

Klimawandel- anpassungsstrategie für die IFGE Rhein



Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Bericht Nr. 219



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 3-941994-77-8

© IKSr-CIPR-ICBR 2015

Klimawandelanpassungsstrategie für die IFGE Rhein

Hinweis für den Leser/die Leserin

Es handelt sich um ein „living document“, das sich mit der Entwicklung der Erkenntnisse über den Klimawandel und seine Auswirkungen ebenfalls weiter entwickeln wird.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung und künftige Schwerpunktaktivitäten	3
• Ausgangslage	3
• Möglichkeiten zur Anpassung an die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels in der internationalen Flussgebietseinheit (IFGE) Rhein	4
• Berücksichtigung künftiger sozioökonomischer Entwicklungen und Einbindung aller Akteure	5
1. Einführung	6
1.1 Übersicht über die IKSR-Publikationen zum Klimawandel	6
1.2 Vorgehen bei der Ausarbeitung einer Klimawandelanpassungsstrategie für das Rheineinzugsgebiet	7
2. Direkte Auswirkungen des Klimawandels im Rheineinzugsgebiet	8
2.1 Auswirkungen auf das Abflussgeschehen des Rheins	8
<i>Allgemeines</i>	8
<i>Entwicklung im 20. Jahrhundert</i>	9
<i>Entwicklungen im 21. Jahrhundert</i>	9
2.2 Auswirkungen auf die Wassertemperatur des Rheins	11
3. Auswirkungen der Wasserhaushalts- und Wassertemperaturveränderungen auf die Wasserqualität und das Ökosystem	14
3.1 Auswirkungen auf die Wasserqualität	14
<i>Abflussbezogene Auswirkungen</i>	14
<i>Temperaturbedingte Auswirkungen</i>	15
3.2 Auswirkungen auf das Ökosystem	15
4. Auswirkungen auf die Gewässernutzungen	17
5. Mögliche Aktionsfelder und Maßnahmen zur Anpassung an die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels	18
5.1 Grundprinzipien für mögliche Anpassungsmaßnahmen	18
5.2 Mögliche Maßnahmen mit Bezug auf die Wassermenge	19
<i>Hochwasserrisikomanagement</i>	19
<i>Niedrigwassermanagement</i>	20
5.3 Mögliche Maßnahmen mit Bezug auf die Wasserqualität	20
5.4 Mögliche Maßnahmen mit Bezug auf das Ökosystem	22
5.5 Mögliche Maßnahmen mit Bezug zu anderen Sektoren	23
Anlage 1: Auswahl von Publikationen zur Anpassung an den Klimawandel auf internationaler und nationaler Ebene	25
Anlage 2: „Sensitivitätsleitwerte“ Hochwasser (Orientierungsgrößen für mögliche Anpassungsmaßnahmen)	30
Anlage 3: „Sensitivitätsleitwerte“ Niedrigwasser	31

Zusammenfassung und künftige Schwerpunktaktivitäten

• Ausgangslage

Im Rheineinzugsgebiet liegen umfangreiche Kenntnisse zu den bereits im 20. Jahrhundert beobachteten Auswirkungen der Klimaänderung auf das Abflussgeschehen im Rhein und die Wassertemperaturentwicklung seit 1978 vor. Des Weiteren sind in den letzten Jahren auf der Basis von Klimaprojektionen Pegel bezogenen Simulationen für die Entwicklung des Wasserhaushalts und der Wassertemperatur in der Flussgebietseinheit Rhein für die nahe Zukunft (bis 2050) und die ferne Zukunft (bis 2100) erstellt worden.

Demnach ist die Entwicklung bis 2050 durch einen fortgesetzten Anstieg der Lufttemperatur gekennzeichnet, der gegenüber der Periode 1961-1990 für das gesamte Rheineinzugsgebiet im Mittel der Periode 2021 bis 2050 zwischen +1 °C und +2 °C liegt.

Für den Winter werden moderate Zunahmen des Niederschlags bis 2050 projiziert. Erhöhte winterliche Niederschläge, die aufgrund der erhöhten Temperaturen zudem vermehrt als Regen statt Schnee fallen, können zu einem moderaten Anstieg der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse sowie stromabwärts von Kaub der Hochwasserabflüsse führen.

Projektionen für den Sommer zeigen für den Niederschlag bis 2050 keinen deutlichen Trend auf. Der Abfluss bleibt im Sommer im Vergleich zur heutigen Situation mehr oder minder unverändert.

Mit steigender Lufttemperatur wird aufgrund der Ergebnisse der betrachteten Modellketten von einer Zunahme von Hochwasser- aber auch von Extremereignissen in der Flussgebietseinheit ausgegangen, d.h. von deutlichen Veränderungen des Wasserhaushalts, die sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts stärker ausprägen können. Zudem führen die höheren Lufttemperaturen (bis 2100 wird ein Anstieg von +2 °C bis 4 °C projiziert) zu höheren Wassertemperaturen.

Die Richtung der teilweise in der nahen Zukunft (bis 2050) noch gemäßigten Veränderungen des **Wasserhaushalts** wird bei einer Betrachtung des Endes dieses Jahrhunderts deutlich:

- a. im hydrologischen Winterhalbjahr:
 - Zunahme der Niederschläge im Winter
 - Zunahme der Abflüsse
 - Frühzeitige Schmelze von Schnee/Eis/Permafrost, Verschiebung der Schneefallgrenze
- b. im hydrologischen Sommerhalbjahr:
 - Abnahme der Niederschläge (aber möglich häufigere Starkregenereignisse im Sommer)
 - Abnahme der Abflüsse
 - Zunahme der Niedrigwasserperioden.
- c. Zunahme kleinerer bis mittlerer Hochwasser, Zunahmen der Scheitelabflüsse seltener Hochwasser erscheinen möglich, sind jedoch in ihrem Ausmaß nicht zweifelsfrei quantifizierbar.

In der nahen Zukunft zeigen die Simulationen, dass die Tage mit **Wassertemperaturen** über 25 °C im Vergleich zur Referenzsituation zunehmen werden, und zwar bei geringem Abfluss (Q_{min}) bis auf das Doppelte. In der fernen Zukunft werden die Tage mit Überschreitungen von 25 °C stark zunehmen. Ähnliches gilt auch für die ferne Zukunft für die Überschreitungen von 28 °C.

Diese möglichen Auswirkungen des Klimawandels erfordern eine Anpassung der Wasserwirtschaft. Diese Maßnahmen sind in Zusammenhang mit Maßnahmen aus anderen Sektoren zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wechselwirkungen zu sehen.

Weitere Elemente in Zusammenhang mit der Hochwasservorsorge finden sich im ersten Hochwasserrisikomanagementplan, IFGE Rhein, Teil A (HWRM-Plan) und in Zusammenhang mit Niedrigwasser im zweiten Bewirtschaftungsplan IFGE Rhein, Teil A.

Überwachung und periodische Überprüfung der Kenntnisse

Eine Grundvoraussetzung für die Erfassung künftiger Veränderungen in der Wasserwirtschaft ist die Fortsetzung einer intensiven Überwachung von Abfluss, Wassertemperatur und Wasserqualität (chemisch und biologisch) in der IFGE Rhein. Messprogramme und Messnetze sind bei Bedarf anzupassen.

Die jetzt über die klimawandelbedingten Änderungen in der IFGE Rhein vorhandenen Kenntnisse, die auf der Basis verschiedener Szenarienstudien gewonnen wurden, sind bei neuen Erkenntnissen zu aktualisieren. Dies sollte in Zusammenhang mit neuen IPCC-Erkenntnissen und in Abstimmung mit den für die Flussgebietseinheiten wichtigen 6-Jahres-Zyklen der EU-Richtlinien-Umsetzung (2021, 2027) erfolgen.

- **Möglichkeiten zur Anpassung an die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels in der internationalen Flussgebietseinheit (IFGE) Rhein**

Anpassungsmaßnahmen der Wasserwirtschaft sollten darauf abzielen, die grundlegenden Schutz- und Nutzungsfunktionen der Gewässer auch in einem veränderten Klima zu gewährleisten. Angesprochen ist hier insbesondere die Wasserwirtschaft und, wenn es sich um Maßnahmen in der Fläche handelt, auch die Raumordnung und Bauleitplanung.

Dabei soll die Integration aller vorgesehenen Maßnahmen in den verschiedenen Schutz- und Nutzungssektoren angestrebt werden. Diese sollte zudem national und grenzüberschreitend (international) erfolgen.

