



**Aktueller Kenntnisstand über mögliche
Auswirkungen von Änderungen
des Abflussgeschehens und der
Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein
und mögliche Handlungsperspektiven**

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Bericht Nr. 204



Impressum

Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Koblenz
Postfach 20 02 53, D 56002 Koblenz
Telefon +49-(0)261-94252-0, Fax +49-(0)261-94252-52
E-mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN 3-941994-26-3978-3-941994-26-3

© IKSr-CIPR-ICBR 2013

Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven

Einleitung	3
1. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf aquatische und amphibische Lebensräume im Rheineinzugsgebiet.....	4
1.1 Allgemeine Wirkungszusammenhänge	6
1.2 Phytoplankton.....	9
1.3 Makrophyten / Phytobenthos.....	12
1.4 Makrozoobenthos	12
1.5 Fischfauna.....	13
1.6 Neobiota	17
2. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf semiaquatische und terrestrische Lebensräume im Rheineinzugsgebiet.....	19
3. Mögliche Handlungsperspektiven zur Abmilderung negativer Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem Rhein	20
3.1 Stärkung der Ökosysteme durch Schutz und Vernetzung von Lebensräumen....	21
3.2 Abmilderung der Auswirkungen erhöhter Wassertemperaturen.....	22
3.3 Abmilderung von Bodenerosion und Sedimenteinträgen infolge von Starkregen und Hochwasser	23
4. Querbezüge zu klimawandelbedingten Maßnahmen der Nutzer	23
5. Möglichkeiten zur Optimierung der Datengrundlage für die biologische Überblickeüberwachung nach WRRL vor dem Hintergrund der zu erwartenden Effekte durch den Klimawandel	24
6. Referenzen.....	26
Anlage	30

Einleitung

Die Auswirkungen der Klimawandelphänomene auf die aquatischen und amphibischen Lebensräume im Rheineinzugsgebiet sind in der Arbeitsgruppe Ökologie der IKSR – auf der Basis vorliegender Literatur- strukturiert zusammengefasst worden.

Ausgangspunkt waren dabei die wichtigsten zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasser- und Wärmehaushalt des Rheins und seiner Nebenflüsse, wie sie in der Literaturstudie¹ und in der "Szenarienstudie"² der Expertengruppe KLIMA der IKSR dargestellt sind. Zur Temperaturentwicklung liegen zurzeit nur die Aussagen der Literaturstudie vor; neuere Aussagen werden 2013 erwartet.

Diese beiden Berichte geben deutliche Hinweise auf die zu erwartenden Änderungssignale des Klimas. Es werden allerdings zu erwartende Bandbreiten für die nahe und ferne Zukunft angegeben, die für ökologische Aussagen nur begrenzt verwertbar sind. Aussagen zu Abflussextrremen, insbesondere zu extremen Hochwasserabflüssen, konnten nicht oder nur mit großen Unsicherheiten prognostiziert werden.

Die Arbeitsgruppe Ökologie hat die vorliegende Literatur zu den möglichen Auswirkungen auf die Ökosysteme am Rhein und an seinen Nebenflüssen aufgrund der bekannten Änderungssignale des Klimas ausgewertet und zusammengefasst. Der Bericht gliedert sich nach den im Atlas zum "Biotopverbund am Rhein" aufgeführten Biotoptypengruppen sowie nach den biologischen Qualitätskomponenten nach WRRL.³

Die Arbeitsgruppe Ökologie ist im vorliegenden Bericht neben der Beschreibung der allgemeinen Wirkungszusammenhänge insbesondere auf die erwarteten Auswirkungen auf die vier biologischen Qualitätskomponenten Phytoplankton, Makrophyten/Phytobenthos, Makrozoobenthos und die Fischfauna einzeln eingegangen; den Neobiota wird zudem ein gesondertes Kapitel gewidmet.

Ein kurzes Kapitel widmet sich ergänzend den semiaquatischen und terrestrischen Lebensräumen.

Eine besondere Rolle kommt der Bestimmung von "Sensitivitätsleitwerten" zu, bei deren Erreichen mit einer bestimmten Betroffenheit des Schutzgutes⁴ zu rechnen ist. Gemäß Mandat der Arbeitsgruppe Ökologie liegt ein besonderer Fokus auf der Erarbeitung einer gemeinsamen Sicht über die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf die Lebensgemeinschaften.

Des Weiteren werden bereits jetzt mögliche Handlungsperspektiven zur Abmilderung der durch den Klimawandel erwarteten negativen Auswirkungen aufgezeigt. Deutlich wird, dass eine Stärkung der Funktionsfähigkeit der Ökosysteme durch Schutz, Vernetzung und Ausweitung von Lebensräumen und der dadurch geförderten Biodiversität grundsätzlich positiv zu sehen ist und daher unter dem Blickwinkel der Auswirkungen des Klimawandels zu fördern ist. Die anstehende Umsetzung des „Biotopverbundes am Rhein“ wird somit auch aus Gründen der Abmilderung der Auswirkungen des Klimawandels immer wichtiger.

Querbezüge zu klimawandelbedingten Maßnahmen der Nutzer und Möglichkeiten zur Optimierung der Datengrundlagen runden das Gesamtbild ab.

¹ IKSR 2009a

² IKSR 2011

³ IKSR 2006

⁴ Die möglicherweise durch den Klimawandel betroffenen Schutzgüter in Zusammenhang mit wasserwirtschaftlichen Fragestellungen sind: Hochwasserschutz, Gewässerqualität, verschiedene Gewässernutzungen wie die Trinkwasserversorgung, die Wasserkraftgewinnung, Schifffahrt und Kühlwasserbereitstellung. Unter Schutzgütern aus Sicht der Ökologie werden die Populationen von Tier- und Pflanzenarten, Biotoptypen / Lebensräume sowie die Funktionsfähigkeit gesamter Ökosysteme verstanden.

1. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf aquatische und amphibische Lebensräume im Rheineinzugsgebiet

Der Klimawandel ist in aquatischen Ökosystemen für die meisten Organismen ein zusätzlicher Stressfaktor zu denen, die durch die vielfachen anthropogenen Interessen bereits bestehen.⁵ Dies gilt im Besonderen für das dicht besiedelte, stark industrialisierte und intensiv landwirtschaftlich genutzte Rheineinzugsgebiet.

Besonders gefährdet durch die sich ändernden Umweltbedingungen sind im Allgemeinen

- seltene Arten;
- Arten mit kleinen bis mittleren Arealgrößen;
- endemische Arten, die in einer bestimmten, räumlich klar abgegrenzten Region vorkommen;
- Arten, die nur geringe Schwankungen der Umweltfaktoren vertragen, so genannte stenöke oder stenotope Arten.

Bei den Lebensräumen sind neben Mooren, Wald, Trockenrasen und Heidegebieten vor allem auch Quellen, Gewässerufer und Küstenhabitats sensibel gegenüber dem Klimawandel.⁶



Abbildung 1: Magerrasen im Schutzgebiet Taubergießen (Foto: Regierungspräsidium Freiburg)

Die Vulnerabilität (das Schadensrisiko) eines Ökosystems hängt von der Ausprägung des Klimawandels in einer Region sowie von der Anpassungsfähigkeit des Ökosystems bzw. der in ihm vorkommenden Arten ab.

Die höchste Vulnerabilität weisen im Rheineinzugsgebiet die Ökosysteme folgender Regionen auf:

- Im Oberrhingraben werden sich die Lebensbedingungen für Organismen voraussichtlich durch höhere Temperaturen, häufigere Hochwässer und Starkregenereignisse sowie eine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter verändern.
- In den Alpen wird der Klimawandel voraussichtlich besonders ausgeprägt sein und eine hohe Anzahl von endemischen Tier- und Pflanzenarten treffen, die teils auf kleinklimatischen Sonderstandorten leben und kaum Ausweichmöglichkeiten haben.

Die geringste Vulnerabilität weisen die Mittelgebirge mit ihrem kühleren und feuchteren Klima auf;⁷ hier gibt es allerdings für Feuchtgebiete und kleinere Gewässer sowie für einzelne Arten, die an kühle und feuchte Witterung angepasst sind, auch negativere Einschätzungen (siehe unten).

⁵ diverse in RABITSCH et al. 2010

⁶ RABITSCH et al. 2010

⁷ ZEBISCH et al. 2005

Im Rahmen des KLIWA-Projekts⁸ wurden direkte und indirekte Veränderungen durch den Klimawandel sowohl auf abiotische Faktoren als auch auf Organismen(gruppen) zusammen gestellt. Bedingt durch die vielfältig wirkenden Faktoren und Nutzungen in großen Einzugsgebieten stellen sich die Wirkungsbeziehungen in den Unterläufen der Fließgewässer komplexer dar als in den Ober- und Mittelläufen. Ein Großteil des Rheinhauptstroms fällt in die Kategorie "Unterlauf eines Gewässers". Eindeutige Reaktionen in eine Richtung (Verstärkung/Abschwächung) können hier oft nicht abgeleitet werden, da bei Untersuchungen häufig gegensätzliche Phänomene beobachtet wurden. Direkte Effekte des Klimawandels, wie z. B. Temperaturerhöhungen, treten in ihrer Bedeutung hinter andere Faktoren (z. B. Stoffkonzentrationen) oder anthropogene Nutzungen zurück. Im Gegensatz zu den Ober- und Mittelläufen ist vor allem in staugeregelten Abschnitten der mögliche Sauerstoffmangel ein wichtiger Faktor.

Abbildung 2 zeigt, welche Parameter in diesem Gewässertyp betroffen sind.

⁸ KLIWA 2010, <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>

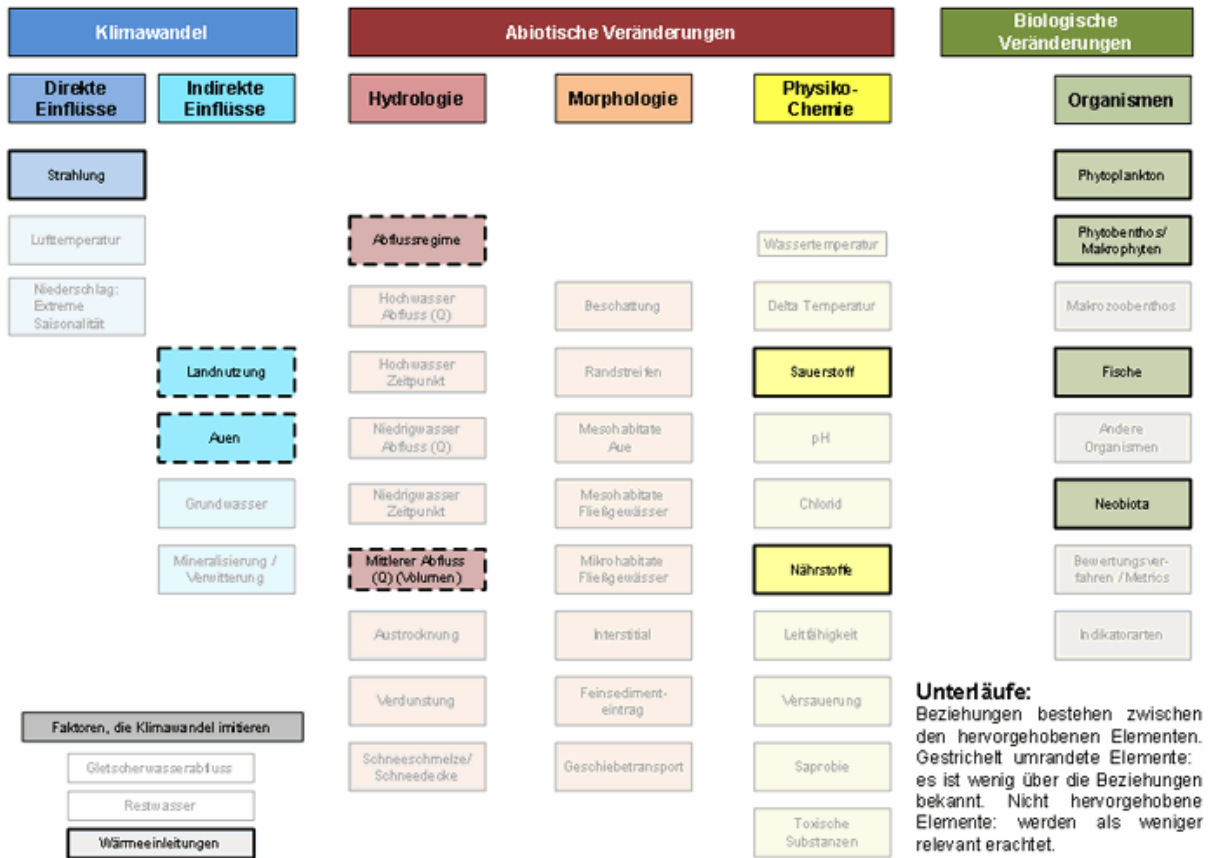


Abbildung 2: Abiotische Faktoren und Organismengruppen im Unterlauf eines Gewässers, auf die der Klimawandel einen Einfluss haben kann.

