Windpark	3714.5
4	Jahre seit Inbetriebnahme	3686.6
5	Jahre seit Inbetriebnahme, Größe des Windparks	3675.2
6	Jahr seit Inbetriebnahme, Größe des Windparks, Entfernung zum Windpark	3677.1
7	Wassertemperatur	3729.3

lagen wie Alpha Ventus mit 12 Rotoren konnten noch keinen Effekt erzielen. Beim Zeitfaktor spielt das Alter der Anlagen eine wichtigere Rolle als die Inbetriebnahme an sich. Dies ist ein wesentliches Indiz für die zugrundeliegende Dynamik des Besiedlungsprozesses. Im Vergleich dazu schnitt das reine Temperaturmodell (Modell 7) am schlechtesten ab.

Für den Kabeljau liegt ein negativer Surveytrend vor, entsprechend seiner negativen Temperaturfunktion (Abb. 1d). Jedoch konnte in aufwändigen Angelbeprobungen ein residenter Bestand innerhalb der Windparks nachgewiesen werden (<https://www.thuenen.de/de/sf/projekte/offshore-windparks-im-kontext-oekosystembasierter-raumplanung-und-nutzung/>). Weiterhin konnten bei Jungfischbeprobungen im Wattenmeer in 2019 einjährige Kabeljau nachgewiesen werden, ebenso wie Kabeljaubrut in den Windparks selber. Auf diese Weise wirken neue Habitatstrukturen der temperaturbedingten Verschiebung entgegen, so dass Kabeljau weiterhin eine wichtige Rolle im Nahrungsnetz der südlichen Nordsee spielen kann.

In beiden dargestellten Fällen zeigt sich, dass Habitateffekte durch Windparks und möglicherweise auch Meeresschutzgebieten eine wichtige Rolle bei der Wiederansiedlung von Arten spielen können. Dies kann exemplarisch auch für weitere Arten gelten, so dass bei entsprechend angepasster Bewirtschaftung durch die neuen Habitate auch neue Nutzungsmöglichkeiten entstehen können.

Mittlerweile sind Möglichkeiten der Fischerei auf die Strandkrabbe *Cancer pagurus* an Windparks bekannt (Krone et al., 2017).

Die Abhängigkeit von bestimmten räumlichen Strukturen unterstreicht gleichzeitig, dass marine Raumplanung zukünftig zusammen mit der Anpassung an den Klimawandel eine der stärksten Herausforderungen für die Fischereiwirtschaft sein wird.

Literatur:

- Beare, D., Rijnsdorp, A. D., Blaesberg, M., Damm, U., Egekvist, J., Fock, H., et al.** (2013). Evaluating the effect of fishery closures: Lessons learnt from the Plaice Box. *J. Sea Res.* 84, 49–60.
- Berkenhagen, J., Döring, R., Fock, H. O., Kloppmann, M. H. F., Pedersen, S. A., and Schulze, T.** (2010). Decision bias in marine spatial planning of offshore wind farms: Problems of singular versus cumulative assessments of economic impacts on fisheries. *Mar. Policy* 34, 733–736.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., and Huyvaert, K. P.** (2011). AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: Some background, observations, and comparisons. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 65, 23–35. doi:10.1007/s00265-010-1029-6.
- Dulvy, N. K., Rogers, S. I., Jennings, S., Stelzenmüller, V., Dye, S. R., and Skjoldal, H. R.** (2008). Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *J. Appl. Ecol.* 45, 1029–1039.
- Ehrich, S., and Stransky, C.** (2001). Spatial and Temporal Changes in the Southern Species Component of North Sea Bottom Fish Assemblages. *Senckenbergiana maritima* 31, 143–150.
- Fock, H. O.** (2008). De See weer frie ... *Inf. Fischereiforsch.* 55, 1–4. doi:10.3220/Inf55.
- Fock, H. O.** (2014). Patterns of extirpation. I. Changes in habitat use by thornback rays *Raja clavata* in the German Bight, for 1902–1908, 1930–1932, and 1991–2009. *Endanger. Species Res.* 25, 197–207. doi:doi: 10.3354/esr00582.
- Fock, H. O., Probst, W. N., and Schaber, M.** (2014). Patterns of extirpation. II. The role of connectivity in the decline and recovery of elasmobranch populations in the German Bight as inferred from survey data. *Endanger. Species Res.* 25, 209–223. doi:10.3354/esr00583.