1. Fortsetzung und Verstärkung der Maßnahmen im Rahmen der Vermeidung, Vorsorge, des Krisenmanagements, aufbauend auf den bisherigen APH-Maßnahmen, die in den nationalen und regionalen HWRM-Plänen zur Reduzierung derzeitiger Hochwasserrisiken vorgesehen sind. Im Zuge der erwarteten Zunahme von Hochwasserereignissen und der möglicherweise häufiger auftretenden Extremereignisse werden die geplanten Maßnahmen zur Schaffung von mehr Raum für die (zeitweise) Hochwasserrückhaltung künftig wichtiger ebenso wie die umfassende Sensibilisierung der Öffentlichkeit und die Hochwasservorsorge;
2. Sicherung und Freihaltung überflutungsgefährdeter Flächen in Siedlungsgebieten und der dezentrale Wasserrückhalt auf der gesamten Fläche des Einzugsgebietes;
3. Berücksichtigung der zuvor genannten Maßnahmen bei der Erstellung des Hochwasserrisikomanagementplans gemäß HWRM-RL (2015) und dessen Weiterentwicklung (2021), auch in Kombination mit dem 3. Bewirtschaftungsplan gemäß WRRL;
4. Ausarbeitung und Vorhaltung wasserwirtschaftlicher Vorsorgemaßnahmen für kritische Niedrigwasserperioden (unter Einbeziehung der Wassermengen- und Temperaturproblematik) einschließlich grenzüberschreitender Abstimmung dieser Maßnahmen;
5. Wiederherstellung/Förderung möglichst naturnaher Gewässer und der Vernetzung von Lebensräumen wie in den Umweltzielen der WRRL vorgegeben. Wechselseitige Synergieeffekte sind zu nutzen und zu stärken.

6. Einbeziehung der sozio-ökonomischen Entwicklungen bei den Maßnahmen in der Wasserwirtschaft und Abstimmung mit entsprechenden Maßnahmen in anderen Sektoren (Trinkwasserversorgung, Wasserentnahme, Stromproduktion, Schifffahrt, Landwirtschaft, Fischerei und Naherholung)

- **Berücksichtigung künftiger sozioökonomischer Entwicklungen und Einbindung aller Akteure**

Mit Blick auf projizierte zukünftige Entwicklungen sind regionale, spezifische Anpassungsstrategien zu entwickeln. Dieses setzt voraus, dass sie auf einem möglichst umfassenden und praxistauglich aufbereiteten Kenntnisstand über die Veränderungen in der Wasserwirtschaft basieren.

Die Nutzungen und der Schutz des Rheins und seiner Nebenflüsse müssen in ein Gleichgewicht gebracht werden, damit die Nutzungen und Aktivitäten künftiger Generationen nicht in Frage gestellt werden. Dies ist besonders relevant, da vorhandene Probleme durch die Auswirkungen des Klimawandels voraussichtlich verschärft werden. Ferner ist bekannt, dass sich menschliche Tätigkeiten auf das Abflussgeschehen auswirken. Dieser Einfluss hat im Laufe der Zeit zugenommen und die künftige Entwicklung ist auch wegen der unbekanntem sozioökonomischen Entwicklung nicht absehbar.

Die wesentlichen Inhalte bereits publizierter nationaler oder internationaler Strategien zum Klimawandel (siehe Anlage 1) wurden bei der Erstellung dieses Dokuments für das Rheineinzugsgebiet berücksichtigt.

Für die weitere Ausarbeitung der vorläufigen IKSR-Klimawandelanpassungsstrategie und zur Förderung der Akzeptanz für deren Umsetzung in den verschiedensten Bereichen soll der Austausch mit den Hauptakteuren wie den Nutzern (z. B. mit Landwirtschaft, Raumordnung, Schifffahrt, Energiewirtschaft, Trinkwasserwerken, etc...) und den anerkannten Beobachtern der IKSR und die Interaktion mit der breiten Öffentlichkeit gefördert werden.

Verschiedene Möglichkeiten zur stärkeren Einbeziehung von Stakeholdern oder der Öffentlichkeit sind denkbar:

- Aktive Teilnahme und Zusammenarbeit mit anerkannten Beobachtern wie NGOs, anderen Organisationen (z. B. der ZKR - Zentralkommission für die Rheinschifffahrt und anderen Flusskommissionen) in den IKSR-Gremien;
- Ggf. könnten in einer neu zu bildenden Projektgruppe PG KLIMA Vertreter/innen aus verschiedenen Sektoren zusammen arbeiten, um eine größere fachliche Breite abzudecken und spezifischem Untersuchungsbedarf zu entsprechen;
- regelmäßiger Informationsaustausch in Form gemeinsamer Projekte, Workshops etc.;
- Sensibilisierung der Öffentlichkeit oder anderer Akteure durch Kommunikationsaktionen, Informationsmaterialien, IKSR-Internetseite.

1. Einführung

Die **Rhein-Ministerkonferenz** hatte **2007** - auf der Basis des seinerzeit vorliegenden 4. IPCC Sachstandsberichtes 2007 (IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change) - betont, dass die Auswirkungen des Klimawandels auch bereits im Wassersektor deutlich erkennbar sind und sich das Niederschlagsgeschehen künftig ändern wird. In Nordwesteuropa muss mit veränderten Hochwasserereignissen, längeren Niedrigwasserständen sowie mit höheren Temperaturen der Oberflächengewässer und mit einer Veränderung der Neubildung von Grundwasser, in regional unterschiedlichem Maß, gerechnet werden. Diese Veränderungen betreffen nicht nur die Wasserwirtschaft, sondern auch die Wasser- und Bodennutzung.

Änderungen von Klimaparametern haben Einfluss auf die hydrologischen Prozesse und wirken sich damit auf den Gebietswasserhaushalt und das Abflussregime von Gewässern aus. Zudem wird bei einer Veränderung der Lufttemperaturen auch der Wärmehaushalt von Gewässern beeinflusst.

Die Rhein-Ministerkonferenz 2007 hat hervorgehoben, dass es neben den Maßnahmen zur Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen notwendig ist, in der **Wasserwirtschaft Strategien zur Anpassung an den Klimawandel** zu entwickeln. Sie hat die IKSR daher beauftragt, zunächst für die im 21. Jahrhundert zu erwartenden Änderungen des Abfluss- und Temperaturregimes in der internationalen Flussgebietseinheit Rhein gemeinsame Szenarien zu entwickeln. In einem zweiten Schritt sollten die Auswirkungen für die Wasserwirtschaft, die Wasser- und Bodennutzung und alle wasserrelevanten Sektoren im Rheineinzugsgebiet dargestellt werden. Mögliche Anpassungsmaßnahmen sind daher sektor übergreifend zu entwickeln und abzustimmen.

Die **Rhein-Ministerkonferenz 2013** hat die IKSR beauftragt, im Jahr **2014** eine vorläufige **Klimawandelanpassungsstrategie** für das Rheineinzugsgebiet auf der Grundlage der Auswertung vorliegender Studien zum Abflusshaushalt (Hoch- und Niedrigwasser) und zum Wassertemperaturhaushalt vorzulegen. Dabei sollen zukunftsorientierte, nachhaltige wasserwirtschaftliche Vorsorgekonzepte entwickelt und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen an die erwarteten Effekte des Klimawandels – aufbauend auf den in den Staaten/Regionen vorhandenen Managementmaßnahmen – geprüft werden.

Dieser Bericht fasst in Kapitel 2 die für das internationale Rheineinzugsgebiet vorliegenden Informationen über mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussgeschehen des Rheins (Kapitel 2.1) und auf die Wassertemperatur (Kapitel 2.2) zusammen.

Die weitergehenden Auswirkungen auf die Wasserqualität und auf das Ökosystem finden sich in Kapitel 3. In Kapitel 4 werden die Auswirkungen auf die derzeitigen Gewässernutzungen beschrieben.

Als Grundlage für eine Anpassungsstrategie enthält Kapitel 5 mögliche Aktionsfelder und Maßnahmen zur Anpassung an die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels.

1.1 Übersicht über die IKSR-Publikationen zum Klimawandel

1. **IKSR-Fachbericht Nr. 174:** Literaturlauswertung „Analyse des Kenntnisstands zu den bisherigen Veränderungen des Klimas und zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt im Rhein-Einzugsgebiet“, 2009
2. **IKSR-Fachbericht Nr. 188:** Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins, 2011
3. **IKSR-Fachbericht Nr. 198:** Niedrigwasserperioden 2011 im Rheineinzugsgebiet, 2012

4. **IKSR-Fachbericht Nr. 204:** Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven, 2013
5. **IKSR-Fachbericht Nr. 209:** Darstellung der Entwicklung der Rheinwassertemperaturen auf der Basis validierter Temperaturmessungen von 1978 bis 2011, 2013
6. **IKSR-Fachbericht Nr. 213:** Abschätzungen der Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung zukünftiger Rheinwassertemperaturen auf Basis von Klimaszenarien – Kurzfassung – 2014
7. **IKSR-Fachbericht Nr. 214:** Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development – 2014

Anlage 1 gibt eine Auswahl von Publikationen zu Klimawandelanpassungsstrategien auf internationaler und nationaler Ebene.

1.2 Vorgehen bei der Ausarbeitung einer Klimawandelanpassungsstrategie für das Rheineinzugsgebiet

Wie bei der Koordination der Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, RL 2000/60/EG) und der Europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL, RL 2007/60/EG) im Rahmen der IKSR legt dieses Dokument das Teil A-Gewässernetz (Teil A = Teileinzugsgebiete > 2.500 km²) zugrunde.

Die Klimawandelanpassungsstrategie für das Rheineinzugsgebiet soll entsprechende Aktivitäten auf Ebene internationaler Teileinzugsgebiete (wie z. B. Mosel-Saar) oder auf nationaler bzw. regionaler Ebene unterstützen.