Beziehungen bestehen zwischen den hervorgehobenen Elementen. Gestrichelt umrandete Elemente: es ist wenig über die Beziehungen bekannt. Nicht hervorgehobene Elemente: werden als weniger relevant erachtet. Quelle: <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de>

1.1 Allgemeine Wirkungszusammenhänge

Hoch- und Niedrigwasser, die vom Menschen als empfindliche Störungen und katastrophale Ereignisse wahrgenommen werden, kommen natürlicherweise vor und sind charakteristisch und wichtig für das Ökosystem Fließgewässer. Die Dynamik der Wasserstände gibt den Organismen im und am Wasser immer wieder neue Möglichkeiten zur Besiedlung und Ausbreitung; viele Arten haben spezifische Überlebensstrategien entwickelt. Die Wirkungen extremer Wasserstände mit häufigerer Wiederkehr, wie sie rezent auftreten, auf Organismen ist allerdings noch wenig untersucht und könnte weitreichendere Folgen haben. Da die Lebensgemeinschaften in großen Flüssen ca. 1 bis 2 Jahre benötigen, um sich zu regenerieren, kann eine Zunahme der Zahl und Dauer von Hoch- und Niedrigwasserständen mittel- und langfristig zu einer Änderung der Besiedlungsstrukturen im Fließgewässer führen.⁹

Anders zu bewerten ist auch eine länger andauernde oder sogar dauerhafte Erhöhung der Wassertemperatur, denn diese steuert viele lebensnotwendige Prozesse in Organismen (s. u.).

⁹ KOOP et al. 2007

Starkregen, hohe Abflüsse und Hochwasser

Bei hohen Abflüssen und Hochwasser sowie bei Starkregen und den nachfolgenden Erosions- und Abschwemmungsprozessen werden höhere Mengen von organischen Stoffen, Salzen und Schadstoffen in die Gewässer eingetragen. Hierdurch kann – bei entsprechend hohen Temperaturen – der mikrobielle Abbau und damit die Sauerstoffzehrung im Gewässer ansteigen, insbesondere unterhalb von Kläranlagen.¹⁰ Bei einer früher einsetzenden Schneeschmelze können von Ackerflächen, in denen im zeitigen Frühjahr noch keine Anbaupflanzen wachsen, Sedimente und Nährstoffe in erheblichem Umfang in die Gewässer eingetragen werden. Hierdurch nimmt der Geschiebetransport zu, mit Auswirkungen auf alle sessilen Organismen und Lebensstadien (Makrophyten, Phytobenthos, Makrozoobenthos, Fischlaich). Zudem kann es durch die Feinstoffe zu Kolmation („Verstopfung“) von Lebensräumen in Kieslücken an der Gewässersohle und dadurch zu Sauerstoffmangel kommen.

Ein möglicher positiver Effekt höherer Abflüsse wäre dort, wo die Verbindung zwischen Fluss und Aue dies zulässt, eine (kurzzeitige) Ausweitung des aquatischen und semi-aquatischen Lebensraums hinein in die Auen, wo wassergebundene Biotope wie Sümpfe, Röhrichte und Hochstaudenfluren, Grünland und Auenwälder von der hydrologischen Dynamik und der Verbreitung von Pflanzensamen profitieren würden. Bei häufigeren kleineren und mittleren Hochwässern wäre die ökologische Flutung von Hochwasserrückhalteräumen unter Umständen häufiger möglich.

Niedrigwasser

Bei Niedrigwasser nehmen die trocken fallenden Flächen im Uferbereich der Flüsse zu, wodurch – bei einer entsprechenden Uferstruktur – neue terrestrische Lebensräume sowie vom Fluss isolierte Restgewässer geschaffen werden. Währenddessen verkleinern sich Volumen und Fläche des mit Wasser gefüllten Lebensraums.

Vegetationsfreie Kiesflächen im Uferbereich werden von Vögeln wie dem Flussregenpfeifer oder dem Flussuferläufer als Brutstandort sowie von Laufkäfern und Spinnen als nahrungsreicher Lebensraum genutzt. Frei bewegliche Wasserlebewesen folgen dem absinkenden Wasserspiegel, während sessile (fest sitzende) Organismen die Trockenheit überdauern müssen, z. B. durch die Bildung von Dauerstadien. Im noch vorhandenen Wasserkörper in der Flussmitte steigen sowohl die Anzahl der Arten als auch die Abundanzen (Individuen m⁻²). Da die Fließgeschwindigkeiten hier meist höher sind als in den nun trocken gefallen Lebensräumen in Ufernähe, sind zahlreiche Organismen der Gefahr der Abdrift ausgesetzt.



Abbildung 3: Schalen der Körbchenmuschel (*Corbicula*) am Ufer der Rheins bei Oberwesel am 24. August 2003 (Foto: W. Wiechmann, BfG)

Die Austrocknung des gesamten Fließ- und Stillgewässers bedeutet das direkte Absterben sowie den Lebensraumverlust für die dortigen Organismen.

Niedrigwasser kann hinsichtlich der chemischen Belastung Konzentrationseffekte verursachen. Hierdurch können empfindliche Organismen geschädigt werden. Bei Niedrigwasser kann es zudem zu einer Aufkonzentrierung von Pathogenen kommen,

¹⁰ Koop et al. 2007

insbesondere, wenn in dem verkleinerten Wasservolumen gleichzeitig die Temperatur und die Sauerstoffzehrung ansteigen (siehe unten).

Wassertemperatur

Die Temperatur ist für Tiere und Pflanzen einer der wichtigsten Umweltfaktoren, denn sie steuert u. a. Reproduktion, Wachstum, Entwicklung und Wanderung. Besonders betroffen sind wechselwarme (poikilotherme) Organismen wie Fische und Makroinvertebraten, die ihre Körpertemperatur nicht selbst regulieren können, sondern stetig ihrer Umgebung anpassen.

Durch höhere Wassertemperaturen können sich die Artenzusammensetzung und die Dominanzstruktur entlang der Flussläufe verändern. Besonders empfindlich sind kaltstenotherme Arten, also solche, die an niedrige Temperaturen gebunden sind. Ihre Areale können sich nach Norden oder in höhere Gewässerregionen verschieben. Eurytherme Arten, die große Temperaturschwankungen ertragen können, sowie Wärme liebende Arten, darunter zahlreiche Neobiota, die bisher eher in den mündungsnahen Bereichen vorkamen, werden begünstigt; sie können sich weiter oben in den Flussläufen ansiedeln. Dies betrifft v. a. Vertreter des Makrozoobenthos und der Fische, aber auch Makrophyten.

Hohe Temperaturen führen zudem zu einem erhöhten Metabolismus. Bei einer Temperaturerhöhung von 10°C verdoppelt sich der Energieverbrauch für den Grundumsatz (Q10-Regel). Wenn nicht ausreichend Nahrung zur Verfügung steht, wird hierdurch das Immunsystem geschwächt. Zudem wird die Verbreitung von Pathogenen, Parasiten etc. begünstigt.¹¹

Vor allem in den Unterläufen der großen Flüsse sind die pflanzlichen Biokomponenten (Phytoplankton, Makrophyten und Phytobenthos) auch durch die intensivere Strahlungseinwirkung betroffen.

Sensitivitätsleitwerte Temperatur

Relevant sind sowohl die mittleren Temperaturen als auch die Höchsttemperaturen.

Präferenzen bezüglich der Wassertemperaturen sind insbesondere für Fische gut dokumentiert. Hier werden u. a. folgende Parameter unterschieden:

Die kritische Temperatur (CTMax oder CTMin) ist erreicht, wenn der Fisch die Fähigkeit verliert, aus der tödlichen Temperaturumgebung zu entfliehen. Im unteren / oberen kritischen Bereich kann eine klare Veränderung des Verhaltens auf Grund der Temperatur beobachtet werden. So gibt es beispielsweise eine Vermeidungstemperatur, eine Umherirrttemperatur und eine Störtemperatur. Im Optimumsbereich nehmen die Fische Nahrung auf und es gibt keine Anzeichen eines temperaturbedingten, abnormalen Verhaltens. Die Vorzugstemperatur ist der Temperaturbereich, in dem sich der Fisch in einem Temperaturgradienten aufhält.¹²

Laut EU-Richtlinie¹³ darf eine Maximaltemperatur von 21,5°C für Salmonidengewässer (= Gewässer, in denen Kaltwasserfische / Lachs- und Forellenartige leben) und 28°C für Cyprinidengewässer (Gewässer, in denen Warmwasserfische / Karpfenfische leben) nicht überschritten werden. In Gewässern, in denen sich Fischarten fortpflanzen, die dazu kaltes Wasser benötigen, darf die Wassertemperatur während der Laichzeit nicht über 10°C steigen. Die Temperaturgrenzwerte dürfen in 2% der Fälle zeitlich überschritten werden.

Neben den Maximaltemperaturen ist vor allem die Dauer der Hitzeperiode entscheidend für das Überleben von Wasserorganismen. So wurde im Sommer 2003, als die Temperatur des Rheinhauptstroms an 41 Tagen über 25°C lag, ein Massensterben von

¹¹ KOOP et al. 2007, RABITSCH et al. 2010

¹² KÜTTEL et al. 2002, vgl. auch Tab. 1 in der Anlage

¹³ Richtlinie 2006/44/EG vom 6. September 2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten

Muscheln und Aalen beobachtet. Im Jahr 2006, nach einer 31 Tage andauernden Hitzeperiode, blieb ein Massensterben hingegen aus.¹⁴

Speziell von hohen Wassertemperaturen betroffen sein können Ausflüsse von großen Seen, die sich stärker als Fließgewässer erwärmen. So führte die extreme Hitzeperiode im Sommer 2003 in der direkt unterhalb des Bodensees liegenden Rheinstrecke zu einem Massensterben von rund 50.000 Äschen (20,9 Tonnen Fische). Bei Stein am Rhein wurden am 12. August 2003 in 4 Meter Tiefe Wassertemperaturen von 25.9 °C gemessen, im Uferbereich stiegen die Werte über 27 °C.¹⁵

Sensitivitätsleitwerte Sauerstoff

Die Sauerstoffkonzentration im Wasser liegt normalerweise bei mindestens 6 bis 9 mg/l. Ist das Gewässer organisch belastet, kann die Sauerstoffzehrung, insbesondere bei hohen Temperaturen, stark ansteigen. Wird eine Sauerstoffkonzentration von 4 mg/l in Cyprinidengewässern oder von 6 mg/l in Salmonidengewässern unterschritten, wird dies als kritische Grenze für die jeweilige Fischfauna dieser Gewässer angesehen.¹⁶ Selbst bei niedrigen Temperaturen können die meisten Fischarten bei Sauerstoffkonzentrationen < 3 mg/l nicht überleben.¹⁷

1.2 Phytoplankton

Eine Verbesserung der Lebensbedingungen für das Phytoplankton – Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit, erhöhte Nährstoffgehalte und erhöhte Temperaturen über einen längeren Zeitraum im Jahr – bedeutet in der Regel eine Abnahme der ökologischen Qualität des Gewässers.

Vor allem in Stillgewässern führt ein stärkeres Wachstum des Phytoplanktons zunächst zu einer Sauerstoffübersättigung, dann zu Sauerstoff zehrenden Abbauprozessen, während der Filtrierer – also „Planktonfresser“ wie z. B. die Körbchenmuscheln der Gattung *Corbicula* und die Dreikantmuscheln der Gattung *Dreissena* ihre Tätigkeit reduzieren. Dadurch verstärkt sich wiederum das Planktonwachstum.¹⁸

Modellergebnisse sagen zumeist eine Zunahme z. B. der Chlorophyll-Konzentrationen voraus, bedingt durch geringere Abflüsse, gestiegene Temperaturen und Eutrophierungsprozesse.¹⁹

Ein Experiment zeigte aber auch, dass eine Temperaturerhöhung einen negativen Einfluss auf die Phytoplankton-Biomasse, die mittlere Zellgröße und den Anteil an Mikroplankton-Diatomeen haben kann und damit über die Nahrungskette einen geringeren Energietransfer von Primärproduzenten zu Fischen erwarten lässt.²⁰

Bei einer Trockenperiode wie z. B. im Sommer 2003 und einer damit einhergehenden Zunahme der Wassertemperatur wurde u. a. im Rhein eine starke Zunahme sowohl des Phytoplanktons als auch der Makrophyten beobachtet.²¹ Vor allem Diatomeen vermehrten sich stark. Neben der Verkrautung der Gewässer besteht auch die Gefahr einer starken Zunahme von Blaualgen (Cyanobakterien).²²

Neben dem Einfluss der Algenbildung auf den Sauerstoffhaushalt im Gewässer (siehe oben) kann es auch zu einer „biogenen Entkalkung“ durch starkes Algenwachstum kommen. Wie 2003 am Hochrhein beobachtet werden konnte, verfärbt sich das Wasser

¹⁴ KOOP et al. 2007

¹⁵ BUWAL 2004

¹⁶ vgl. Richtlinie 2006/44/EG vom 6. September 2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten

¹⁷ aus KOOP et al. 2007; CASSELMANN & HARVEY 1975

¹⁸ IKSR 2009e

¹⁹ aus KLIWA 2010; ZEBISCH et al. 2005; WAGENSCHNEIDER 2006, STADTHAGEN 2007, DUCHARNE et al. 2007, QUIEL et al. 2008