- Kaimuddin, A. H., Laë, R., and Morais, L. T. De** (2016). Fish Species in a Changing World : The Route and Timing of Species Migration between Tropical and Temperate Ecosystems in Eastern Atlantic. *Front. Mar. Sci.* 3:162. doi:10.3389/fmars.2016.00162.
- Krone, R., Dederer, G., Kanstinger, P., Krämer, P., Schneider, C., and Schmalenbach, I.** (2017). Mobile demersal megafauna at common offshore wind turbine foundations in the German Bight (North Sea) two years after deployment - increased production rate of *Cancer pagurus*. *Mar. Environ. Res.* 123, 53–61. doi:10.1016/J.MARENRES.2016.11.011.
- Shephard, S., Gerritsen, H. D., Kaiser, M. J., Truzkowska, H. S., and Reid, D. G.** (2011). Fishing and environment drive spatial heterogeneity in Celtic Sea fish community size structure. *ICES J. Mar. Sci.* 68, 2106–2113.
- Simpson, S. D., Jennings, S., Johnson, M. P., Blanchard, J. L., Schön, P. J., Sims, D. W., et al.** (2011). Continental shelf-wide response of a fish assemblage to rapid warming of the sea. *Curr. Biol.* 21, 1565–1570. doi:10.1016/j.cub.2011.08.016.
- Walker, P., Howlett, G., and Millner, R.** (1997). Distribution, movement and stock structure of three ray species in the North Sea and eastern English Channel. *ICES J. Mar. Sci.* 54, 797–808.

Anhang I

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats

Arlinghaus, Prof. Dr. Robert	Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Abteilung für Biologie und Ökologie der Fische Müggelseedamm 310 12587 Berlin
Brinker, Dr. Alexander	Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg Argenweg 50/1 88085 Langenargen
Brämick, Dr. Uwe	Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow Jägerhof am Sacrower See Im Königswald 2 14469 Potsdam
Breckling, Dr. Peter	Deutscher Fischerei-Verband e. V. Venusberg 36 20459 Hamburg
Geist, Prof. Dr. Jürgen	Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan Mühlenweg 22 85354 Feising
Karl, Dr. Horst	Utkiek 2a 22767 Hamburg
Kraus, Dr. Gerd	Thünen-Institut Institut für Seefischerei Herwigstr. 31 27572 Bremerhaven

Fortsetzung Mitglieder Wissenschaftlicher Beirat

- | | |
|---|--|
| Lukowicz, Dr. Mathias v. | Feldafinger Str. 43 d
82383 Pöcking |
| Schulz, Prof. Dr. Carsten | GMA Büsum
Hafentörn 3
25761 Büsum |
| Steinhagen, Prof. Dr. Dieter | Stiftung Tierärztliche Hochschule
Hannover
Abt. Fischkrankheiten und Fischhaltung
Bünteweg 17
30559 Hannover |
| Wedekind, Dr. Helmut
Vorsitzender | Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Institut für Fischerei
Weilheimer Str. 8
82319 Starnberg |
| Zimmermann, Dr. Christopher | Thünen-Institut
Institut für Ostseefischerei (IOR)
Alter Hafen Süd 2
18069 Rostock |

Anhang II

ANSCHRIFTEN DER REFERENTEN UND MODERATOREN

Basen, Dr. Timo	Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg Argenweg 50/1 88085 Langenargen
Brämick, D. Uwe	Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow Jägerhof am Sacrower See Im Königswald 2 14469 Potsdam
Brinker, Dr. Alexander	Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg Argenweg 50/1 88085 Langenargen
Fock, D. Heino O.	Thünen-Institut Institut für Seefischerei Herwigstr. 31 27572 Bremerhaven
Füllner, Dr. Gert	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) August-Böckstiegel-Straße 1 01326 Dresden Pillnitz
Klefoth, Dr. Thomas	Anglerverband Niedersachsen e.V. Brüsseler Straße 4 30539 Hannover
Peck, Prof. Dr. Myron	Universität Hamburg Institut für marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften Große Elbstrasse 133 22767 Hamburg