Die Arbeitsgruppen der IKSR haben die möglichen spezifischen Auswirkungen auf die Schutzgüter sowie deren Empfindlichkeiten und Risiken in den Bereichen Wassermenge, Ökologie und Wasserqualität analysiert. Für diese Analyse haben die Arbeitsgruppen die Kenntnisse aus den oben genannten Studien (beobachtete Änderungen von Klimagrößen und Zukunftsszenarien in Form projizierter Bandbreiten) genutzt und diese für ihre jeweiligen Bereiche vertieft. Ein gegenseitiger Austausch zwischen den IKSR-Arbeitsgruppen ist bei fachübergreifenden Sitzungen unter Beteiligung internationaler zwischenstaatlicher Organisationen (IGOs) und nichtstaatlicher Organisationen (NGOs) erfolgt.

In einem fachgebietsübergreifenden IKSR-Workshop am 30./31. Januar 2013 sind die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Wasserwirtschaftsbereiche dargestellt und mit rund 80 Experten/innen mögliche Lösungsansätze diskutiert worden. Die dort erzielten Ergebnisse sind in dieses Dokument eingeflossen.

Die Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmaßnahmen sind in den Produkten der IKSR zur Umsetzung der WRRL, der HWRM-RL und des Programms Rhein 2020 zu berücksichtigen. Die Klimawandelanpassungsstrategie der IKSR kann auch insoweit von Nutzen sein und insbesondere für die internationalen Teile der Pläne genutzt werden. Es sind, wo immer möglich, win-win-Ansätze¹ und no-regret-Maßnahmen² in den Vordergrund zu stellen.

Eine wichtige Rolle spielt die weitere Verbesserung des Kenntnisstandes, z. B. in Bezug auf die Genauigkeit von Klimaszenarien, die Entwicklung von Wärmeeinleitungen und Kosten/Nutzen-Analysen.

¹ Win-win: Maßnahmen, die gleichzeitig mehreren Ziele dienen

² No regret: Maßnahmen, die auf jeden Fall in die richtige Richtung gehen

Aufgrund der erwarteten Entwicklungen ist dem Thema Niedrigwasser gleichfalls insbesondere im Sommer möglicherweise verbunden mit hohen Wassertemperaturen mehr Aufmerksamkeit zu widmen.

2. Direkte Auswirkungen des Klimawandels im Rheineinzugsgebiet

Änderungen von Klimagrößen haben Einfluss auf die hydrologischen Prozesse und wirken sich damit auf den Gebietswasserhaushalt, das Abflussregime und den Wärmehaushalt von Gewässern aus.

2.1 Auswirkungen auf das Abflussgeschehen des Rheins³

Allgemeines

Die IKSR hat - nach einer Literaturlauswertung (IKSR-Bericht Nr. 174, 2009) - im Juli 2011 die Ergebnisse der „Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins“ (IKSR-Bericht Nr. 188) publiziert. Die Szenarienstudie ist in enger Zusammenarbeit mit der Kommission für die Hydrologie des Rheins (KHR), die das Projekt „RheinBLick2050“ durchgeführt hat, erstellt worden. Diese enthält – erstmals für ein großes internationales Flussgebiet in Europa – konkrete Abflusssimulationen für die nahe Zukunft (bis 2050) und ferne Zukunft (bis 2100) an repräsentativen Rhein- und Moselpegeln.

Das Abflussregime beschreibt das Gesamtverhalten von Fließgewässerabflüssen hinsichtlich des vieljährig gemittelten Jahresgangs, sowie der kennzeichnenden Entwicklungen der extremen Hoch- und Niedrigwasser-Situationen (Belz et al., 2007). Im Rheineinzugsgebiet überlagern sich verschiedene Abflussregime (Abbildung 1).

Der südliche, alpennahe Bereich (Pegel Basel) ist durch das Wechselspiel von winterlichem Schneedeckenaufbau und sommerlicher Schneeschmelze sowie durch relativ hohe Sommerniederschläge geprägt ("Schneeregime" oder Nivalregime). Dies hat zur Folge, dass Niedrigwasserereignisse vornehmlich im Winter und Hochwasserereignisse vornehmlich im Sommer auftreten.

Typisch für die Gewässer, die den Mittelgebirgsbereich entwässern (Neckar, Main, Nahe, Lahn, Mosel etc.; Pegel Trier) ist ein "Regenregime" (oder Pluvialregime). Hier zeigt sich eine Dominanz von Winterhoch- und Sommerniedrigwassern.

Durch die Überlagerung beider Regime ergibt sich stromab des Rheins eine immer gleichmäßigere Verteilung des Abflusses über das Jahr ("kombiniertes Regime"; Pegel Köln).

³ Vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 188

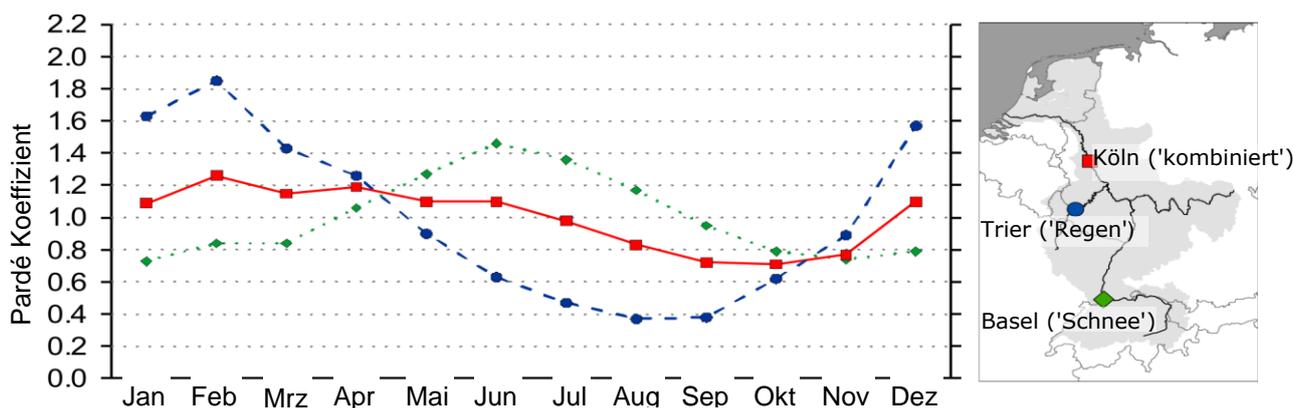


Abbildung 1: Typisches Abflussregime im Rheineinzugsgebiet nach Pardé⁴;
Referenzzeitraum 1961-1990 (vgl. IKSR-Bericht Nr. 188)

Entwicklung im 20. Jahrhundert⁵

Die Niederschläge haben im Winter im gesamten Rheineinzugsgebiet zugenommen (+10% bis +20 %). Etwas schwächere Zunahmen zeigen die Alpen. Die Sommerniederschläge haben sich kaum verändert (von -5 % bis +5 %).

Dementsprechend zeigen auch die Abflusskennwerte MQ⁶ und NM7Q⁷ an den am Hauptstrom gelegenen Pegeln im Winter durchweg steigende Tendenzen (meist +10 % bis +15 % für MQ; +15 % bis +20 % für NM7Q). Im Sommer sind Abnahmen bis 8 % für MQ und NM7Q zu verzeichnen. Dies ist im Wesentlichen als Wirkung steigender Temperaturen (höhere Verdunstung) in Kombination mit einer stagnierenden Niederschlagsentwicklung und gleichzeitig reduziertem Schneevolumen in den Alpen zu sehen.

Der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ), der für gesamte hydrologische Jahre (Nov.-Okt.) ausgewertet wurde, zeigt eine Zunahme um etwa +10 %. Diese scheint bei genauerer Betrachtung der Daten nicht auf eine Erhöhung der extremen Scheitelabflüsse⁸ zurückzuführen sein, sondern vielmehr auf ein gehäuftes Auftreten mittlerer und großer Hochwasser.

Entwicklungen im 21. Jahrhundert

Die Temperatur-Entwicklung bis 2050 ist nach den vorliegenden Projektionen durch einen fortgesetzten Temperaturanstieg gekennzeichnet, der gegenüber der Gegenwart (1961-1990) für das gesamte Rheineinzugsgebiet im Mittel der Periode 2021 bis 2050 zwischen +1 °C und +2 °C und für den Zeitraum 2071-2100 zwischen +2 °C und +4 °C liegen könnte. Er fällt im Süden (Alpen) tendenziell stärker aus als im Norden.

Bezüglich des Niederschlags sind im Sommer für den Zeitraum 2021-2050 keine wesentlichen Änderungen festzustellen, für den Zeitraum 2071-2100 ist mit Abnahmen zu rechnen. Für den Winter werden moderate Zunahmen des Niederschlags projiziert, die Rhein-weit im Zeitraum 2021-2050 zwischen 0% und +15% und für den Zeitraum 2071-2100 zwischen +5 % und +20 % liegen werden. Somit setzen sich die für das 20. Jahrhundert ermittelten Tendenzen der Niederschlagsänderungen fort.

⁴ Pardé-Koeffizient = Verhältnis von vieljährigem Monats-Abfluss zu vieljährigem Jahresabfluss.