²⁰ aus KLIWA 2010; SOMMER & LENGFELLNER 2008

²¹ Bundesanstalt für Gewässerkunde 2006

²² IKSR 2004

durch die Kalkausscheidungen der Algen milchig und es bildet sich Schaum. Bei entsprechend hohen pH-Werten wird Ammonium zunehmend in das für Fische giftige Ammoniak überführt.²³

Das Gewässergütemodell QSim (*Quality Simulation*) der BfG ermöglicht die Simulation der Planktonentwicklung, insbesondere der Algen, sowie der Gewässergüte und der organischen Schwebstofffrachten; im Zuge der Weiterentwicklung werden hier realistischere Prognosen, auch für den Rhein, erwartet.²⁴



Abbildung 4: Verschiedene Ansichten von Gewässern mit starker Vermehrung von Cyanobakterien. (Quelle: M. Leitão, Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France)

²³ BUWAL 2004

²⁴ aus KLIWA 2010: KIRCHESCH & SCHÖL 1999

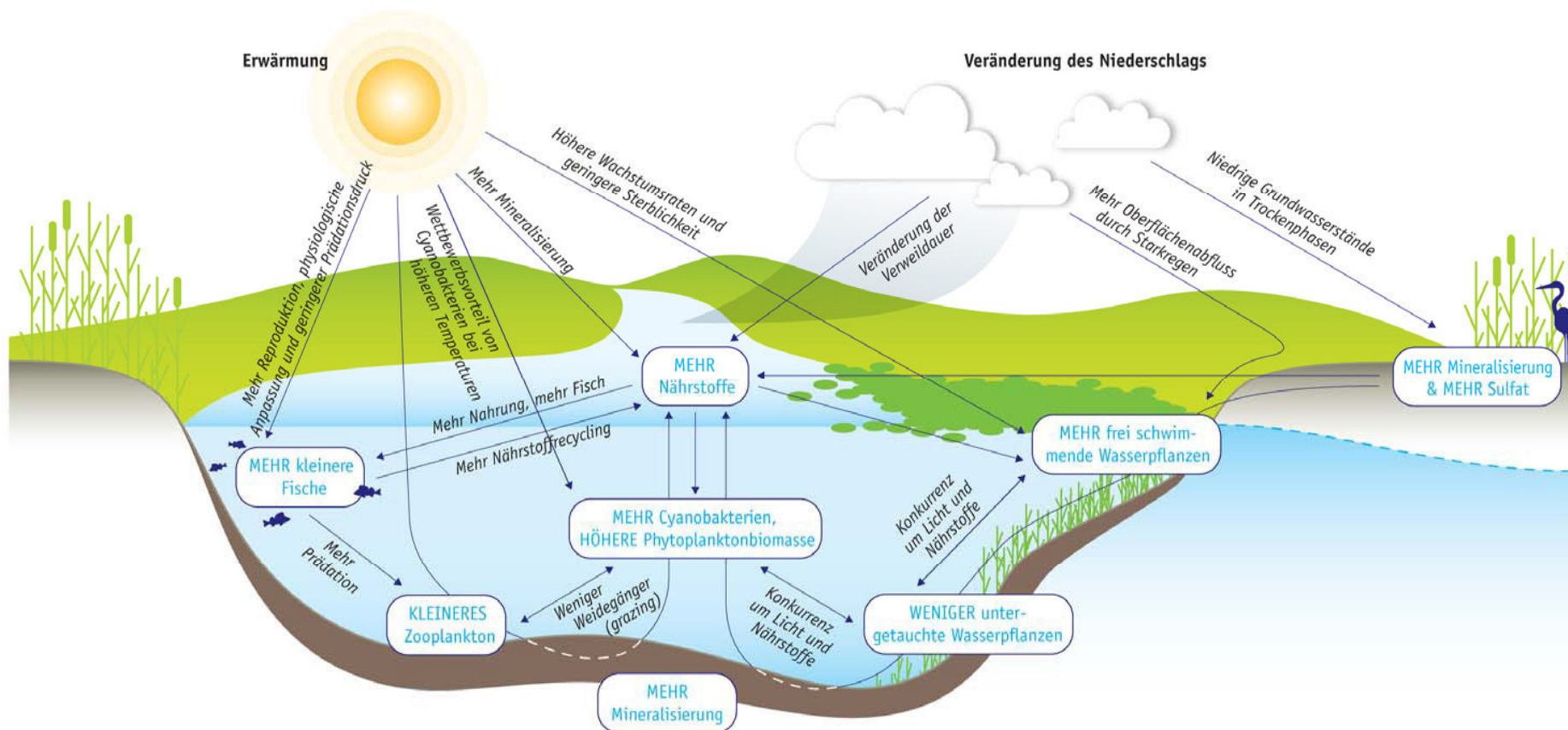


Abbildung 5: Wichtigste Effekte des Klimawandels.

Konzeptuelle Darstellung der wichtigsten Effekte des Klimawandels auf Eutrophierung und Eutrophierungseffekte. Quelle: STOWA 2011, nach Moss et al. 2011 (International Society for Limnology).

1.3 Makrophyten / Phytobenthos

Das Abflussgeschehen und der damit verbundene Geschiebetransport haben erheblichen Einfluss auf das Wachstum der Makrophyten. Vor allem bei Hochwasser wird in erhöhtem Maße Sediment bewegt, was sich sowohl auf das Phytobenthos wie auf Makrophyten negativ auswirkt. Von einer zunehmenden Eutrophierung durch diffuse Nährstoffeinträge, z. B. bei Starkregen, dürften einzelne Makrophytenarten (z. B. Flutender Hahnenfuß, *Ranunculus fluitans*) profitieren, bis hin zu einer starken Verkräutung des Gewässers. Hiermit ist häufig eine Abnahme der ökologischen Qualität verbunden. Insbesondere in Verbindung mit hohen Temperaturen und einer starken Strahlungsintensität kann sich die Biomasse von Phytobenthos und Makrophyten rasch entwickeln und es ist ein ebenso rascher Zusammenbruch möglich. Dieses Absterben und Zersetzen von organischem Material hat dann eine Erniedrigung der interstitiellen Sauerstoffgehalte, d.h. im Lückensystem der Gewässersohle, zur Folge ("biogen induzierte Kolmation"; vgl. "Fischfauna").²⁵

Von einer Temperaturerhöhung wären vor allem die kaltstenothermen Pflanzenarten der feinsedimentreichen kleinen Fließgewässer und Quellen sowie Bergseen negativ betroffen; bei seltenen Arten könnte es zu einem Rückgang kommen. Beispiele sind Quellkraut (*Montia fontana*), Gegenblättriges Milzkraut (*Chrysosplenium oppositifolium*) und Alpen-Laichkraut (*Potamogeton alpinus*).²⁶

1.4 Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos wird vorwiegend negativ durch den Klimawandel beeinflusst. Eine Untersuchung von Zuflüssen des Mittelrheins (Wisper, Gründelbach, Nette, Saynbach, Ahr) ergab, dass durch die rückstauende Wirkung der Hochwasser des Rheins die Strömungsgeschwindigkeit in den Unterläufen reduziert und aufgrund der verringerten Schleppkraft des Wassers die Sedimentation erhöht wird. Durch diese Störung gibt es in diesen Flussabschnitten weniger Makroinvertebratenarten als in den höher gelegenen Bereichen und es herrscht eine andere Dominanzstruktur vor: Der Anteil strömungsliebender (rheophiler) Arten nimmt ab. Im Laufe einiger Wochen nach einem Rheinhochwasser nimmt der Anteil rheophiler Arten im Zufluss dann wieder zu und es entwickelt sich wieder eine Zönose, die sich deutlich von der des Rheins unterscheidet.²⁷ Bei häufigeren Rheinhochwassern kann sich diese Erholungsphase verkürzen, so dass die Zönose dauerhaft verarmt.

Das Trockenfallen von Substraten bei Niedrigwasser kann dazu führen, dass die sonst dort dominierenden Arten zurückgedrängt werden. Die meisten Makroinvertebraten können einer Änderung des Wasserspiegels mit einer Geschwindigkeit von weniger als 40 bis 50 cm h⁻¹ mühelos folgen und nur extreme Ereignisse wirken sich auf die Lebensgemeinschaft aus.

Es wurden auch bereits massive Wanderungen von Makroinvertebraten in Richtung der Mündungen von Nebenflüssen beobachtet; hierdurch weichen die Tiere den Konzentrationseffekten durch Niedrigwasser sowie höheren Wassertemperaturen aus.²⁸

Eine Temperaturerhöhung wird insbesondere das Makrozoobenthos in den Bächen, kleinen Flüssen und Quellregionen der Gebirgsregionen treffen, darunter viele kaltstenotherme Arten. Eine Verschiebung der Lebensgemeinschaften entlang des Fließgewässersverlaufes tritt auf, mit der Gefahr der „Gipfelfalle“ für kaltstenotherme Organismen, die nicht weiter nach oben ausweichen können (vgl. Fischfauna).²⁹

Beispiele sind:

- mehrere Quellschneckenarten (*Bythinella spp.*),

²⁵ IBISCH 2004

²⁶ MKUNLV 2010

²⁷ aus KLIWA 2010: BECKMANN 2002

²⁸ KLIWA 2010

²⁹ aus KLIWA 2010: CORDELLIER 2009, LORENZ & GRAF 2008; diverse in WWF 2009

- die Quell-Erbsenmuschel (*Pisidium personatum*),
- mehrere Libellenarten, z. B. Gestreifte Quelljungfer (*Cordulegaster bidentata*), Alpen-Mosaikjungfer (*Aeshna caerulea*), Hochmoor-Mosaikjungfer (*Aeshna subarctica elisabethae*) und Alpen-Smaragdlibelle (*Somatochlora alpestris*);
- zahlreiche Steinfliegenarten (Plecoptera)
- zahlreiche Köcherfliegenarten (Trichoptera), z. B. *Agapetus fuscipes*.³⁰

Ein sekundärer Effekt beim Rückgang von wichtigen Grasern wie *A. fuscipes* in kleinen Bächen, wären ein verstärkter Biofilm sowie Algenschichten auf Steinen (vgl. Makrophyten / Phytobenthos).

Vor allem in den Kalkalpen gibt es unter den Wirbellosen eine hohe Anzahl an Endemiten, die bei einer Temperaturerhöhung gefährdet wären.

Bei extrem heißen Sommertemperaturen muss mit Muschelsterben gerechnet werden, wie im Sommer 2003 aufgetreten.³¹

Vom Klimawandel profitieren könnten z. B. Chironomiden, Gammariden oder Wärme liebende Arten, z. B. die Spitze Blasenschnecke (*Physella acuta*) aber auch viele Neozoen, die teils Konkurrenzdruck auf heimische Arten ausüben (vgl. „Neobiota“). Es ist anzunehmen, dass die Zunahmen dieser Arten in der Regel eine Verschlechterung des ökologischen Zustandes nach WRRL bewirken.³²

Erhöhte Winterwassertemperaturen können z. B. den vorzeitigen Abbruch eines Ruhestadiums oder veränderte Entwicklungszeiten bewirken.³³

Manche Arten zeigen auch einen höheren Voltinismus, d. h. sie reproduzieren sich häufiger und es gibt mehrere Generationen pro Jahr.³⁴

1.5 Fischfauna



Abbildung 6: Lachsmännchen (Foto: Ulrich Haufe, LÖBF)

Einträge und Geschiebe

Durch den Eintrag von feinem Bodenmaterial, z. B. bei Starkregen, kann eine Kolmation des Interstitials erfolgen, d. h. die Zwischenräume der Kiesbetten am Flussgrund, in denen kieslaichende Fische (u. a. Lachse und Forellen) ihre Eier ablegen und in denen die geschlüpften Jungfische sich aufhalten, kann durch die eingetragenen Sedimente verfüllt und der verbleibende Sauerstoff im Wasser der Kieslückensystem reduziert werden.³⁵

Aufgrund der durch diffuse Einträge verschlechterten Wasserqualität können zudem Laich und Jungfische geschädigt werden.

³⁰ MKUNLV 2010, RABITSCH et al. 2010

³¹ aus KLIWA 2010: LUBW 2004

³² DAUFRESNE et al. 2007, GROB 2003, LUBW 2004 und SCHÖLL 2007 in KLIWA 2010

³³ MEHLIG & ROSENBAUM-MERTENS 2008, FISCHER 2003, LADEWIG 2004 in KLIWA 2010

³⁴ aus KLIWA 2010: BRAUNE et al. 2008

³⁵ MKULNV 2010, IBISCH 2004

Die Geschiebedynamik ist ein natürlicher Vorgang im Fließgewässer, der die Gewässersohle immer wieder neu strukturiert und mit Sauerstoff versorgt. Allerdings sind Zeitpunkt und Häufigkeit entscheidend; diese könnten sich durch den Klimawandel ändern.