Fortsetzung der Referenten und Moderatoren

Pfeiffer, Matthias

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
August-Böckstiegel-Straße 1
01326 Dresden Pillnitz

Polte, Dr. Patrick

Thünen-Institut
Institut für Ostseefischerei (IOR)
Alter Hafen Süd 2
18069 Rostock

Wedekind, Dr. Helmut
(Moderation)

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Institut für Fischerei
Weilheimer Str. 8
82319 Starnberg

Anhang III

Resolution

zu Klimawandel und Fischerei: Auswirkungen, Risiken, Chancen und Handlungsfelder für die deutsche Fischerei

Ausgangslage

Alle Bereiche der Hochseefischerei, Küstenfischerei, Binnenfischerei und der Angelfischerei sowie die Aquakultur sind direkt und indirekt vom Klimawandel betroffen ist. Es gibt derzeit Hinweise auf Veränderungen sowie bereits sichtbare Entwicklungen, die durch den Klimawandel verursacht werden. Für die Fischerei sind Temperatur und Wasserhaushalt von besonderer Bedeutung. Für die Meeresfischerei kommt mit der Versauerung der Ozeane ein weiterer Faktor dazu. Diese wirken in verschiedenen Regionen Deutschlands und auf einzelne Fischereisektoren sehr unterschiedlich.

In heimischen Seen und Flüssen und in den Meeren werden bereits tendenziell steigende Wassertemperaturen gemessen. Dies wird zu Veränderungen in den Nahrungsnetzen bis hin zur Beeinflussung der Fischartengemeinschaften und der Fangerträge in diesen Gewässern führen.

Für die Aquakultur sind neben steigenden Wassertemperaturen vor allem Auswirkungen auf den Wasserhaushalt von entscheidender Bedeutung. Es ist sowohl mit chronischem Wassermangel als auch mit häufigeren, extremen Situationen im Wasserhaushalt durch Dürreperioden und bei Überschwemmungen durch Starkregen zu rechnen.

Im marinen Bereich werden Änderungen der Verbreitungsgebiete von Beständen sowie Zu- und Abnahmen der Ertragsfähigkeit von Meeresgebieten durch Temperaturveränderungen, Abnahme des Sauerstoffgehalts und Veränderungen im Kohlen-säurehaushalt (Versauerung) erwartet.

Generell werden durch den Klimawandel teilweise erhebliche negative Folgewirkungen erwartet. Deshalb entsteht ein Bedarf zur Entwicklung von Anpassungsstrategien zur Schadensvermeidung aber auch zur nachhaltigen Nutzung von neu entstehenden Möglichkeiten.

Risiken

Im Inland kann es durch höhere Wassertemperaturen zu verstärktem Stress und einer rückläufigen Verbreitung von kälte-liebenden Arten wie Salmoniden und Coregonen kommen. Dies kann zu einer verringerten fischereilichen Nutzbarkeit dieser Bestände führen. Bei kleinen Fließgewässern kam es im letzten Jahr bereits in verschiedenen Regionen Deutschlands durch un-regelmäßig auftretende oder ganz ausbleibende Niederschläge zu fatalen Situationen hinsichtlich der Wassermenge. Lokale Po-pulationen sind regional bereits erloschen. Einzelne Fließgewäs-ser fielen gänzlich trocken, was in den betroffenen Regionen zu katastrophalen Entwicklungen für Wildfischbestände und das ge-samte aquatische Ökosystem führte. Lokalformen verschiedener Fisch- und Krebsarten sind mancherorts schon erloschen.