⁵ Vergleich mit den Beobachtungen im Zeitraum 1901-1930 im Verhältnis zum Zeitraum 1971-2000

⁶ Arithmetisches Mittel aller Tageswerte des Abflusses gleichartiger Zeitabschnitte (z.B. hydrologische Halbjahre, Monate) der betrachteten Zeitspanne (z.B. Periode 2021-2050)

⁷ Niedrigstes arithmetisches Mittel des Abflusses von 7 Tagen in gleichartigen Zeitabschnitten (z.B. hydrologische Halbjahre) der betrachteten Zeitspanne (z.B. Periode 2021-2050)

⁸ Hier: höchste Tagesmittelabflüsse

Mit diesen Niederschlagsentwicklungen gehen für die nahe Zukunft überwiegend moderate Änderungen des Rhein-Abflussverhaltens einher. So bleiben der mittlere und untere Abflussbereich (MQ und NM7Q) im Sommer im Zeitraum 2021-2050 gegenüber der Gegenwart annähernd unverändert. Die Simulationen für den Zeitraum 2071-2100 zeigen eine Abnahme des sommerlichen Mittel- und Niedrigwasserabflusses (i. a. zwischen -10 % und -25 %).

Erhöhte winterliche Niederschläge, die aufgrund der erhöhten Temperaturen zudem vermehrt als Regen statt Schnee fallen, führen im Zeitraum 2021-2050 zu einem Anstieg der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse im Winterhalbjahr im Mittel um etwa +10 % (Bandbreite: 0 % bis +20 % und 0 % bis +15 % für MQ bzw. NM7Q). Stromabwärts des Pegels Kaub sind hinsichtlich der Hochwasserabflüsse meist Wertebereiche von -5 % bis +15 %, 0 % bis +20 % bzw. -5 % bis +25 % für "häufige", "mittlere" bzw. "extreme" Hochwasser zu verzeichnen. Für Basel, Maxau, Worms werden für HQextrem im KLIWA-Projekt, aufgrund methodischer Defizite noch keine Aussagen getroffen.

Die Zunahme des winterlichen Mittel- und Niedrigwasserabflusses im Zeitraum 2071-2100 entsprechen denen der Gebietsniederschläge weitgehend. Die Zunahmen für Hochwasserabflüsse setzen sich wie für die nahe Zukunft fort.

Abbildung 2 verdeutlicht für den Pegel Köln diese Tendenzen für den mittleren monatlichen Abfluss.

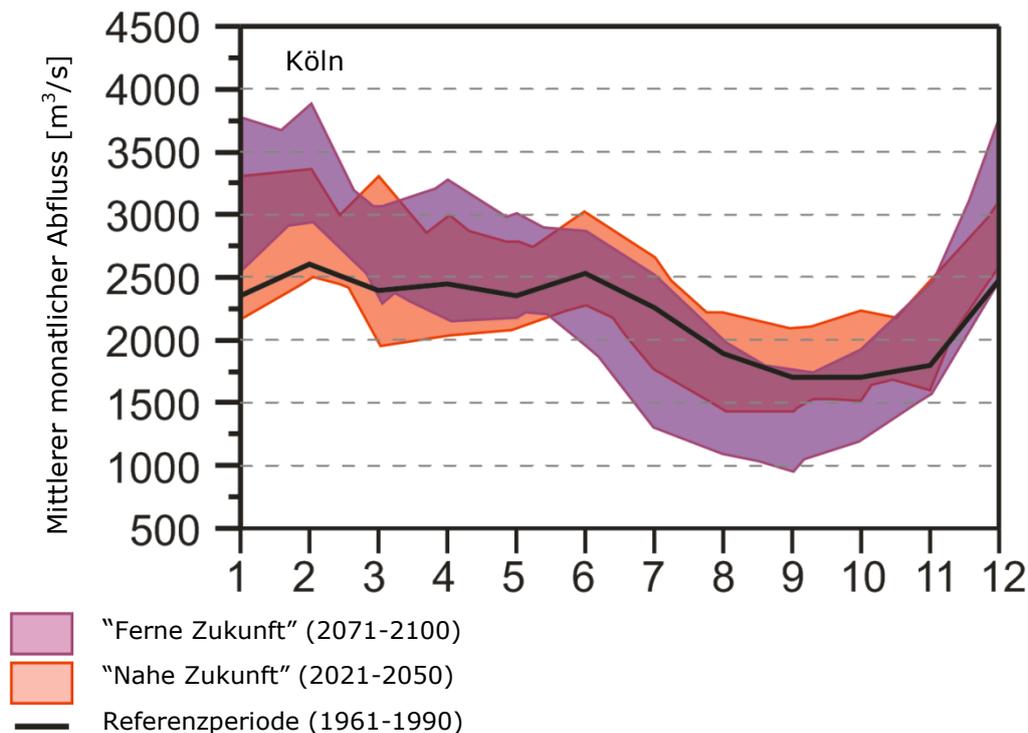


Abbildung 2: Spanne simulierter mittlerer Abflüsse am Pegel Köln - Klimaprojektionen über die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 sowie eine Referenzsimulation (1961-1990). Daten: KHR-Rheinblick2050 (2010); Grafik: BfG-M2 (2014).

Die detaillierten Ergebnisse können den Tabellen 4 und 5 der „Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins“ (IKSR-Fachbericht Nr. 188) entnommen werden.

Zusammengefasst zeigt der Kenntnisstand, dass der Klimawandel mit steigenden Temperaturen im Rheineinzugsgebiet bis 2050 und bis 2100 möglicherweise zu folgenden Veränderungen von Niederschlag und Abflüssen führen könnte. Einige Veränderungen sind bei Betrachtung der nahen Zukunft noch gemäßigt, aber die Richtung, in die die Veränderung gehen könnte, wird deutlich, wenn man die ferne Zukunft, also das Ende dieses Jahrhunderts betrachtet.

- a. im hydrologischen Winterhalbjahr:

- Zunahme der Niederschläge im Winter
 - Zunahme der Abflüsse
 - Frühzeitige Schmelze von Schnee/Eis/Permafrost, Verschiebung der Schneefallgrenze
- b. im hydrologischen Sommerhalbjahr:
- Abnahme der Niederschläge (aber möglich häufigere Starkregenereignisse im Sommer)
 - Abnahme der Abflüsse
 - Zunahme der Niedrigwasserperioden
- c. Zunahme kleinerer bis mittlerer Hochwasser, Zunahmen der Scheitelabflüsse seltener Hochwasser erscheinen möglich, sind jedoch in ihrem Ausmaß nicht zweifelsfrei quantifizierbar.

Anlage 2 und Anlage 3 enthalten Tabellen mit Bandbreiten möglicher prozentualer Abflussänderungen für verschiedene hydrologische Parameter, die die möglichen Auswirkungen des Klimawandels an verschiedenen Rheinpegeln in der nahen Zukunft, bis Ende 2050, aufzeigen.

Diese Bandbreiten werden in den Tabellen mit anderen statistischen Kenngrößen in Zusammenhang gebracht, um die Randbedingungen für verschiedene Gewässernutzungen insbesondere für die zuständigen Behörden zu verdeutlichen. Ein Vergleich mit den Randbedingungen ermöglicht somit eine Abschätzung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Nutzungsbereiche.

2.2 Auswirkungen auf die Wassertemperatur des Rheins

Die Wassertemperatur ist nachgewiesenermaßen im Mittel von 1978 bis 2011 um rund 1°C bis 1.5 °C angestiegen (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 209).