Da durch das Abschmelzen der Gletscher und des Permafrostes in den Alpen Schutt freigelegt wird, erwartet man, dass viele Gebirgsflüsse infolgedessen künftig mehr Kies und Sand mitführen werden. Die Folge ist eine stärkere Geschiebebewegung. Erfolgt diese im Winter während der Reproduktionszeit und während des Schlüpfens der Bachforellen, die im Kies laichen, können Laich und Jungfische geschädigt werden.³⁶

Niedrigwasser

Niedrige Abflüsse sind allgemein ungünstig für die Fischmigration. Dauert eine Phase mit Niedrigwasserabfluss zu lange an, können Wanderfische ihr Zeitbudget bis zum Erreichen des Laichgewässers nicht einhalten und es kann zu Notablaichungen in suboptimalen Habitaten kommen. Zudem ist das Mortalitätsrisiko durch Fischerei oder Prädation erhöht.

Durch reduzierte Abflüsse könnten lokal 4% bis 22% (maximal bis 75%) der Biodiversität an Fischen bis 2070 verschwinden.³⁷

Trockenperioden, insbesondere in Verbindung mit höheren Wassertemperaturen, können vermehrtes Fischsterben sowie ein vermehrtes Auftreten von Krankheiten auslösen (siehe unten).



Abbildung 7: Niedrigwasser 2009 am Rhein (Foto: Marc Braun)

Wassertemperatur

Im Vergleich zu den relativ temperaturliberalen Cypriniden haben Salmoniden eine relativ enge Temperaturtoleranz (vgl. Tab. 1 in der Anlage).

Werte wie das kritische Temperaturmaximum und der Optimumsbereich (s. o.) unterscheiden sich für die verschiedenen Lebensstadien und sind für Eier und Juvenile meist enger als für adulte Fische, während bei letzteren insbesondere während der Laichzeit wiederum spezielle Ansprüche an die Wassertemperatur zu beobachten sind. Für die Entwicklung der Fische ist die Anzahl aufeinanderfolgender Tage, an denen eine bestimmte Wassertemperatur herrscht, entscheidend.³⁸

Zudem gibt es eine regionale Anpassung von Fischpopulationen einer Art. So wird z. B. für Forellen (*Salmo trutta*, im Rheingebiet mehrere Unterarten) eine Gefährdung durch hohe Wassertemperaturen und Niedrigwasser lediglich für den südeuropäischen Raum,

³⁶ laufendes Projekt SEDRIVER, <http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/wildbaeche/projekte/sedriver/>

³⁷ aus KLIWA 2010: XENOPOLOUS et al. 2005

³⁸ TISSON & SOUCHON 2010

inklusive der Alpen vorhergesagt.³⁹ Bachforellen-Eier, -Embryonen und -Jungfische im Alpenraum (und evtl. auch in den Mittelgebirgen) werden möglicherweise durch die wärmeren Temperaturen den Winter besser überstehen können - aber auch nur bis zu einem gewissen Grad der Erwärmung. Lokal angepasste Bachforellenpopulationen könnten sich als relativ tolerant gegenüber erhöhten Temperaturen erweisen und somit das Überleben der Art ermöglichen. Solche Toleranzen sind zumeist nicht physiologischer Art, sondern eine Anpassung im Lebenszyklus, wie zum Beispiel eine Verlagerung des Laichzeitpunktes.

Wenn aufgrund milderer Winter die Laichzeit von Fischen früher einsetzt, würden über einen längeren Zeitraum im Jahr kleine zooplanktonfressende Fische im Nahrungsnetz anwesend sein⁴⁰.

Da Forellen wichtige Prädatoren von Makroinvertebraten sind, würde ihr Rückgang das gesamte aquatische Nahrungsnetz betreffen.⁴¹

Längsverteilung der Fischgemeinschaften

In den Mittelgebirgen und den Alpen führt die Temperaturabhängigkeit von Lebensprozessen zu einer deutlichen Längsverteilung der Fischgemeinschaften von der Quelle bis zur Mündung. Man spricht von der Forellen-, Äschen-, Barben- und Brachsenregion. Diese Einteilung ergibt sich durch die stetige Zunahme der Wassertemperatur und der Abnahme des Gefälles eines Flusses von der Quelle bis zur Mündung. So ist die Verbreitung der Salmoniden in der Regel auf die Oberläufe, die der Cypriniden auf die Unterläufe beschränkt.

Bei einem Anstieg der Wassertemperaturen wird der Lebensraum für Warmwasserfische wie Barben, Brassen, Ukelei, Schmerle und Döbel verlängert. Sie können sich flussaufwärts ausbreiten und somit vom Klimawandel unter Umständen sogar profitieren. Salmoniden hingegen sind an kühle Gewässer angepasst und werden zurückgedrängt bzw. werden versuchen, durch Wanderung in höhere Lagen kritische Temperaturen zu vermeiden.⁴² In einem Modell für ein alpines Gewässers (Mur, Donaugebiet) wurde für eine Wassertemperaturerhöhung von ca. 1 °C beispielsweise eine Verschiebung der Salmonidenregionen bis zu 27 km in Richtung Quelle prognostiziert. Eine Modellierung ergab für den Oberrhein einen Rückgang der Bachforelle und eine gleichzeitige Zunahme des Döbels.⁴³ Die Erhöhung der Wassertemperatur im Oberlauf der Rhône (unterhalb des Genfer Sees) um 1,5°C in den letzten 30 Jahren hat sich stärker auf die Fischfauna ausgewirkt als die Erhöhung um 3,0°C im Unterlauf. Dort dominierten bereits vorher thermophile Arten. Einige rheophile Cyprinidenarten haben sich in höhere Regionen zurückgezogen.⁴⁴

Die Wanderung in höhere Lagen ist allerdings nur möglich, wenn die flussaufwärts gelegenen Gewässerabschnitte zugänglich sind und eine geeignete Struktur aufweisen. Da die meisten Nebenflüsse des Rheins in bergigen Regionen durch Querbauwerke stark fragmentiert sind und somit die vorausgesagte Verschiebung von Fischgemeinschaften in höhere Lagen in den meisten Fällen gar nicht möglich ist, würden höhere Wassertemperaturen den Rückgang oder sogar das lokale Aussterben mancher Arten zur Folge haben (vgl. Tab. 1 in der Anlage). Zudem sind viele Arten des Mittel- und Unterlaufs (Hyporhitral und Epipotamal) nicht an die hohen Fließgeschwindigkeiten der Oberläufe angepasst, so dass fraglich ist, ob sie die entstehende „Lücke“ im Artenspektrum auffüllen und die Fischbestände in den Gewässeroberläufen stabil bleiben können.

³⁹ Eurolympacs 2009, NOTTER & STAUB 2009; vgl. auch Abb. 2

⁴⁰ STOWA 2011

⁴¹ Eurolympacs 2009

⁴² RABITSCH et al. 2010

⁴³ PONT 2003

⁴⁴ KHALANSKI et al. 2008

Durch Einwanderung ähnlicher Arten werden sich die Populationen im sommerkühlen bis leicht sommerwarmen Mittel- und Unterlauf (Hyporhithral und Epipotamal) mehr vereinheitlichen⁴⁵.

Bei den Quellpopulationen wird die Artenvielfalt durch Zuwanderung von Arten aus weiter unten gelegenen Gewässerabschnitten zunehmen, wobei spezielle Quellarten, auch aufgrund der erhöhten Konkurrenz, lokal aussterben können, da sie nicht nach oben ausweichen können und ggf. von der (temporären) Austrocknung der Quellen betroffen sind.



Abbildung 8: Mögliche Verbreitung der Bachforelle in der Schweiz im Jahr 2050

nach einem Modell des BAFU bei einer Lufttemperaturerhöhung von 5,5 °C. In diesem Szenario würde sich der für Bachforellen optimale Raum um 44% der heutigen Fläche verringern (bei anderen Szenarien beträgt die Verringerung mindestens 6%). Dies würde bedeuten, dass die Bachforelle im Schweizerischen Mittelland praktisch nicht mehr vorkommt. Blau: Flussabschnitte, in denen Bachforellen leben können. Pink: Flussabschnitte, die zu warm für Bachforellen sind. Quelle: NOTTER & STAUB 2009

Wie der Lachs ist der **Stint** ein Wanderfisch mit Fettflosse, der kühles Wasser mit einem relativ hohen Sauerstoffgehalt benötigt. In einigen Seen, in denen der Stint vorkommt, u. a. im IJsselmeer, hat sich der Sauerstoffhaushalt durch den Klimawandel verändert, verstärkt durch organische Belastung (Eutrophierung). Bei hohen Temperaturen kann der Sauerstoffgehalt (für kurze Zeit) so niedrig sein, dass er für den Stint letal ist. Auch die Bestände an Coregonen und Quappen sind aus diesem Grund stark zurückgegangen. Dieser Bestandsrückgang wird nicht durch Arten, die besser an höhere Temperaturen und niedrige Sauerstoffkonzentrationen angepasst sind, kompensiert, so dass die Fischbestände durch den Verlust der kälteliebenden Arten insgesamt zurückgehen. Für Flüsse wurden diese Zusammenhänge aufgrund der besseren Sauerstoffversorgung im fließenden Wasser nicht beobachtet.⁴⁶

Fischwanderung

Eine gewisse Anpassungsfähigkeit der Wanderfische an die größere Variabilität von Niederschlägen und Abflüssen kann erwartet werden, da sie bekanntermaßen günstige Abflussverhältnisse für die Wanderung ausnutzen und in ungünstigen Phasen abwarten. Durch Starkregen in kleineren Einzugsgebieten und durch höhere Abflüsse in allen Fließgewässergrößen kann es kurzfristig und lokal sogar günstigere Bedingungen für die Fischmigration geben.

Zu warme Gewässerabschnitte können sich zu einer thermischen Barriere für wandernde Fischarten (z. B. Lachs, Meerforelle, Maifisch) auf dem Weg vom Meer in ihre Laichgewässer entwickeln. Diese müssen die großen Cyprinidengewässer (insbesondere Rheinhauptstrom, Mosel, Main) durchwandern, bis sie ihre kühleren Reproduktionsgewässer (Metarhithral bis Epipotamal) erreichen. Wie u. a. bei

⁴⁵ aus KLIWA 2010: BUISSON & GRENOUILLET 2009

⁴⁶ vgl. KANGUR et al., diverse Publikationen; LAMMENS (RWS), mündl. Mitteilung

Transponderuntersuchungen im Rhein festgestellt werden konnte, stellen aufwandernde adulte Salmoniden ihre Wanderbewegungen bei Temperaturen um 25°C ein. Dies ist als Anzeichen von Stress zu werten; das Zeitbudget, das den Rückkehrern bis zum Abblähen zur Verfügung steht, wird durch die Unterbrechung der Wanderung belastet.⁴⁷ Hohe Temperaturen wie im Hitzesommer 2003, als die Wassertemperaturen im Rhein über einen Zeitraum von rund 6 Wochen im Juli / August nahe oder sogar über 27°C lagen, und in Zuflüssen (z. B. Sieg) knapp 28°C gemessen wurden, verursachten Unterbrechungen der Migration adulter Salmoniden, die sich bisher allerdings nur auf kurze Zeiträume erstreckten. In Verbindung mit anthropogenen Einflüssen (Wärmeeinleitungen) könnte eine erhöhte Wassertemperatur im Rhein und seinen Zuflüssen dennoch zukünftig ein limitierender Faktor für die Lachspopulation im Rhein darstellen.⁴⁸

Krankheiten

Bei hohen Temperaturen unterhalb des letalen Bereichs steigt das Mortalitätsrisiko durch Stress und Infektionen, insbesondere für die als unbeabsichtigter Beifang zurückgesetzten Individuen.⁴⁹

Bei Salmoniden wirken sich die erhöhten Temperaturen negativ auf das Immunsystem aus und machen die Tiere anfälliger für Krankheiten. So wird z. B. die Proliferative Nierenkrankheit (*Proliferative Kidney Disease*, PKD), die bei Bachforellen ab einer Wassertemperatur von 15 °C tödlich ist, durch die Klimaerwärmung voraussichtlich vermehrt auftreten.⁵⁰

Auch die Rotaalseuche, eine bakterielle Erkrankung beim Europäischen Aal, wird durch Hitzestress sowie durch das häufige Aufeinandertreffen der Fische im verringerten Wasservolumen offensichtlich begünstigt.⁵¹

1.6 Neobiota

Seit einigen Jahren, durch Schifffahrt und anthropogene Nutzung verstärkt, wird im Rhein und seinen Zuflüssen eine erhebliche Veränderung in den Lebensgemeinschaften durch einwandernde Neobiota beobachtet, so dass biologische Wechselwirkungen abiotische Effekte des Klimawandels teils überlagern.

Bei Verbreitung und Einwanderung gebietsfremder Arten ist der Klimawandel meist nicht der wichtigste Faktor; er kann jedoch bei einigen Arten die Ansiedlung erleichtern und die Abundanz stark beeinflussen.⁵²

Viele Neobiota sind tolerant gegenüber Eutrophierung, Versalzung und insbesondere höheren Temperaturen und profitieren damit indirekt vom Klimawandel.

Die Vermehrung und Verbreitung der meisten Wärme liebenden Neobiota wird durch milde Winter gefördert und durch anhaltende winterliche Wassertemperaturen unter 5°C eingeschränkt.