Der Wassermangel hatte in den betroffenen Gebieten ebenfalls erhebliche Auswirkungen auf die Aquakultur. Weil insbesondere die Forellen- und Saiblingsproduktion in höchstem Maße von einer Wasserversorgung in ausreichender Menge und Qualität abhängig ist, ergaben sich durch die reduzierte Zuflussmenge und damit einhergehenden erhöhten Wassertemperaturen re-gional spürbare Beeinträchtigungen. So mussten einige Betriebe

die Bestandsgrößen reduzieren und vorzeitige Abfischungen durchführen. Die Folge waren z. T. beträchtliche Ertragsausfälle. In der Karpfenteichwirtschaft konnten zahlreiche Teiche durch ausbleibende Niederschläge nicht vollständig bespannt werden. Karpfenteichwirte müssen auf diese Entwicklung mit reduziertem Besatz reagieren und letztendlich eine Verringerung der Produktion in Kauf nehmen. Die Veränderungen der Wassermenge und -qualität können zukünftig auch zu einem erhöhten Risiko von Krankheitsausbrüchen bei den Fischen führen. Dadurch steigt insgesamt die Wahrscheinlichkeit von Verlusten in der Salmoniden- und Karpfenerzeugung.

Im Meer werden sich die Artenzusammensetzung sowie die räumliche Verteilung der Arten ändern. Bei kälteliebenden Arten wie dem Kabeljau entwickeln sich zahlreiche nördliche Bestände besser als die südlichen Bestände in der Nordsee oder der Keltischen See. Andere Beispiele für aktuelle Verlagerungen von Verbreitungsgebieten sind die Atlantische Makrele und die Lodde. In abgeschlossenen Meeressgewässern wie der Ostsee kann es durch den Temperaturanstieg und der immer noch hohen Nährstoffbelastung zu weiter wachsenden Sauerstoffdefiziten im Tiefenwasser kommen. Die u. a. von der Tageslichtlänge abhängigen Frühjahrsplanktonblüten und die temperaturgesteuerte Nachwuchsproduktion der Fische können durch eine Zunahme der Temperatur bei gleichbleibenden Lichtverhältnissen zunehmend entkoppelt werden. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass in bestimmten Jahren die erforderliche Nahrung nicht verfügbar ist, wenn die Fischlarven auftreten. Die Ausfälle der Rekrutierung beim westlichen Ostseehering werden u. a. auf diesen Mechanismus zurückgeführt. Die Geschwindigkeit des Wandels kann die Anpassungsfähigkeit der Fischbestände übertreffen. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ungünstiger Verhältnisse für die Reproduktion im angestammten Verbreitungsgebiet. In abgeschlossenen Meeressgebieten wie der Ostsee fehlt die Möglichkeit zur Verlagerung

des Verbreitungsgebietes, so dass lokale Populationen ihre Ertragsfähigkeit verlieren können und im Extremfall verschwinden.

Die Versauerung der Meere durch die Aufnahme von CO₂ ist regional unterschiedlich und beeinträchtigt z. B. kalkskelettbildende Algen oder Muscheln. Daraus können sich über Nahrungsbeziehungen auch ökosystemar relevante Effekte bei anderen Tiergruppen ergeben, die Einfluss auf die Ertragsfähigkeit haben.

Chancen

Fischerei und Aquakultur bieten grundsätzlich gute Möglichkeiten, tierisches Protein für die menschliche Ernährung mit den geringsten CO₂-Emissionen im Vergleich zu allen anderen Quellen (z. B. Fleisch) bereit zu stellen.

In der Binnenfischerei sowie in der Aquakultur ergeben sich in Folge der Temperaturerhöhung zumindest theoretische Möglichkeiten, eine vermehrte Erzeugung wärmeliebender Fischarten zu erreichen. Mit einer ausreichenden Wasserversorgung und ggf. technischer Unterstützung bei der Sauerstoffversorgung könnte die Karpfenteichwirtschaft („Warmwasserteiche“) künftig grundsätzlich von der Erhöhung der Wassertemperaturen profitieren. Für den Wasserhaushalt einer Landschaft bieten großflächige Erdteiche eine Möglichkeit zur Wasserrückhaltung nach Starkregenereignissen. Diese grundsätzlichen Möglichkeiten erfordern jedoch in Deutschland regional und einzelbetrieblich erhebliche Anstrengungen und Investitionen zur Verwirklichung solcher Anpassungsstrategien. Angesichts der wasserhaushaltlichen Bedingungen und betrieblichen Strukturen sind solche Optionen regional nur eingeschränkt realitätstauglich.