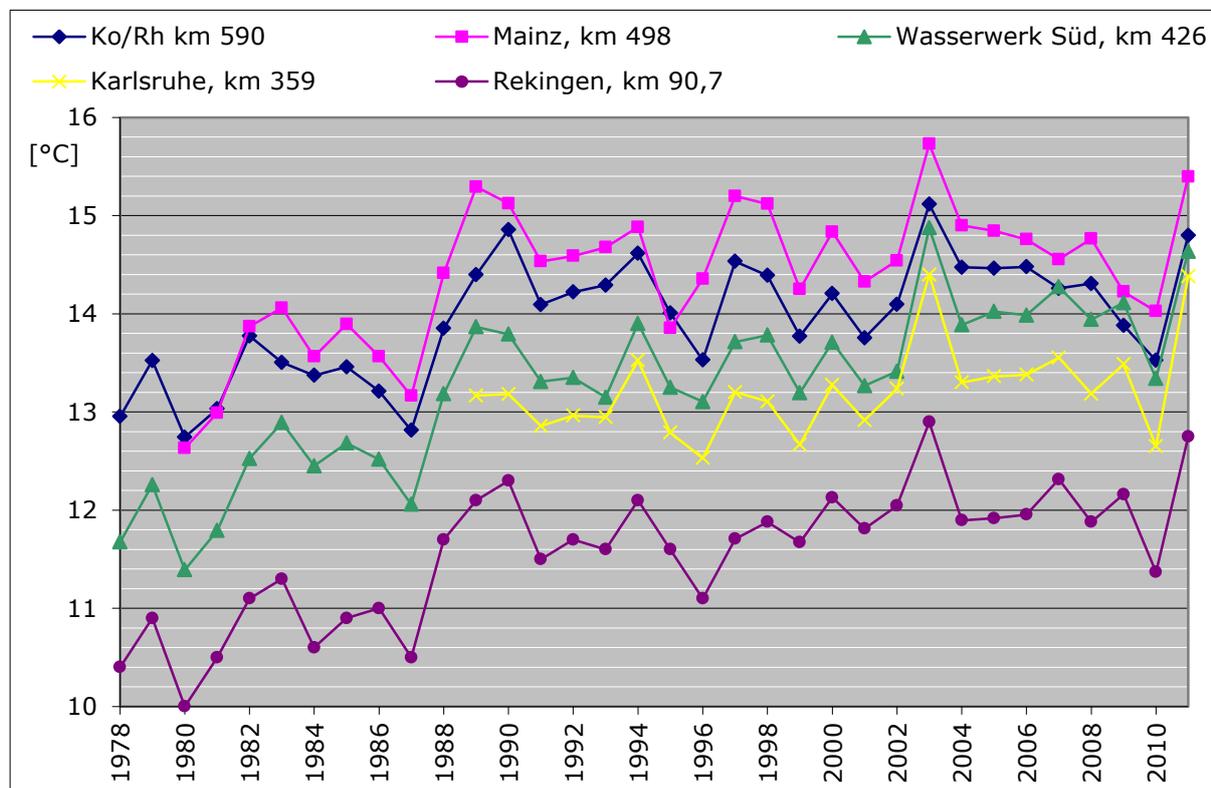


Abb. 3: Jahresmittel der Rheinwassertemperaturen von 1978-2011 an fünf Messstellen vom Hoch-, Ober- und Mittelrhein. Quelle: IKSR-Fachbericht Nr. 209

Regional begrenzt (zwischen Basel und Worms) tragen anthropogen bedingte Wärmeeinleitungen zur weiteren Erhöhung der Wassertemperatur bei (z. B. im Oberrheingebiet messbar um 1 °C bis 1,4 °C). Die Entwicklung der Wassertemperatur – ohne Berücksichtigung der Wärmeeinleitungen – zeigt eine schrittweise Erwärmung des Rheins zwischen Basel und Werkendam. Die Stilllegung von Kernkraftwerken im Rheineinzugsgebiet führte zu einem messbaren Rückgang der mittleren Temperaturerhöhung und könnte die außergewöhnlich niedrigen Wassertemperaturen im Winter 2011/2012 (11 Tage unter 3 °C) mitbeeinflusst haben. Weitere Entwicklungen sind abzuwarten, da die Beobachtung nur auf einem Messjahr basiert.

Die Überschreitungen bestimmter Temperaturschwellenwerte, wie z. B. 22 °C bzw. 25 °C, zeigen eine deutliche Zunahme der Anzahl der Tage mit Überschreitungen pro Jahr im vergangenen Jahrzehnt im Vergleich zu den beiden Jahrzehnten vorher (siehe Abb. 4).

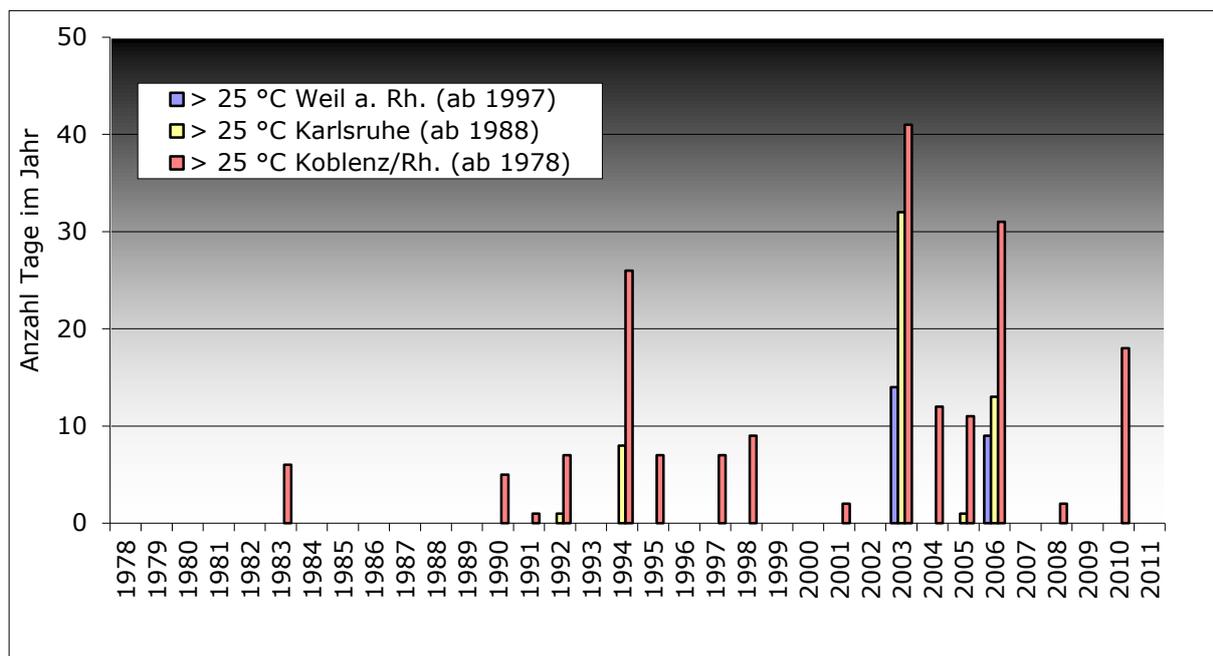


Abb. 4: Überschreitungsdauer der Rhein-WT von 25 °C in den letzten drei Jahrzehnten.
Quelle: IKSR-Fachbericht Nr. 209

Als Ergänzung zum Bericht über die langjährige Rheinwassertemperaturentwicklung im Zeitraum 1978 - 2011 (IKSR-Fachbericht Nr. 209, 2013) hat die IKSR erstmals für ein europäisches Flussgebiet einen Bericht über die **Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung der Rheinwassertemperaturen** in der nahen Zukunft (2021-2050) und der fernen Zukunft (2071-2100) erarbeitet (IKSR-Fachberichte Nr. 213, Kurzfassung und Nr. 214, 2014, Langfassung). Diese Abschätzung beruht auf den in der Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins festgelegten Klimaszenarien (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 188).

In der nahen Zukunft „Near Future – NF“ (2021-2050) zeigen die Längsschnitte im Vergleich der mittleren Augusttemperaturen zum Referenz-Zeitraum (2001-2010) eine um etwa 1,5°C erhöhte Wassertemperatur, während in der fernen Zukunft „Far Future – FF“ (2071-2100) die Zunahme im Rhein eine Größenordnung von 3,5°C einnimmt (vgl. Abbildung 5). In beiden Fällen ist die Erwärmung ursächlich klimatisch bedingt, ohne Zusatzeffekt durch Wärmeeinleitungen (vgl. IKSR-Bericht Nr. 214 Langfassung und Nr. 213 Kurzfassung).

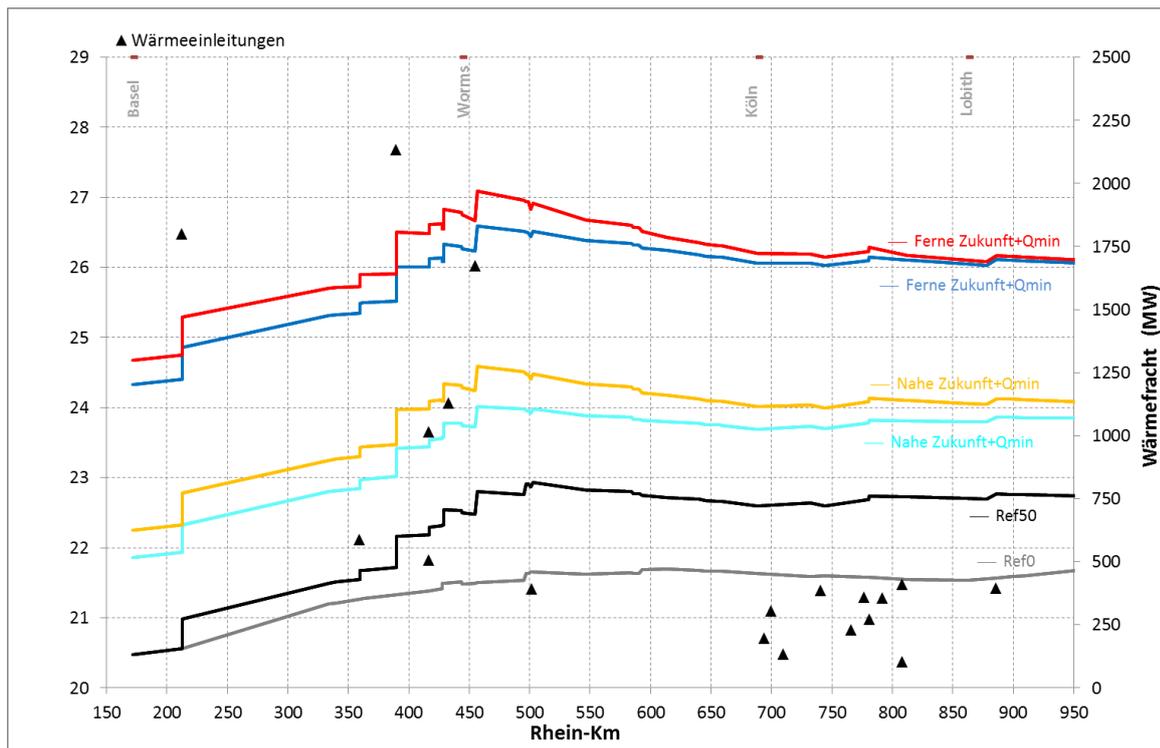


Abbildung 5: Rhein-Längsschnitt der Wassertemperatur-Mittelwerte in °C für den Monat August simuliert von LARSIM (Basel–Worms) und SOBEK (Worms–Werkendam)