⁴⁷ IKSR 2009b; BREUKELAAR (RWS), mündl. Mitteilung

⁴⁸ IKSR 2009b

⁴⁹ IKSR 2009b

⁵⁰ aus KLIWA 2010: WAHLI et al. 2002, STERUD et al. 2007; BURKHARDT-HOLM 2009

⁵¹ IKSR 2004, KOOP et al. 2007

⁵² STOWA 2011

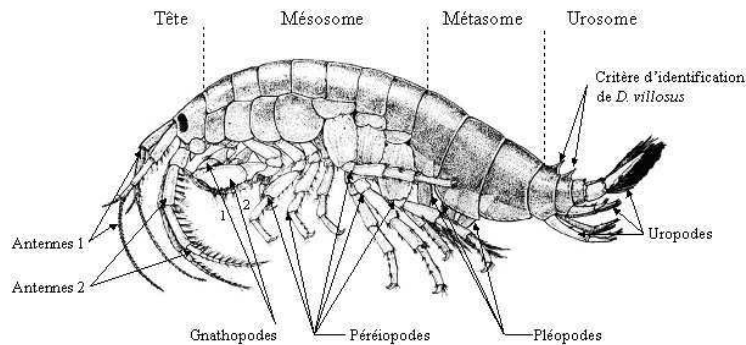


Abbildung 9: Neozoon *Dikerogammarus villosus* (Quelle: Universität de Lorraine)

Makrophyten

Die Schmalblättrige Wasserpest *Elodea nuttallii*, ein Neophyt, der seit Mitte des letzten Jahrhunderts in Mitteleuropa nachgewiesen wurde und sich rasant ausgebreitet hat, ist tolerant gegenüber einer hohen Temperaturamplitude. Bei Temperaturen ab 4 °C kann Wachstum erfolgen, ebenso kurzzeitig noch bei Wassertemperaturen über 28°C. Die Art könnte demnach bei steigenden Wassertemperaturen vom Klimawandel profitieren. In den letzten Jahren hat *E. nuttallii*, die bis dahin stark verbreitete, ebenfalls neophytische Kanadische Wasserpest (*Elodea canadensis*), die lediglich Temperaturen bis 25°C duldet, zurückgedrängt. Planktonalgen sind ebenfalls durch die starke Konkurrenz mit *E. nuttallii* betroffen.

Der amerikanische Große Wassernabel (*Hydrocotyle ranunculoides*) bevorzugt stehende oder langsam fließende sowie eutrophe Gewässer und hat ein physiologisches Optimum zwischen 25° und 30°C. Bisher wurde die Art im Rheineinzugsgebiet nur in der Erft nachgewiesen. Die Art übt bei dichten Beständen durch ihre Schwimm- und Überwasserblätter einen starken Konkurrenzdruck auf andere submerse Arten aus und kann heimische Arten verdrängen.⁵³

Auch für den Wärme liebenden Großen Algenfarn (*Azolla filiculoides*) wird eine Ausbreitung erwartet.⁵⁴

Makrozoobenthos

Die aus Südostasien stammende Grobgerippte Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*) ist zurzeit in den Wasserstraßen die dominante Massenart. Sie reagiert empfindlich auf niedrige Wassertemperaturen, weshalb ihre Ausbreitung vermutlich in Richtung Osten begrenzt ist, während man sie z. T. massenhaft unterhalb von Warmwassereinleitungen auffindet. Bei solch massenhafter Ausbreitung können Körbchenmuscheln heimische Süßwasserschneckenarten zurückdrängen. Bei maximalen Wassertemperaturen von bis zu 30°C sinkt die Überlebenszeit von *C. fluminea* allerdings von mehr als einem Monat auf wenige Tage, so dass es, wie in 2003 im Rhein beobachtet, zu einem Massensterben kommen kann.⁵⁵

Weitere Arten, die voraussichtlich von höheren Wassertemperaturen profitieren werden, sind der Große Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) sowie der Gefleckte Strudelwurm (*Dugesia tigrina*).

Die neozoische Neuseeländische Zwergdeckelschnecke (*Potamopyrgus antipodarum*) profitiert von den niedrigen Wasserständen, da sie als Weidegänger im Weichsubstrat auf Nahrungssuche geht.

⁵³ HUSSNER et al. 2010; diverse in KLIWA 2010

⁵⁴ MKULNV 2010

⁵⁵ KOOP et al. 2007

Fischfauna

Die Kesslergrundel (*Neogobio kessleri*) gilt in der Donau als heimische Art und breitete sich von dort aus über den Main-Donau-Kanal bis ins Rheingebiet aus. Die Art toleriert Wassertemperaturen von 25° bis 30°C. Dadurch, dass sie räuberisch von Invertebraten lebt, steht sie in Konkurrenz mit heimischen Fischarten. Zudem frisst sie auch Fischlaich und könnte somit die Wiederansiedlungsprogramme von Lachs und anderen Fischarten negativ beeinflussen.

Ein ähnliches Verhalten zeigt die Schwarzmaulgrundel (*Neogobio melanostomus*, u. a. heimisch im Schwarzen Meer). Diese Fischart könnte zudem aufgrund ihrer nächtlichen Nahrungssuche heimische Fische verdrängen. Ähnliche Auswirkungen sind auch von der Fluss-Grundel (*Neogobius fluviatilis*) zu erwarten, obwohl diese Art mit einer Temperaturtoleranz von 4° bis 20°C weniger vom Klimawandel profitieren dürfte.

Die zur kommerziellen Nutzung eingeführte und bereits lange etablierte Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) ist im Vergleich zur heimischen Bachforelle (*Salmo trutta fario*) toleranter gegenüber höheren Wassertemperaturen (10° bis 24°C) und geringeren Sauerstoffgehalten und könnte damit ebenfalls vom Klimawandel profitieren.⁵⁶

2. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf semiaquatische und terrestrische Lebensräume im Rheineinzugsgebiet

- **Sümpfe, Röhrichte und Hochstaudenfluren (Biotoypengruppe 3)**
- **Grünland (Biotoypengruppe 4)**
- **Trockenbiotope (Biotoypengruppe 5)**
- **Auenwälder / sonstige Wälder der ehemaligen Aue (Biotoypengruppe 6 und 7)**

Während längerer Trockenphasen im Sommer kann es in Feuchtbiotopen wie Röhrichtern, Hochstaudenfluren, Feucht- und Nasswiesen sowie Auwäldern durch Austrocknung, Verdunstung und sinkende Grundwasserspiegel zu einer verstärkten Humus- und Torfmineralisation kommen und dadurch zu einer erhöhten Nährstofffreisetzung und Eutrophierung. In trockenen Biotopen hingegen kommt es zu einer geringeren Nährstoffverfügbarkeit und somit zu einer Oligotrophierung. Beide Vorgänge können Verschiebungen des Artenspektrums zur Folge haben, die mit dem Verlust seltener Arten einhergehen können.

Zahlreiche Arten der semiaquatischen Lebensräume sind auf eine hohe Bodenfeuchte und / oder eine bestimmte Vegetation angewiesen und bei sich verändernden Bedingungen vom Aussterben bedroht.⁵⁷

In Trockenbiotopen können sich z. B. mediterrane Arten ansiedeln und ausbreiten, die längere Trockenzeiten aushalten können, darunter gegebenenfalls auch Neophyten. Viele Wärme liebende Arten (z. B. einige Orchideen, Vögel oder Fluginsekten), die im Rheineinzugsgebiet heimisch, aber am nördlichen Rand ihres Verbreitungsgebietes sind, werden voraussichtlich von den steigenden Temperaturen profitieren und eventuell auch verlorene Lebensräume zurückerobern können. Hierbei kommt dem Rheintal zwischen Oberrhein und Deltarhein eine besondere Rolle als Wanderkorridor von Süd nach Nord zu.

Im Grünland ist mit dem früheren Beginn von Mahd und Beweidung und somit auch mit Folgen für Grünlandarten zu rechnen.

⁵⁶ BUWAL 2002

⁵⁷ MKUNLV 2010



Abbildung 10: Auenlandschaft bei Bingen (Foto: Klaus Wendling)

3. Mögliche Handlungsperspektiven zur Abmilderung negativer Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem Rhein

Obwohl das Thema Klimawandel im Text der EU-WRRL nicht explizit enthalten ist, haben die EU-Wasserdirektoren im Rahmen ihrer "Gemeinsamen Umsetzungsstrategie" festgestellt, dass dieses Thema in zahlreichen Handlungsfeldern in der zyklischen Umsetzung der WRRL integriert werden kann. Konkret werden die Typisierung der Gewässer, die Analyse von Beeinträchtigungen („*pressures and impacts*“), die ökonomische Analyse, das Monitoring, die Maßnahmenprogramme sowie die Zielvorgaben genannt.⁵⁸ Auf der Grundlage verfügbarer Kenntnisse sollten die Maßnahmenprogramme einem Klimacheck unterzogen werden. Es soll überprüft werden, welche Maßnahmen die Anpassungsfähigkeit stärken oder schwächen, welche Maßnahmen als *No-regret* oder *Win-win*-Lösungen betrachtet werden können und welche Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit zur Erreichung der WRRL-Ziele mehr oder weniger robust gegen Auswirkungen des Klimawandels sein könnten (*robust measures*). Ab 2015 sollen die Bewirtschaftungspläne „klimasicher“ (*climate proofed*) sein.⁵⁹ Insbesondere die ökologischen und morphologischen Qualitätsziele der WRRL scheinen geeignet, die Resilienz (Widerstandsfähigkeit) der Gewässer gegenüber veränderten klimatischen Bedingungen zu erhöhen.

Es gibt Einschätzungen, nach denen für Gewässer, die heute im Grenzbereich zwischen Zielzustand und „mäßigem Zustand“ liegen, ein erhöhtes Risiko besteht, infolge der bis 2050 erwarteten Auswirkungen des Klimawandels den „guten Zustand“ zu verfehlen. Für Wasserkörper, die nach heutigen Kriterien den „guten Zustand“ aufweisen, wird dieses Risiko geringer eingeschätzt. Es wird erwartet, dass, je geringer die organische und trophische Belastung eines Wasserkörpers (Oberflächenwasser, Grundwasser) und je geringer die morphologischen Beeinträchtigungen der Oberflächenwasserkörper sind, die Auswirkungen eines zu erwartenden Temperaturanstiegs auf die Wasser- und Gewässergüte desto geringer sein werden.⁶⁰

⁵⁸ European Commission 2009, vgl. auch REESE 2011

⁵⁹ Bericht „Best practices and approaches for a climate check of the first Programmes of Measures“ an EU-Wasserdirektoren (11/2008)

⁶⁰ „mittelharte“ bzw. „harte“ Aussage, entnommen aus BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT Österreich (2010)

Entsprechend gilt es, diese Beeinträchtigungen zu minimieren, um die Vulnerabilität von Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen am Rhein von "hoch" auf "mäßig" zu reduzieren.

Die im Folgenden aufgeführten Handlungsperspektiven stammen größtenteils aus den bereits vorliegenden nationalen Anpassungsstrategien sowie internationalen Berichten zum Klimawandel.

3.1 Stärkung der Ökosysteme durch Schutz und Vernetzung von Lebensräumen

In Folge des Klimawandels ist mit Änderungen der Verbreitung der Ökosysteme und der darin vorkommenden Arten zu rechnen. Gerade deshalb kommt dem Schutz der Lebensräume weiterhin eine besondere Bedeutung zu. Der Erhalt und die Ausweitung bestehender sowie die Ausweisung neuer Schutzgebiete und die Verbesserung der Lebensräume werden sowohl Arten, die bereits jetzt bedroht sind, als auch Arten, die im Zuge des Klimawandels bedroht sein könnten, gestärkt.

Schutzkonzepte für Schutz- und Schongebiete sollten flexibel und an neue Gegebenheiten anpassbar sein. Angesichts des Aussterbens einzelner Arten oder des Rückgangs von Arten, die bisher nicht bedroht waren, sollten z. B. Zielartenkataloge gegebenenfalls angepasst werden können. Der Referenzzustand (u. a. Artengemeinschaft) sollte ggf. überprüft werden.

Gebietsfremde, insbesondere invasive Arten (Neozoen, Neophyten) sollten beobachtet und erforscht werden (vgl. 4.). Prävention und Kontrolle sind jedoch insbesondere in den Wasserstraßen enge Grenzen gesetzt (Wiesner et al. 2010, LUWG 2011).

Vor dem Hintergrund von sich verändernden Umweltbedingungen bekommt der Prozessschutz eine höhere Bedeutung. Hierzu zählt das Zulassen der natürlichen Sukzession und Naturverjüngung sowie das Ermöglichen der freien Wanderung von Arten (siehe unten).

Ein vielfältiges Mosaik an Lebensräumen fördert bekanntermaßen die Biodiversität. Am Rhein und seinen Nebenflüssen sind dies zum Beispiel:

- frei fließende Strecken, insbesondere mit Laichplätzen für rheophile Fischarten;
- naturnah umgestaltete Ufer;
- an den Hauptstrom angeschlossene Altarme, Nebenrinnen und sonstige Nebengewässer;
- Brackwasserzonen (naturnäherer Übergang von Süß- zu Salzwasser)

sowie alle Ersatzlebensräume für durch Ausbaumaßnahmen verschwundene Lebensräume im Strombett und deren qualitative Verbesserung.