In den Ozeanen wird in mittleren und hohen Breiten zumindest mittelfristig noch mit einer Zunahme des Artenreichtums und des Fischfangpotentials gerechnet. In der Nordsee werden zusätzliche wärmeliebende Arten, wie die Rote Meerbarbe, die jetzt bereits dort angetroffen werden. In nördlichen Gewässern bis zur Arktis wird eine steigende Produktivität mit wachsenden Fische-

Reilmöglichkeiten prognostiziert. Es ist zu erwarten, dass es die derzeitige deutsche Fischereiflotte allerdings künftig nicht schaffen wird, an der nachhaltigen Nutzung dieser Potenziale angemessen teilzunehmen.

Schlussfolgerung

Bereits heute sind direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die Ressourcen der Fischerei erkennbar und Entwicklungstendenzen absehbar. Allerdings lassen sich diese Entwicklungen noch nicht endgültig abgesichert darstellen und quantitativ prognostizieren. Hierzu bedarf es noch eines erheblichen Forschungsaufwands - auch um konkrete Handlungsoptionen abzuleiten. **Die Forschung und Entwicklung muss darauf ausgerichtet werden, einen „Instrumentenkasten“ verfügbar zu machen, der für die Fischerei geeignete Maßnahmen enthält, um auf die veränderten Rahmenbedingungen zu reagieren und erforderliche Maßnahmen zur Änderung der Bewirtschaftungs- und Produktionsverfahren durchzuführen.** Die Nutzung der Instrumente im Rahmen von Anpassungsstrategien kann erhebliche Investitionen notwendig machen.

Dies könnten in der Fangfischerei beispielsweise die Umstellung auf andere Zielfischarten und in der Aquakultur eine Verfahrensanpassungen zur Verringerung der Abhängigkeit von Niederschlagswasser sein.

Im Binnenbereich, und hier vor allem in der Aquakultur, wird es künftig von ganz entscheidender Bedeutung sein, dass eine ausreichende Wasserversorgung ganzjährig gewährleistet werden kann. Es ist daher erforderlich, dass wassersparende Verfahren weiterentwickelt werden.

Die Bemühungen der Angelfischerei nach Durchgängigkeit der Fließgewässer, Vergrößerung der Gewässerrandstreifen, Erhöhung der hydraulischen Vielfalt, bewirken grundsätzlich die Erhöhung der ökologischen Resilienz bzw. der Widerstandsfähigkeit von aquatischen Ökosystemen gegenüber belastenden Ein-

flüssen und sind deshalb auch im Kontext des Klimawandels relevant zur Minderung negativer Auswirkungen.

Die Veränderung des marinen Fischfangpotenzials in höheren Breiten schafft zunächst auch neue Chancen für die deutsche Fischerei. Um daran unter dem Primat der Nachhaltigkeit erfolgreich teilhaben zu können, müsste das Fischereimanagement derartige Möglichkeiten rechtzeitig in die Bestandsbewirtschaftung einbeziehen und die Kapazitätsanpassung der Flotte an die wachsenden Fangmöglichkeiten in die Planung einbezogen werden.

Nach bisherigem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis wird langfristig global mit einer insgesamt rückläufigen Entwicklung der Erträge aus der marinen Fangwirtschaft gerechnet.

Das bestehende Potential für die Erzeugung hochwertiger tierischer Lebensmittel mit sehr geringen klimarelevanten Umweltkosten muss zukünftig besser genutzt werden.

Forderungen:

- 1. Verstärkung der wissenschaftlichen Forschung in Bezug auf Anpassungsstrategien und Instrumente für die vorhandenen betrieblichen Strukturen ebenso wie für die aquatischen Lebensräume.**
- 2. Unterstützung der Investitionstätigkeit zur Anpassung an Veränderungen der Temperaturen und des Wasserhaushaltes.**
- 3. Anpassung von Managemententscheidungen bei der Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen.**
- 4. Aktive konzeptionelle Arbeit zur Nutzung sich ergebender Chancen z. B. im marinen Bereich.**
- 5. Intensivierung der Kommunikation in Bezug auf die günstige CO₂-Bilanz von Fischerei- und Aquakulturprodukten im Vergleich zu anderen Quellen tierischen Eiweißes für die menschliche Ernährung.**