Quelle: IKSR-Fachberichte Nr. 213 und Nr. 214, Dreiecke = Wärmeeinleitungen > 200 MW

Abbildung 6 (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 213) zeigt die mittlere Anzahl Tage pro Jahr, an denen die Wassertemperatur entsprechend den Simulationen über 25 °C liegen wird:

- In der nahen Zukunft zeigen die Simulationen, dass die Tage mit Wassertemperaturen über 25 °C im Vergleich zur Referenzsituation mit 50 % der im Jahr 2010 genehmigten Wärmeeinleitungen⁹ (Ref50) zunehmen werden, und zwar bei geringem Abfluss (Qmin) bis auf das Doppelte.
- In der fernen Zukunft werden die Tage mit Überschreitungen von 25 °C stark zunehmen. Bei Worms wird z. B. die Anzahl der Überschreitungstage pro Jahr von 11 auf 64 bis 74 in der fernen Zukunft zunehmen. D. h. in der fernen Zukunft wird im Mittel im Sommer während ca. 10 Wochen bei Worms die Wassertemperatur über 25 °C liegen.
- Dagegen werden in der fernen Zukunft Jahre ohne Überschreitungen von 25 °C ganz selten vorkommen. Ähnliches gilt auch für die ferne Zukunft für die Überschreitungen von 28 °C.

Zudem wurden entsprechende Berechnungen zu Unterschreitungstagen unter 3 °C durchgeführt, da diese Phasen sich positiv auf die Ausbreitung Rhein-typischer Makrozoobenthosarten auswirken und wärmeliebende Neozoen zurückgedrängt werden. Im Vergleich zur Referenz ohne Wärmeleinleitung werden sich die Unterschreitungstage in der nahen Zukunft auf dem Streckenabschnitt bei Worms von 10 auf 0 Tage verringern. Auf dem Streckenabschnitt bis Lobith, der weniger durch Wärmeeinleitungen beeinflusst wird, bewegen sich die Unterschreitungstage mit 50% der im Jahr 2010 genehmigten Wärmeeinleitungen zwischen 4 und 6. In der nahen Zukunft (NF) wird sich die Anzahl dieser Tage auf 1-3 und in der fernen Zukunft (FF) auf 0 bzw. 1 verringern.

⁹ Durch die zwischenzeitlich erfolgte Abschaltung mehrerer Kernkraftwerksblöcke im Rheineinzugsgebiet sind diese Annahmen bereits heute überholt. Verlässliche Prognosen über die Entwicklung der Wärmeeinleitungen könnten die Prognosen zur Wassertemperatur weiter verbessern.

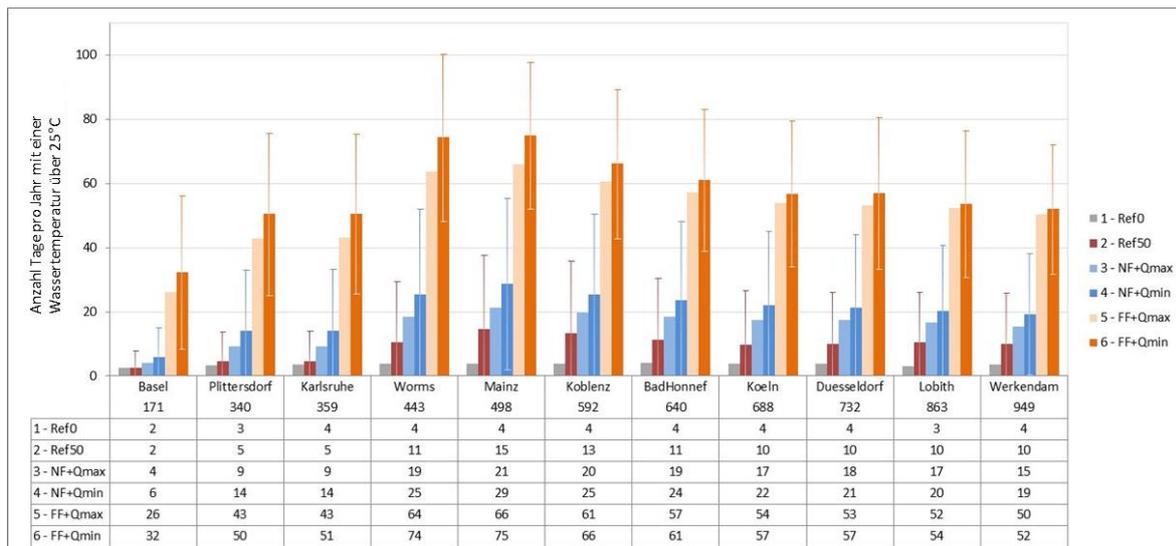


Abbildung 6: Mittlere Anzahl Tage pro Jahr mit einer Wassertemperatur über 25 °C im Rheinverlauf in der nahen und fernen Zukunft. Quelle: IKSR-Fachberichte Nr. 213/214

NF = Near Future/Naher Zukunft, FF = Far future/Ferne Zukunft; Qmin = geringer Abfluss, Qmax = hoher Abfluss; ± Standardabweichungen (Bandbreite der max. Einzelwerten) bei Ref50 (mit 50% der genehmigten Wärmeeinleitungen), NF+Qmin und FF+Qmin

3. Auswirkungen der Wasserhaushalts- und Wassertemperaturveränderungen auf die Wasserqualität und das Ökosystem

Die Auswirkungen der Klimawandelphänomene auf die aquatischen und amphibischen Lebensräume im Rheineinzugsgebiet sind in der Arbeitsgruppe Ökologie zusammengeführt und bewertet worden. Diese finden sich im 2013 publizierten IKSR-Fachbericht Nr. 204 mit dem Titel „Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven“. Die Berichte zu den bisherigen und künftigen Änderungen der Wassertemperatur sind in der Arbeitsgruppe Gewässerqualität/Emissionen erstellt worden und sind als IKSR-Fachberichte Nr. 209 (2013) und Nr. 213 und Nr. 214 (2014) publiziert worden. Die gesamten IKSR - Ergebnisse sind im Folgenden strukturiert zusammengefasst worden.

3.1 Auswirkungen auf die Wasserqualität

Die Auswirkungen der Veränderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperaturen auf die chemisch-physikalische und chemische Qualität des Rheins und seiner Nebenflüsse lassen sich zurzeit noch nicht quantifizieren. Qualitativ kann jedoch Folgendes festgehalten werden:

Abflussbezogene Auswirkungen

Sowohl Hoch- als auch Niedrigwasserabflüsse haben einen Einfluss auf die Wasserqualität.

Bei Hochwasser bzw. Überschwemmungen

- werden kurzzeitig wesentlich höhere Nähr- und ggf. auch Schadstoffmengen flussabwärts transportiert, die große Anteile an der jeweiligen Jahresfracht ausmachen;
- können Verunreinigungen durch Öltank-Ausschwemmungen oder andere durch Extremereignisse verursachte Beschädigungen an Industrieanlagen, Gebäuden usw. auftreten;

- können früher kontaminierte Sedimente remobilisiert werden. Im Sedimentmanagementplan Rhein (IKSR-Fachbericht Nr. 175) wurden bereits 16 Gebiete mit hochwasserbedingtem Resuspensionsrisiko ermittelt.

Bei einer Zunahme der Niederschlagsintensität

- kann es durch Oberflächenabfluss lokal zu einer Zunahme der Schad- und Nährstofffracht kommen, sowohl aus diffusen Quellen (z. B. aus landwirtschaftlicher Bodennutzung und allgemein durch Bodenauswaschung) als auch aus Punktquellen (z. B. aus kommunalen Kläranlagen);
- kann es lokal zu Engpässen in kommunalen Kanalnetzen, Kläranlagen und Regenüberläufen und somit möglicherweise zu Sauerstoffdefiziten in dem aufnehmenden Gewässer kommen, insbesondere in Nebenflüssen mit hohen Abwasseranteilen und in staugeregelten Flussabschnitten.

Bei **Niedrigwasser**

- kann sich bei unverminderter Einleitung von Abwässern grundsätzlich die Konzentration aller Wasserinhaltsstoffe erhöhen, wodurch sich die Wassergüte ändert;
- können auch geringere diffuse Einträge aus Bodenauswaschung im Gewässer auftreten, bedingt durch geringe Niederschläge;
- können die Kläranlagenabläufe einen erheblichen Anteil des Abflusses ausmachen, insbesondere in den großen Rheinnebenflüssen, deren Einzugsgebiete eine hohe Bevölkerungsdichte aufweisen;
- kann im Rheindelta Versalzung auftreten.