Auen und Auengewässer sollten möglichst wieder ans Fließgewässer angebunden werden. Auen sollten extensiv als Grünland oder Wald und nicht für den Ackerbau genutzt werden. Dies sind Beispiele für Win-Win-Maßnahmen, die neben dem Nutzen für die Biodiversität, den Biotopverbund und den guten Zustand des Gewässers auch in zweierlei Hinsicht zum Hochwasserschutz beitragen: Durch die Rückhaltung von Hochwasser in der Fläche und vorsorgend durch die Minderung von Schadenspotenzialen und Risiken in den Überschwemmungsgebieten.

Wo möglich, sollte die natürliche Dynamik der Fließgewässer wieder zugelassen werden.⁶¹

Beispiele für Programme im Rheineinzugsgebiet, die dieses aufgreifen, sind folgende:

- "Flussrevitalisierungen" in der Schweiz⁶²
- „Trame verte et bleue“ in Frankreich⁶³
- "Integriertes Rheinprogramm" in Baden-Württemberg⁶⁴

⁶¹ Partenariat für Umwelt und Klima 2011, Luxemburg

⁶² vgl. BAFU / EAWAG 2010

⁶³ vgl. www.legrenelle-environnement.fr/-Trame-verte-et-bleue-.html

⁶⁴ vgl. www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1188090/index.html

- „Aktion Blau“ / „Aktion Blau Plus“ in Rheinland-Pfalz
- „Lebendige Gewässer“ in Nordrhein-Westfalen
- "Mehr Raum für den Fluss" in den Niederlanden⁶⁵
- der „Masterplan Wanderfische Rhein“ der IKSR im gesamten Rheineinzugsgebiet.⁶⁶

Potenzielle Klima-Refugialräume könnten identifiziert und mit aktuellen Arealen bedrohter Fischarten vernetzt werden.⁶⁷

Durch eine Biotopvernetzung wird Arten, deren Lebensraum sich z. B. durch Temperaturerhöhung nach Norden oder ins Gebirge verschiebt, die Wanderung in klimatisch günstigere Gebiete ermöglicht.

Die anstehende Umsetzung des „Biotopverbundes am Rhein“⁶⁸, in dem die vorgenannten Aspekte für den Rheinhauptstrom und seine Auen genau beschrieben werden, wird somit auch aus Gründen der Abmilderung der Auswirkungen des Klimawandels immer wichtiger.

3.2 Abmilderung der Auswirkungen erhöhter Wassertemperaturen

Wenn Nebengewässer mit dem Hauptstrom vernetzt sind, haben Fische aus dem Rhein lokal Rückzugsmöglichkeiten in kühleren (z. B. schattigeren) Seitenarmen und -gewässern. Flussaufweitungen ermöglichen zudem den Austausch des Flusswassers mit dem Grundwasser. Bei hohen Wassertemperaturen sind solche kalten Grundwasseraufstöße auch ein Rückzugsort für Fische. Entlang der Ufer der kleinen und mittleren Nebengewässer sollten Gehölze gepflanzt bzw. die Eigenbesiedlung zugelassen werden, um den Anstieg der Wassertemperatur durch Beschattung zu begrenzen. Für große Teile des Rheinhauptstroms und für die großen Zuflüsse ist diese Maßnahme aufgrund der Gewässerbreite wenig wirksam.

Eine zusätzliche anthropogene Erhöhung der Wassertemperatur durch Wärmeeinleitungen sollte auf ein Mindestmaß beschränkt werden und darf der Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials nicht entgegenstehen. Laut EU-Richtlinie⁶⁹ darf eine Maximaltemperatur von 21,5°C für Salmonidengewässer (= Gewässer, in denen Kaltwasserfische / Lachs- und Forellenartige leben) und 28°C für Cyprinidengewässer (Gewässer, in denen Warmwasserfische / Karpfenfische leben) nicht überschritten werden. In Gewässern, in denen sich Fischarten fortpflanzen, die dazu kaltes Wasser benötigen, darf die Wassertemperatur während der Laichzeit nicht über 10°C steigen. Die Temperaturgrenzwerte dürfen in 2% der Zeit überschritten werden.

Da mit der Einführung der WRRL die für die EU-Mitgliedstaaten Norm setzende Fischgewässerrichtlinie mit Ablauf 2013 entfällt, werden neue Regeln für Wärmeeinleitungen zu entwickeln sein. In Deutschland ist geplant, diese ausgehend von den Festsetzungen in der neu verabschiedeten Oberflächengewässerverordnung (OGewV) aufzustellen. Diese würden dann die Ansprüche von Arten oder Artengemeinschaften in bestimmten Fließgewässertypen über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen. Im Einzelfall kann mit neuartigen Steuerungsinstrumenten die Einhaltung jahreszeitabhängiger Leitwerte mit ökologisch optimaler Wirkung und geringst möglichem ökonomischen Verlust gewährleistet werden. Droht ein Leitwert überschritten zu werden, kann der Betrieb von Wärmekraftwerken gedrosselt oder es können andere Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmeeinleitung ergriffen werden.⁷⁰ Im Fall von Hitzeperioden

⁶⁵ vgl. www.ruimtevoorderivier.nl/

⁶⁶ vgl. IKSR 2009c

⁶⁷ FREYHOF 2009 in RABITSCH et al. 2010

⁶⁸ IKSR 2006

⁶⁹ Richtlinie 2006/44/EG vom 6. September 2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. Entfällt ab 31.12.2013 (WRRL, Art. 22)

⁷⁰ HOFFMANN et al. 2011

sollten der Informationsaustausch über getroffene Maßnahmen zur Reduzierung von Wärmeeinleitungen und die internationale Vernetzung der Akteure verbessert werden.

Bei Besatzmaßnahmen mit Fischen sollte überprüft werden, ob sich der ausgewählte Flussabschnitt hinsichtlich seiner Temperaturen aktuell für die gewünschte Art eignet, auch wenn die Art früher dort ansässig war.⁷¹

3.3 Abmilderung von Bodenerosion und Sedimenteinträgen infolge von Starkregen und Hochwasser

Durch Uferrenaturierung und extensivierte landwirtschaftliche Nutzung im Uferbereich, z. B. durch die Bevorzugung von Grünland (Dauerwiesen und –weiden) gegenüber Ackerland, können die Bodenerosion und Sedimenteinträge, insbesondere bei Starkregen oder Hochwasser, eingeschränkt werden (vgl. 2.1).

Auch eine Reduzierung der Flächenversiegelung kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten und ist zudem eine vorbeugende Maßnahme gegen Hochwasser (*win-win*).⁷²

4. Querbezüge zu klimawandelbedingten Maßnahmen der Nutzer

In den Nutzungssektoren am Rhein – u. a. Energiewirtschaft, Industrie, Schifffahrt, und Landwirtschaft – sind aufgrund des Klimawandels Änderungen zu erwarten, die indirekt Effekte auf die Ökologie des Rheins haben werden.

Solche Effekte können durch Aktivitäten hervorgerufen werden, die entweder zur Reduzierung von CO₂-Emissionen oder aber zur Kompensation von Auswirkungen des Klimawandels durchgeführt werden.

Anbau von Energiepflanzen

Der Anbau von Energiepflanzen zieht eine intensive ackerbauliche Nutzung nach sich. Wo diese in reaktivierten Auen praktiziert wird, können die Folgen ein Verlust der Vielfalt von Arten und Lebensräumen in der Aue sowie ein erhöhter Eintrag von Nährstoffen und Feinsedimenten ins Gewässer sein. Die meisten Energiepflanzen entziehen dem Grund zudem mehr Wasser als andere Ackerfrüchte.

Wasserkraft

Der Neubau von Querbauwerken mit Wasserkraftanlagen setzt die Durchgängigkeit herab und verringert den Anteil frei fließender Gewässerstrecken. Dies stellt insbesondere für Zielarten- bzw. Programmgewässer für Wanderfische und Rundmäuler, für ihre Wanderkorridore und Laichgewässer eine besondere Belastung dar, die nach Möglichkeit vermieden werden sollte.⁷³

Hochwasserschutz

Ein verstärkter technischer Hochwasserschutz sollte nur lokal in Siedlungsgebieten erfolgen. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist ein Hochwasserschutz, der die ökologische Funktionsfähigkeit der Uferstrukturen und Auen einbezieht (durch Flutung von Poldern oder Deichrückverlegung) dort, wo dies möglich ist, dem technischen Hochwasserschutz vorzuziehen.

⁷¹ FIBER-Newsletter 03/2010,

http://www.fischereiberatung.ch/newsletter/News_10_03/index?clear_lang=1#klima

⁷² Partnerschaft für Umwelt und Klima 2011, Luxemburg

⁷³ IKSR 2009b

5. Möglichkeiten zur Optimierung der Datengrundlage für die biologische Überblicksüberwachung nach WRRL vor dem Hintergrund der zu erwartenden Effekte durch den Klimawandel

Schifffahrt

Aufgrund der bereits jetzt häufiger auftretenden Niedrigwassersituationen im Rhein gibt es in der Schifffahrt erste Ansätze, kleinere Schiffe insbesondere für den Gütertransport einzusetzen. Dies würde einen geringeren Wellenschlag und damit geringere Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere am Ufer als positive Folge haben. Fahrrinnenvertiefungen, die eine Schifffahrt auch bei Niedrigwasser garantieren sollen, beeinträchtigen die Flusssohle als Lebensraum bspw. für Makrozoobenthosorganismen. Natürlicherweise bilden sich in einem Fließgewässer strömungsberuhigte Untiefen und Kolke, die Jungfischen, z. B. abwandernden Smolts und jungen Maifischen sowie auch aufsteigenden Glasaalen als Aufenthaltsfläche dienen. Aufsteigende Laichtiere (z. B. Lachs, Meerforelle, Maifisch) suchen die kühleren Kolke insbesondere bei Niedrigwasser (verbunden mit besonders hohen Wassertemperaturen) auf, um dort Wanderpausen einzulegen. Die Einebnung und (Teil-)Verfüllung dieser Strukturen sollte, wo möglich, vermieden werden, um Lebensräume und Rückzugsmöglichkeiten zu erhalten.

Guter ökologischer Zustand / gutes ökologisches Potenzial

Nicht nur auf der Ebene der Maßnahmen, sondern auch in den Bewirtschaftungszielen müssen mögliche Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt werden. Für jeden Gewässertyp wurde anhand des natürlichen Referenzzustandes der "gute ökologische Zustand" bzw. für die erheblich veränderten Wasserkörper das "gute ökologische Potenzial" konkret definiert. Wenn der "gute ökologische Zustand" in einem unbelasteten (Referenz-)Gewässer nicht mehr erreicht wird oder wenn die Zielerreichung unter den veränderten Klimabedingungen einen unverhältnismäßig hohen Aufwand erfordern würde, kann eine Anpassung der Ziele erforderlich werden. Mit solchen Zielanpassungen sollte jedoch sehr vorsichtig umgegangen werden, um eine Absenkung der angestrebten ökologischen Qualität zu vermeiden.⁷⁴

Artenzusammensetzung und Dominanzstruktur entlang der Flussläufe könnten sich bei steigenden Wassertemperaturen verändern, Areale nach Norden oder in höhere Gewässerregionen verschieben. Dies gilt für das Spektrum der heimischen Arten, aber auch für einzelne Neobiota, deren massive Ausbreitung in den Gewässern, vor allem in den schiffbaren Abschnitten, durch den Klimawandel mit verursacht ist. Stellenweise machen Neozoen im Rhein mehr als 90% der Biomasse aus. Zumindest bei den „jüngeren“ Neuzuwanderern aus wärmeren Regionen (Schwarzes Meer, Südamerika, Asien) wird davon ausgegangen, dass eine zunehmende Erwärmung der Gewässer die Ausbreitungsmöglichkeiten weiter begünstigen kann.⁷⁵

Diese dynamische Entwicklung stellt möglicherweise die langfristige Gültigkeit der Referenzzustände für die biologische Qualitätskomponente Makrozoobenthos und eventuell auch für Fische und Makrophyten in Frage. Einigen Staaten im Rheineinzugsgebiet haben das Ansiedlungspotenzial sowie die ökologischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Auswirkungen von Neobiota bereits bewertet.⁷⁶

⁷⁴ REESE 2011

⁷⁵ Regierungspräsidium Freiburg 2009

⁷⁶ BUWAL 2002, Schweiz; Partenariat für Umwelt und Klima 2011, Luxemburg

Klimamonitoring

Aufgrund der vielfältigen Nutzungen großer Ströme und ihrer Einzugsgebiete lassen sich die Wirkungsbeziehungen zwischen Einflüssen, die durch den Klimawandel getrieben werden und anderen anthropogenen Einflüssen (Schifffahrt, Kühlwassereinleitungen etc.) besonders schwer entflechten. Die Entwicklung der Neozoen in den Wasserstraßen ist ein prägnantes Beispiel dafür. Darüber hinaus sind viele biologische Prozesse vom Abflussgeschehen mit gesteuert. Dies trifft insbesondere auf die Entwicklung des Phytoplanktons und die Ausbildung von Wasserpflanzenbeständen in Strömen zu.⁷⁷ Die Betrachtung einzelner Indikatororganismen ist aufgrund der beobachteten biologischen Umbauprozesse in den Artengemeinschaften der Wirbellosen, aber auch der Fischfauna im Rhein daher äußerst schwierig. Veränderungen, die durch den Klimawandel bedingt werden, zeigen sich möglicherweise erst langfristig auf der Basis biozönotischer Indizes, die direkt oder indirekt vom Temperatur- oder Abflussregime bzw. vom Niveau des Nährstoffgehalts beeinflusst werden. Dies ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.⁷⁸ Inwieweit sich die Ergebnisse dieser Forschung als übertragbar und praxistauglich im Rahmen von Monitoringprogrammen für den Rhein erweisen, muss derzeit offen bleiben. Eine solide Datengrundlage, wie sie im bestehenden IKSR-Messprogramm Biologie⁷⁹ vorliegt, ist daher für die zukünftige Entwicklung von Instrumenten für ein Klimamonitoring sehr bedeutsam.

⁷⁷ KLIWA 2010

⁷⁸ z. B. MARTEN 2011

⁷⁹ vgl. IKSR 2009d

6. Referenzen

- BAFU (BUNDESAMT FÜR UMWELT) (2010): Strategie der Schweiz zur Anpassung an die Klimaänderung - Zwischenbericht zuhanden des Bundesrats.
- BAFU / EAWAG 2010: Flussrevitalisierungen: Synergien zwischen Hochwasserschutz und Ökologie. Informationstagung des Projekts «Integrales Flussgebietsmanagement», 25. November 2010, Kulturhalle 12, Bern. www.rivermanagement.ch .
- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2006): Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland: Ursachen - Wirkungen - Folgen. Mitteilung Nr. 27. 211.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft. www.klimawandelanpassung.at .
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Kurzfassung. Wien.
- BUNZEL-DRÜKE, Margret (2011): Wie reagieren Fische und Rundmäuler auf den Klimawandel? Natur in NRW 4/11, S. 27 – 32.
- BUWAL (2002): Einwanderung von Fischarten in die Schweiz – Rheineinzugsgebiet. Mitteilungen zur Fischerei, Nr. 72, Bern.
- BUWAL (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369, Bern. <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00533/index.html?lang=de>
- Euro-Limpacs-Projekt (2009): Definition of indicators for Climate Change effects on freshwater ecosystems. <http://www.climate-and-freshwater.info>.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT (2006): Richtlinie 2006/44/EG vom 6. September 2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten (Kodifizierte Fassung). Amtsblatt der EU.
- EUROPEAN COMMISSION (2009): River Basin Management in a changing climate. Technical Report 2009-040, Guidance document No. 24, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). (Leitfaden Nr. 24 zur Gemeinsamen Umsetzungsstrategie zur Wasserrahmenrichtlinie) .
- HOFFMANN, A.; KAUFMANN, G.; WINDMANN, M.; TISCHBIERECK, J.; LEONHARD, V. (2011): Temperaturmanagement in der Wupper. Natur in NRW 1/11, S. 34-40.
- HUSSNER, A., WEYER, K. VAN DE, GROSS, E., HILT, S. (2010): Eine Übersicht über die aquatischen Neophyten in Deutschland – Etablierung, Auswirkungen und Managementperspektiven. Handbuch Angewandte Limnologie – 27. Erg. Lfg. 4/10: 1-27.
- IBISCH, Ralf B. (2004): Biogene Steuerung ökologischer Systemeigenschaften des hyporheischen Interstitials der Lahn (Hessen). Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Wasserwesen, Institut für Hydrobiologie, Dresden.
- IKSR (2004): Wärmebelastung der Gewässer im Sommer 2003. Zusammenfassung der nationalen Situationsberichte. 70. Plenarsitzung 8./9. Juli 2004 - Bern. IKSR-Bericht Nr. 142d.
- IKSR (2006): Biotopverbund am Rhein. Bericht & Atlas. www.iksr.org – Broschüren.
- IKSR (2009a): Analyse des Kenntnisstands zu den bisherigen Veränderungen des Klimas und zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt im Rhein-Einzugsgebiet. IKSR-Bericht Nr. 174, www.iksr.org.
- IKSR (2009b): Fischökologische Gesamtanalyse einschließlich Bewertung der Wirksamkeit der laufenden und vorgesehenen Maßnahmen im Rheingebiet mit

Blick auf die Wiedereinführung von Wanderfischen. IKSR-Bericht Nr. 167 (Langfassung).

- IKSR (2009c): Masterplan Wanderfische Rhein. IKSR-Bericht Nr. 179, www.iksr.org.
- IKSR (2009d): Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007, Teil A: Synthesebericht über die Qualitätskomponenten Phytoplankton, Makrophyten / Phytobenthos, Makrozoobenthos, Fische. IKSR-Bericht Nr. 168, www.iksr.org.
- IKSR (2009e): Rhein-Messprogramm Biologie 2006/2007, Teil II-A. Das Phytoplankton im Rhein (2006-2007). IKSR-Bericht Nr. 169, www.iksr.org.
- IKSR (2011): Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins - Stand April 2011. IKSR-Bericht Nr. 188, www.iksr.org.
- KANGUR A., KANGUR P., KANGUR K. & MÖLS T. (2007) The role of temperature in the population dynamics of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus m. spirinchus* Pallas in Lake Peipsi (Estonia/Russia). *Hydrobiologia* 584, 433–441.
- KANGUR K., KANGUR A., KANGUR P. & LAUGASTE R. (2005) Fish kill in Lake Peipsi in summer 2002 as a synergistic effect of cyanobacterial bloom, high temperature and low water level. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology Ecology* 54, 67–80
- KANGUR A., Kangur P., Kangur K. & Möls T. Long-term effects of concurrent eutrophication and environmental extremes on the fish community of Lake Peipsi (Estonia/Russia). Submitted to *Fishery Management and Ecology*.
- KHALANSKI, M., CARREL, G., DESAINT, B., FRUGET, J.-F., OLIVIER, J.-M., POIREL, A., SOUCHON, Y. (2008): Étude thermique globale du Rhône - Impacts hydrobiologiques des échauffements cumulés (*Global thermal study of the Rhone - Hydrobiological impact of cumulative warming - with english summary*). *Hydroécologie Appliquée* 16: 53-108.
- KLIWA (2010): Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität – Literaturlauswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung. Bericht im Auftrag des KLIWA-Konsortiums. 59 S. + Anhang.
- KLIWA (2010): Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (Kooperation zwischen dem Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit und dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz => „Fließgewässerbiologie und Klimawandel“ <http://fliessgewaesserbiologie.kliwa.de/>.
- KOOP, J.H.E., BERGFELD, T., KELLER, M. (2007): Einfluss von extremen Niedrigwasser-Ereignissen und gleichzeitigen "Hitzeperioden" auf die Ökologie von Bundeswasserstraßen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 51, Heft 5, S. 202-209
- KÜTTEL, S., Peter, A., Wüest, A. (2002): Temperaturpräferenzen und –limiten von Fischarten Schweizerischer Fließgewässer. Rhône Revitalisierung, Publikation Nummer 1.
- LAWA (2007): Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement – Empfehlungen, 15 S.
- LAWA (2010): Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ - Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen. 36 S.
- LUWG (Hg.) (2011): Neubürger in Rhein und Mosel. – Infoblatt Gewässerschutz 01/11.
- MARTEN, M. (2011): Makrozoobenthos und Klimawandel – reichen unsere Monitoringsysteme aus? Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie, Bayreuth 2010. S. 375-380.
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (2011): Plan national d'adaptation de la France aux effets du changement climatique 2011 – 2015. www.developpement-durable.gouv.fr .

- MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN, LANDBOUW EN INNOVATIE (2010): Deltaprogramma / Nationaal waterplan 2009 - 2015. www.rijksoverheid.nl
- MKULNV (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW) (2010): Natur im Wandel: Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. www.umwelt.nrw.de
- MOSS, B., KOSTEN, S., MEERHOFF, M., BATTARBEE, R.W., JEPPESEN, E., MAZZEO, N., HAVENS, K., LACEROT, G., ZHENGWEN, L., DE MEESTER, L., PAERL, H. & SCHEFFER, M. (2011): Allied attack: climate change and nutrient pollution. *Inland waters* 1 (2011), pp. 101-105
- NOTTER, B., STAUB, E. (2009) Lebensraum der Bachforelle um 2050. GWA Gas, Wasser, Abwasser. Nr. 1/2009: 39-44.
- PARTENARIAT FÜR UMWELT UND KLIMA (2011): « Paquet Climat » (6 mai 2011), Synthesedokument der *groupe de pilotage* für eine nationale Nachhaltigkeitsstrategie, Luxemburg. www.developpement-durable-infrastructures.public.lu
- PONT, D. (Koordinator) (2003): Programme GICC – AQUABIO. Conséquences potentielles du changement climatique sur les biocénoses aquatiques et riveraines françaises - Rapport final. CNRS, Université de Lyon
- RABITSCH, W., WINTER, M., KÜHN, E., KÜHN, I., GÖTZL, M., ESSL, F. und GRUTTKE, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. BfN-Heft Nr. 98, Bonn.
- REESE, M. (2011): Die Anpassungen an den Klimawandel im Bewirtschaftungssystem der Wasserrahmenrichtlinie. Zeitschrift für Wasserrecht, Heft 2/2011, S. 61-82.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (2009): Bewirtschaftungsplan Hochrhein (Baden-Württemberg) gemäß EG-WRRL. Freiburg.
- STERUD, E., FORSETH, T., UGEDAL, O. POPPE, T. T., JOERGENSEN, A., BRUHEIM, T., FJELDSTAD, H.-P., MO, T. A. (2007): Severe mortality in wild Atlantic salmon *Salmo salar* due to proliferative kidney disease (PKD) caused by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa). *Disease of Aquatic Organisms*, 77: 191-198.
- STOWA (Stichting toegepast onderzoek waterbeheer) 2011: Een frisse blik op warmer water. Over de invloed van klimaatverandering op de aquatische ecologie en hoe je de negatieve effecten kunt tegengaan. Stowa-Bericht Nr. 2011-20 im Auftrag von Rijkswaterstaat waterdienst. Amersfoort.
- TERRA INCOGNITA STEDENBOUW EN LANDSCHAPSARCHITECTUUR im Auftrag des Ministerie van Infrastructuur, Milieu, Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2009): Handreikingen Ruimtelijke Kwaliteit Rijn / Waal / IJssel. www.ruimtevoorderivier.nl
- TISSOT, L., SOUCHON, Y. (2010): Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen (*Synthesis on thermal tolerances of the principal freshwater fish species of large Western Europe rivers*). *Hydroécologie Appliquée*, Band 17, S. 17-76.
- UNECE (2009): Guidance on water and adaptation to climate change.
- WAHLI, T., KNUESSEL, R., BERNET, D., SEGNER, H., PUGOVKIN, D., BURKHARDT-HOLM, P., ESCHER, M., SCHMIDT-POSTHAUS, H. (2002): Proliferative kidney disease in Switzerland: current state of knowledge. *Journal of Fish Disease*, 25: 491-500.
- WIESNER, C.; Wolter, C., Rabitsch, W. & S. Nehring (2010): Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich. BfN-Skripten 279, 192 S.
- WWF Deutschland (2009): Die mögliche Wirkung des Klimawandels auf Wassertemperaturen von Fließgewässern. Frankfurt am Main.
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HABE, C., FRITSCH, U., CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien

klimasensitiver Systeme. Kurzfassung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), UFOPLAN 201 41 253.