Temperaturbedingte Auswirkungen

Die Temperatur ist für die Gewässerqualität ein wichtiger Parameter. Sie ist für die Geschwindigkeit aller chemischen Prozesse, wie z. B. Mineralisation, bestimmend, beeinflusst die Lösungskapazität von Substanzen und spielt für das Gleichgewicht im Wasser sowie für Selbstreinigungsprozesse eine Rolle.

Temperaturanstiege infolge des Klimawandels führen zu niedrigeren gelösten Sauerstoffgehalten im Wasser und können zu höherer Tag-Nacht-Fluktuation in den Sauerstoffkonzentrationen, zu theoretisch niedrigeren pH-Werten und zu schnellerer Mineralisierung führen. Dabei werden Kohlendioxid, Nitrat, Phosphat und Sulfide freigesetzt. Höhere Temperaturen können auch zu höherem Stickstoffabbau durch Denitrifikation führen.

Das Calciumkarbonat-Gleichgewicht ist gleichfalls von Temperatur und pH-Wert abhängig. Es spielt bei der Wasserqualität und der Produktivität des Wassers eine wesentliche Rolle.

3.2 Auswirkungen auf das Ökosystem

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

Hochwasser sind natürliche Phänomene – Auen erhalten sich nur durch periodische Überflutungen. Die überwiegende Mehrzahl der im und am Wasser lebenden Organismen ist in der Lage, ein Hochwasser problemlos zu überleben.

Bei **Niedrigwasser** können Temperatur und gleichzeitig die Sauerstoffzehrung in Gewässern steigen, außerdem kann es zu erhöhter Konzentration der Krankheitserreger und der chemischen Kontaminanten kommen.

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 Organismen wie Fische und Makroinvertebraten, die ihre Körpertemperatur nicht selbst regulieren können, sondern stetig ihrer Umgebung anpassen (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 204).

Durch höhere Wassertemperaturen können sich die Artenzusammensetzung und die Dominanzstruktur entlang der Flussläufe verändern. Besonders empfindlich sind Arten, die an niedrige Temperaturen gebunden sind. Ihre Areale können sich nach Norden oder in höhere Gewässerregionen verschieben. Arten, die große Temperaturschwankungen ertragen können, und 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.

Relevant sind für die Organismen sowohl die mittleren Temperaturen als auch die Höchsttemperaturen, die für Fische gut dokumentiert sind.

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 Optimumbereich 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.

Laut der mittlerweile aufgehobenen EU-Fischgewässerrichtlinie¹⁰ 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. Sauerstoffgehalte von <4 mg/l in Cyprinidengewässern oder von <6 mg/l in Salmonidengewässern sind kritisch für die dort jeweils lebenden Fischarten.

In Gewässern, in denen sich Fischarten fortpflanzen, die dazu kaltes Wasser benötigen, darf die Wassertemperatur während der Laichzeit nicht über 10°C steigen, um die Gonadenreife bei einigen Fischarten nicht zu beeinträchtigen. Die Temperaturgrenzwerte dürfen in 2% der Fälle zeitlich überschritten werden.

Wenn die winterlichen Wassertemperaturen nicht oder nur selten unter 3 °C sinken, fördert dies die Vermehrung und Verbreitung der meisten Wärme liebenden Neobiota. Steigen sie oft und langanhaltend über 10 °C, wird die Winterruhe vieler Wasserorganismen gestört.

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

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 Rheinstraße zu einem

¹⁰ 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

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.

Geschiebe

In europäischen Gebirgszügen versiegt immer mehr der natürliche **Geschiebenachschub**. Dieses Phänomen ist zum Teil auf den Klimawandel und zum großen Teil auf zahlreiche menschliche Eingriffe zur Begrenzung von Feststoffeinträgen, u.a. Hangaufforstungen, zurückzuführen (Malavoi und Bravard 2010¹¹).

Außerdem wird die sich ändernde **landwirtschaftliche Nutzung** (höhere Ackernutzung, weniger Beweidung und vermutlich höherer Bewässerungsbedarf) zu indirekten Änderungen führen.

4. Auswirkungen auf die Gewässernutzungen

Die Folgen des Klimawandels wirken sich auf verschiedene Nutzungen der Gewässer aus. Die Gewässernutzer müssen sich (auch) selbst vorausschauend verhalten und darauf reagieren, um negative Klimawandelauswirkungen zu vermindern, zu begrenzen, zu kompensieren oder aufzuheben.

Betroffen von **Hochwasser** und einer Zunahme der Niederschlagsintensität sind möglicherweise:

- die **Qualität des Rohwassers** für die **Trinkwasserversorgung**: ggf. Verschlechterung;
- die **Raumnutzung**: Hochwassersicherheit für am Gewässer liegenden **Siedlungen, Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungsbetrieben**, da eine höhere Überflutungswahrscheinlichkeit zu einer Veränderung des Schutzniveaus bzw. der Risikosituation führt;
- die **Wasserkraft**: Einschränkung der Stromproduktion, wenn staugeregelte Strecken auch der Hochwasserregulierung dienen (Sonderbetrieb der Kraftwerke am Oberrhein);
- die **Schifffahrt**: Häufigere Einschränkung bzw. Einstellung der Schifffahrt, wenn die Wasserstände entsprechend hoch sind;
- die **Landwirtschaftliche und Naherholungsfunktion der Gewässer, Auen und Feuchtgebiete**, da überschwemmte Räume zeitweise nicht nutzbar sind.

Betroffen von **Niedrigwasser** und erhöhten Wassertemperaturen sind möglicherweise:

- die **Trinkwasserversorgung**: Abnahme der Grundwasserstände, verschlechterte Wasserqualität (z.B. Uferfiltrat), Einschränkung der Trinkwassergewinnung bei geringen Abflüssen;
- **Wärme Kraftwerke und Industriebetriebe**: Einschränkung der Produktion aufgrund fehlenden Kühl- oder Brauchwassers sowie erhöhter Wassertemperatur;
- die **Wasserkraft**: Einschränkung der Stromproduktion bei geringen Abflüssen;
- die **Schifffahrt**: Begrenzung der Ladungsmenge oder ggf. des gesamten Schiffverkehrs bei zu geringer Fahrwassertiefe;
- die **Landwirtschaft**: Mangel an Beregnungswasser für den Ackerbau, insbesondere den Gemüseanbau;

¹¹ Eléments d'hydromorphologie fluviale – Ed Onema – Collection Comprendre pour agir – <http://www.onema.fr/IMG/pdf/elements-dhydromorphologie-fluviale.pdf>

- die **Binnenfischerei** lokal bzw. regional, eventuelle Fischsterben und veränderte Artengemeinschaften.

5. Mögliche Aktionsfelder und Maßnahmen zur Anpassung an die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels

5.1 Grundprinzipien für mögliche Anpassungsmaßnahmen

Folgende Grundprinzipien sollten für das gesamte Rheineinzugsgebiet gelten:

1. Anpassungsmaßnahmen sollten - soweit möglich - das Abflussgeschehen insgesamt und damit beide Extremsituationen, Hoch- und Niedrigwasserphasen, positiv beeinflussen, z.B. Förderung von Wasserrückhalt im Einzugsgebiet, Versickerung von Niederschlag am Ort des Auftreffens;
2. Flexible win-win- und no-regret-Maßnahmen (trotz etwaiger Unsicherheiten in jedem Fall nützliche Maßnahmen) sollten bei den Anpassungsmaßnahmen bevorzugt werden (z. B. Renaturierungen, Gewässerrandstreifen, Sicherung und Freihaltung von Überschwemmungsgebieten als Flächenvorsorgemaßnahmen);
3. Berücksichtigung von grenzüberschreitenden Auswirkungen und die Zusammenarbeit zwischen allen Staaten im Einzugsgebiet sind wichtige Elemente;
4. Viele Maßnahmen sind eng mit anderen künftigen Entwicklungen verbunden, z. B. sozio-ökonomische und demographische Änderungen oder Änderungen der Landnutzung (z.B. vermehrter Maisanbau für Biodiesel) und landwirtschaftlicher Praxis. Die Auswirkungen solcher Veränderungen auf die Wasserqualität und -menge können kurzfristig ausgeprägter sein als (langjährige) Klimawandelauswirkungen. Dies sollte auch bei der Entwicklung von Anpassungsoptionen berücksichtigt werden;
5. Die Maßnahmen können regional unterschiedlich sein, da örtliche Gegebenheiten zu berücksichtigen sind. Bei der Festlegung von Maßnahmen-Prioritäten und deren Gewichtung sollte auch berücksichtigt werden, dass nicht alle Maßnahmen im gesamten Rheineinzugsgebiet umgesetzt werden können, da regional unterschiedliche Verhältnisse herrschen;
6. Die Maßnahmen können unterschiedlich klassifiziert sein, beispielsweise nach ihrer Reichweite bzw. Realisierungsfrist: langfristige Maßnahmen (z. B. bis 2050), mittelfristige Maßnahmen und kurzfristige Maßnahmen (z.B. 6-Jahres-Zyklus der HWRM-RL bzw. WRRL);
7. Laufende und künftige Maßnahmen sollten auf nationaler oder sogar lokaler Ebene einer Prüfung der Klimawandeltauglichkeit unterzogen werden;
8. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen sollte berücksichtigt werden (Kostenvergleich, Kosten/Wirksamkeitsanalyse);
9. Die Auswirkungen von wasserwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen auf andere, nicht wasserwirtschaftliche Klimawandelanpassungs- und Klimawandelvorsorgemaßnahmen sollten ebenfalls berücksichtigt werden;
10. Positive Effekte des Klimawandels auf manche Nutzungsfunktionen sollten ebenso berücksichtigt und genutzt werden;
11. Ein Monitoring der Entwicklungen / Veränderungen der Auswirkungen des Klimawandels soll regelmäßig stattfinden;
12. Die Klima- und hydrologischen Szenarien sollten regelmäßig aktualisiert werden;
13. Die Strategie soll unter Berücksichtigung der 6-Jahres-Zyklen der Umsetzung der EU-Richtlinien im Bereich der Wasserwirtschaft bewertet und ggf. angepasst werden.