Anlage

Tabelle 1 : Prognostizierter Einfluss eines Temperaturanstiegs auf Fische und Rundmäuler im Rheingebiet und in anderen mitteleuropäischen Flüssen

Erläuterungen: **EU-Aalverordnung:** Nr. 1100/2007/EG des Rates vom 18.9.2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals; **FFH- oder Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie** Nr. 92/43/EWG des Rates vom 21.5. 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen; **CITES:** Washingtoner Artenschutzabkommen

Fischart wissenschaftl. Name	Fischart deutscher Name	Prognose	Schutzstatus, Herkunft	Bemerkung <u>tolerierete Temperaturen / Extremwerte (und Optimum)</u>	Quelle
<i>Abramis brama</i>	Brassen	Zunahme		Eier 8-28°C (18-23°C) Larven 17,5-19,5°C Juvenile 14-34°C Adulte 8-28°C / 35°C (23-26°C) Laichzeit 8-23°C / 28°C (12-20°C) Verlängerung des Lebensraums in den Fließgewässern der Mittelgebirge und in den Alpen	KÜTTEL et al. 2002, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alburnus alburnus</i>	Ukelei	Abnahme		Abnahme in französischen Flüssen bei einem Temperaturanstieg von 2°C prognostiziert	PONT & CRANE in PONT 2003
		Zunahme		kann Wassertemperaturen von > 20°C tolerieren; starke Zunahme prognostiziert Eier 21-27°C Larven 22,5°C Adulte 20-38°C (20-30°C) Laichzeit 14-28°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, MKUNLV 2010, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Schneider	Abnahme		Bedingt durch voraussichtlich geringere Ausdehnung der Äschenregion Eier 16,3-19,3°C Larven 12-24°C Adulte 1,9-23,9°C Laichzeit 12-25°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Alosa alosa</i>	Maifisch	Zunahme	FFH Anhang II & V	Aufgrund des Wiederansiedlungsprojekts, nicht aufgrund des Klimawandels	BUNZEL-DRÜKE 2011

Fischart wissenschaftl. Name	Fischart deutscher Name	Prognose	Schutzstatus, Herkunft	Bemerkung tolerierte Temperaturen / Extremwerte (und Optimum)	QUELLE
<i>Anguilla anguilla</i>	Aal	Abnahme	CITES Anhang II, EU-Aalverordnung	Juvenile (Glasaale): > 15°C Adulte: > 0/ 8°C, < 30 / 39°C (8-29°C / 22-23°C) Gefährdung durch Stress und Krankheiten in Hitzeperioden; Rotaalseuche wird begünstigt	KÜTTEL et al. 2002, IKSR 2004
				Keine Veränderung	BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Aspius aspius</i>	Rapfen	Zunahme	FFH Anhang II & V		BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Barbus barbus</i>	Barbe	Abnahme	FFH Anhang V	bei einem Temperaturanstieg von 2°C	PONT 2003
		Zunahme		Eier 12,1-21°C (16-19°C) Larven 14,8-18,9°C (18,5°C) Juvenile 7-27°C Adulte 7-30°C Laichzeit 8-20°C / 29°C Verlängerung des Lebensraums in den Fließgewässern der Mittelgebirge und in den Alpen	KÜTTEL et al. 2002
<i>Barbatula barbatula</i>	Bachschmerle	Zunahme		kann Wassertemperaturen von > 20°C tolerieren	MKUNLV 2010, Bunzel-Drüke 2011
		Abnahme		Abnahme in französischen Flüssen bei einem Temperaturanstieg von 2°C prognostiziert	PONT 2003
<i>Blicca bjoerkna</i>	Güster	Zunahme		Eier 15-20°C Adulte 15-25°C Laichzeit 9,6-29°C	Bunzel-Drüke 2011, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Carassius carassius</i>	Karassche	Abnahme		Aufgrund von sommerlicher Austrocknung kleiner Stillgewässer und Gräben	Bunzel-Drüke 2011
<i>Chondrostoma nasus</i>	Nase	Abnahme		Eier: 8,6-19°C Larven 10-28°C (15°C) Juvenile 7-27°C Adulte 4-24°C Laichzeit 6-16,2°C	KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse in TISSON & SOUCHON 2010

Fischart wissenschaftl. Name	Fischart deutscher Name	Prognose	Schutzstatus, Herkunft	Bemerkung tolerierte Temperaturen / Extremwerte (und Optimum)	QUELLE
<i>Cottus gobio</i>	Groppe	Abnahme	FFH Anhang II	Juvenile < 28°C (5-27°C) Adulte < 16/ 20°C (10-15°C) Laichzeit 7-14°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003
<i>Cyprinus carpio</i>	Karpfen	Zunahme	Durch Besatz weit verbreitet	Laichzeit : > 17°C, Juvenile : 16-25°C. Fortpflanzungserfolg groß bei Überflutung von terrestrischer Vegetation im Mai/Juni	BALON 1995, STEFFENS 2008 u. a. in BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Esox lucius</i>	Hecht			Eier 2-23°C (8-15°C) Larven 12,3-21°C Juvenile 9-28°C (26°C) Adulte 10-30 / 34°C (20-26°C) Laichzeit 0-20°C (7-17°C)	EUROLIMPACS; KÜTTEL et al. 2002, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Dreistachliger Stichling	(Abnahme)		Sehr anpassungsfähige Pionierart, die vom zeitweiligen Trockenfallen von Gewässern profitieren könnte, jedoch konkurrenzschwach; meidet zudem Temperaturen über 20°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002
<i>Gobio gobio</i>	Gründling			Eier 16-20°C Larven 20,5°C Juvenile 7-27°C Adulte 5-30,9 / 37°C (15-27°C) Laichzeit 12-17°C	KÜTTEL et al. 2002, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Kaulbarsch	Abnahme		Eier 9-21°C Larven 16,5-30°C Juvenile 7-24,8°C Laichzeit 2-18°C	Bunzel-Drüke 2011, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Lampetra planeri</i>	Bachneunauge	Abnahme	FFH Anhang II	Abnahme in französischen Flüssen bei einem Temperaturanstieg von 2°C prognostiziert	Bunzel-Drüke 2011, Pont 2003
<i>Lepomis gibbosus</i>	Sonnenbarsch	Abnahme		Allochthone Art Eier 22,5°C Larven 20,4-23,5°C Juvenile 13-28°C (31,5°C) Adulte 11,9-40°C (24,2-30°C) Laichzeit 20-25°C (22,5°C)	Pont 2003, diverse in TISSON & SOUCHON 2010

Fischart wissenschaftl. Name	Fischart deutscher Name	Prognose	Schutzstatus, Herkunft	Bemerkung tolerierte Temperaturen /Extremwerte (und Optimum)	Quelle
<i>Leucaspis delineatus</i>	Moderlieschen	Abnahme		Aufgrund von sommerlicher Austrocknung kleiner Stillgewässer und Gräben	Bunzel-Drüke 2011
<i>Leuciscus (Squalius) cephalus</i>	Döbel	Zunahme		Eier 12,3-30°C (17-23°C) Larven 14-25°C (17,5-25°C) Juvenile 7-24°C Adulte 7-27 / 34°C (8-25°C) Laichzeit 14-20°C Ausbreitung stromaufwärts	Bunzel-Drüke 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Hasel	Abnahme		Eier 4-23°C (6-15°C) Larven 16-25°C (12,3-17,5°C) Juvenile & Adulte 10-20°C Laichzeit 5-16,5°C (8-9°C)	KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Lota lota</i>	Quappe, Trüsche	Abnahme		Starke Abnahme erwartet, u. a. im IJsselmeer aufgrund von zeitweisem Sauerstoffmangel	Bunzel-Drüke 2011, Lammens 2012, mündl. Mitt.
<i>Misgurnus fossilis</i>	Schlammpeitzger	Abnahme	FFH Anhang II	Aufgrund von sommerlicher Austrocknung kleiner Stillgewässer und Gräben	Bunzel-Drüke 2011
<i>Neogobio kessleri</i>	Kesslergrundel	Zunahme	Gebietsfremde Art	aus dem Schwarzmeerraum 25°C bis 30°C, Konkurrenz und Räuber für heimische Arten und deren Laich, u. a. auch Lachs	KLIWA 2010
<i>Neogobio melanostomus</i>	Schwarzmundgrundel	Zunahme	Gebietsfremde Art	vgl. Kesslergrundel	KLIWA 2010
<i>Neogobio fluviatilis</i>	Flussgrundel	./.	Gebietsfremde Art	dürfte wegen ihrer vergleichsweise engen Temperaturtoleranz von 4°C bis 20°C weniger vom Klimawandel profitieren als andere Grundelarten	KLIWA 2010
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Regenbogenforelle	Zunahme	Für die Nutzung eingeführte Art	Eier < 20 / 18°C (8-11°C) Juvenile 26°C (17°C) Adulte < 26°C (16-19°C) Zur kommerziellen Nutzung eingeführt; toleranter gegenüber höheren Wassertemperaturen als Bachforelle; könnte diese verdrängen	Bunzel-Drüke 2011, KLIWA 2010

Fischart wissenschaftl. Name	Fischart deutscher Name	Prognose	Schutzstatus, Herkunft	Bemerkung <u>tolerierte Temperaturen / Extremwerte (und Optimum)</u>	QUELLE
<i>Osperus eperlanus</i>	Stint	Abnahme		Tritt in Seen (z. B. im IJsselmeer) Sauerstoffmangel auf, kann dieser für den Stint letal sein	Lammens 2012, mündl. Mitt.
		./.		Für NRW keine Bestandsänderung prognostiziert	Bunzel-Drüke 2011
<i>Perca fluviatilis</i>	Flussbarsch	Zunahme?		Eier 5-21°C Larven 5-30°C (11-15,5°C) Juvenile > 8°C / < 36°C (25°C) Adulte 10-31°C / 36,2°C Laichzeit 5-19°C	diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze	Abnahme		Bedingt durch voraussichtlich geringere Ausdehnung der Äschenregion	Bunzel-Drüke 2011
<i>Pseudorasbora parva</i>	Blaubandbärbling	Abnahme	Gebietsfremde Art	Aufgrund von sommerlicher Austrocknung kleiner Stillgewässer und Gräben	Bunzel-Drüke 2011
<i>Pungitius pungitius</i>	Neunstachliger Stichling	Abnahme		Aufgrund von sommerlicher Austrocknung kleiner Stillgewässer und Gräben	Bunzel-Drüke 2011
<i>Rhodeus amarus</i>	Bitterling	Zunahme	FFH Anhang II	Adulte 12-30°C / 37°C (25°C) Laichzeit 12-22°C	Bunzel-Drüke 2011, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotauge			Eier 5-27°C (12-20°C) Larven 17,5°C Juvenile 7-21°C Adulte 12-30°C / 36°C (8 / 20-25°C) Laichzeit 5-22°C (8-19°C)	KÜTTEL et al. 2002, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Salmo trutta fario</i> (& <i>Salmo trutta trutta</i>)	Bachforelle (& Meerforelle)	Abnahme		Eier 0-13°C (7-12°C) Juvenile < 23 / 28°C (6-14°C / 8-13°C) Adulte < 25 / 28°C (4-19°C / 14-17°C) Laichzeit 1-10°C (6°C) Abnahme zumindest im südeuropäischen Raum wahrscheinlich. Weiter nördlich evtl. Vorteile durch Überleben der Brut in milderen Wintern. Wo die Wanderung in höhere Lagen nicht möglich ist, kann sie aussterben.	BUNZEL-DRÜKE 2011, EUROLIMPACS, MKUNLV 2010, NOTTER & STAUB 2009, PONT 2003, WEBB & WALSH 2004 in WWF 2009
<i>Salmo trutta lacustris</i>	Seeforelle			Adulte < 25 / 30°C (16-23°C) Laichzeit 1-9°C	KÜTTEL et al. 2002

Fischart wissenschaftl. Name	Fischart deutscher Name	Prognose	Schutzstatus, Herkunft	Bemerkung <u>tolerierete Temperaturen / Extremwerte (und Optimum)</u>	QUELLE
<i>Salmo salar</i>	Lachs	Abnahme	FFH Anhang II & Anhang V (im Süßwasser)	Eier < 16°C (4-11°C) Juvenile < 17°C (< 10°C) Brütlinge < 23°C Sömmerlinge (2-3 Monate alt) < 28,7-29,2°C Parrs (0+ bis 1+) < 27,4-32,8°C abwandernde Smolts < 19°C (7-14,3 °C) Adulte < 28-32°C (9-17°C) Laichzeit < 10°C (6-8°C) Einstellung der Wanderung bei ca. 25°C Eine leichte Temperaturerhöhung im Winter wirkt sich positiv auf die Eientwicklung aus. Mittlere Risikoklasse im Rahmen einer Klimasensibilitätsanalyse	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002 RABITSCH et al. 2010
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Bachsaibling	Abnahme		Bewohner des Epi- und Metarhithrals	BUNZEL-DRÜKE 2011
<i>Sander (Stizostedion) lucioperca</i>	Zander	?		Eier 3-24°C /25°C Larven 13,1-26°C (13,1-15,5°C) Juvenile 27,3-30°C Adulte < 33,3°C Laichzeit 3-26°C	diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Silurus glanis</i>	Wels	Zunahme		Eier 22-25°C Juvenile > 13°C (24,5°C) Adulte 7-33°C (27°C) Laichzeit 17-25°C	BUNZEL-DRÜKE 2011, STOWA 2011, diverse in TISSON & SOUCHON 2010
<i>Thymallus thymallus</i>	Äsche	Abnahme	FFH Anhang V	Eier 6-13 / 14°C (9°C) Adulte < 18 / 24°C (15-17°C) Laichzeit < 15°C (6-10°C) Benötigt kühle Gewässer von bestimmter Breite. Wo diese in höheren Lagen nicht vorhanden oder nicht erreichbar sind, könnte die Art vollends verschwinden. Mittlere Risikoklasse im Rahmen einer Klimasensibilitätsanalyse	BUNZEL-DRÜKE 2011, KÜTTEL et al. 2002, PONT 2003, NOTTER & STAUB 2009; RABITSCH et al. 2010
Betrachtung aller vorkommenden Fischarten		Zunahme: 26%; Abnahme: 21%		Insgesamt – teils auch durch andere Aspekte des Klimawandels - werden etwa ein Drittel der im deutschen Bundesland Nordrhein-Westfalen vorkommenden Arten der Fische und Rundmäuler negativ beeinflusst.	MKUNLV 2010