5.2 Mögliche Maßnahmen mit Bezug auf die Wassermenge

Hochwasserrisikomanagement

In der 12. Rheinministerkonferenz in Rotterdam ist am 22. Januar 1998 der „Aktionsplan Hochwasser“ (APH) verabschiedet worden. Der Anlass für die Erstellung dieses Aktionsplans, der seit 2001 Bestandteil des „Programms zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins – Rhein 2020“ ist, waren die Hochwasser im Dezember 1993 und im Januar/Februar 1995. Im Rahmen der Umsetzung der HWRM-RL und der Erstellung eines gemeinsamen, übergeordneten Hochwasserrisikomanagementplans sollen die Maßnahmen der Mitgliedstaaten in den Aktionsbereichen Vermeidung, Schutz und Vorsorge zusammengelegt werden.

Die im Rahmen des Aktionsplans Hochwasser ergriffenen Hochwasser-Vorsorgemaßnahmen zur Minderung des Hochwasserrisikos gehen in die richtige Richtung. Um die Auswirkungen von Klimaänderungen künftig besser bewerten zu können, sind die derzeit so großen Bandbreiten für die möglichen Entwicklungen der künftigen Hochwasserabflüsse durch weitere Untersuchungen zu verringern. Unter dem Aspekt des Klimawandels und der erwarteten Zunahme von Hochwasserereignissen und möglicherweise häufiger auftretenden Extremereignissen können bisher geplante Maßnahmen eventuell nicht ausreichen, so dass neuere Untersuchungsergebnisse im zweiten Zyklus der Hochwasserrisikomanagementplanung berücksichtigt werden können.

Darüber hinaus wird der Schwerpunkt bei einem vollständigen und umfassenden Hochwasserrisikomanagement liegen, das alle Handlungsoptionen gemäß HWRM-RL beinhaltet. Der künftige Hochwasserrisikomanagementplan der IKSR wird den APH ablösen. Abgesehen von vielfältigen Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhalts im gesamten Einzugsgebiet, durch Erhalt und/oder Ausweitung von Überschwemmungsflächen, Renaturierungen, Extensivierungen, Schaffung von Rückhalteräumen, Verbesserung der Bauvorsorge gehören Sensibilisierung, Krisenmanagement und Katastrophenschutz zu den wichtigen Elementen.

Maßnahmen bzw. Aktivitäten können sein

1. Berücksichtigung des Klimawandels in den Hochwasserrisikomanagementplänen auf der Grundlage der Abschätzung der Empfindlichkeit bei den betrachteten Hochwasserszenarien;
2. Sensibilisierung der Öffentlichkeit - Stärkung der Eigenvorsorge, der Verhaltensvorsorge und der Verringerung der Verletzlichkeit, Bauvorsorge;
3. Verbesserung von Hochwasservorhersage und -meldung;
4. Wasserrückhalt am Rhein: Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten und Erhöhung des Hochwasserrückhalts, langfristige Sicherung potenzieller Überschwemmungs- bzw. Rückhalteräume;
5. Dezentraler Wasserrückhalt (auf der Fläche, verbesserte Infiltration) und Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet (Nebenflüsse und deren Einzugsgebiete);
6. Flächenvorsorge durch Reduzierung der Bodenversiegelung und Erhalt der Überschwemmungsgebiete (Raumordnung und Bauleitplanung);
7. Technischer Hochwasserschutz insoweit wie das Erreichen der Umweltziele der WRRL nicht beeinträchtigt und das Hochwasserrisiko in anderen Staaten stromauf- oder stromabwärts nicht erhöht wird;
8. Finanzielle Vor- und Nachsorge; Regeneration;
9. Notfallplanung und Hochwasserbewältigung: Gefahrenabwehr, Katastrophenschutz und -übungen.

Niedrigwassermanagement

Fragen zum Niedrigwassermanagement wurden 2003 in Bezug auf Maßnahmen wegen der hohen Rheinwassertemperaturen (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 142 (2005) und IKSR-Fachbericht Nr. 152 (2007)) und 2011 in Verbindung mit Maßnahmen wegen Niedrigwasser (vgl. IKSR-Fachbericht Nr. 198) behandelt.

In der 15. Rheinministerkonferenz am 28. Oktober 2013 in Basel haben die Rheinminister/innen beschlossen, dass den Niedrigwasserereignissen, die insbesondere im Sommer mit hohen Wassertemperaturen einhergehen, aufgrund der zu erwartenden Entwicklung mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Denkbare Maßnahmen wären:

1. Berücksichtigung des Klimawandels bei der Planung und Konzeption von Niedrigwassermanagementmaßnahmen;
2. Kompatibilität und Kohärenz von Maßnahmen zum Niedrigwassermanagement mit denjenigen des Hochwasserrisikomanagements sicherstellen;
3. Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit (und verschiedener Nutzer im Wasserbereich) - präventives/verantwortungsbewusstes Handeln, Förderung des sparsamen Umgangs mit Wasser;
4. Entwicklung/Bereitstellung/Verbesserung von Niedrigwasser-Vorhersagen und -Meldungen/Warnungen;
5. Reaktivierung von Überflutungsgebieten z.B. durch Deichrückverlegungen und/oder Bau von Rückhalteräumen (zur Abflussverzögerung/Rückhaltung im Hochwasserfall);
6. Dezentraler Wasserrückhalt (auf der Fläche) und Wasserrückhalt im Rheineinzugsgebiet (Nebenflüsse und deren Einzugsgebiete) fördern den Erhalt des Grundwasserspiegels bzw. die Wiederauffüllung des Grundwassers, Maßnahmen dienen gleichzeitig dem Erhalt/Schutz der Auen-/Feuchtgebiete;
7. Management-Analyse vor und nach einer Niedrigwasserperiode mit Blick auf die Nutzer (inklusive verwaltungstechnischem und gesetzlichem Rahmen);
8. Bauvorsorge, technische Lösungen (z.B. Auffangen von Niederschlagswasser), alternative Nutzungen.

Insgesamt ist festzustellen, dass viele der genannten Maßnahmen, die für das künftige Hochwassermanagement von Bedeutung sind, sich auch positiv auf das Niedrigwassermanagement auswirken.

5.3 Mögliche Maßnahmen mit Bezug auf die Wasserqualität

Die Bemühungen um die Wasserqualität gehören zu den ältesten Aufgaben der IKSR, die nach dem Sandoz-Unfall 1986 durch die Erstellung des Aktionsprogramms Rhein, dem 2001 das „Programm zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins – Rhein 2020“ gefolgt ist, einen enormen Impuls erhalten haben. Die möglichen Aktionsfelder zum Erhalt und zur Verbesserung der Wasserqualität werden von der IKSR bereits im Rahmen der laufenden Arbeiten verfolgt.

Wegen der Auswirkungen von klimawandelbedingten geänderten Abflüssen und Wassertemperaturen auf die Wasserqualität müssen - abgesehen von laufenden Maßnahmen - eventuelle ergänzende oder neue Maßnahmen ergriffen werden. Diese sollten auf die Minderung der negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität ausgerichtet werden. Dies können u. a. unerwünschte Werte physikalisch-chemischer Parameter wie Temperatur, Sauerstoff, Salz, Nährstoffe und spezifische Verunreinigungen sein, beispielsweise Mikroverunreinigungen, zu denen auch Pestizide gehören.

Derzeitige Aktionsfelder sind:

1. Die **Verbesserung der Wasserqualität** ist ein Bewirtschaftungsziel in der IFGE Rhein. Stoffe im Rheinwasser dürfen keine nachteiligen Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen haben, weder für sich genommen noch in Wechselwirkung miteinander, und die Wasserqualität muss derart sein, dass die Gewinnung von Trinkwasser nicht erschwert wird. Dieses Ziel gilt auch vor dem Hintergrund des Klimawandels.
2. Trotz unverändert intensiver Nutzung des Rheineinzugsgebiets hat sich die Wasserqualität des Rheins und vieler seiner Nebengewässer deutlich verbessert. Dies ist zu einem Großteil der **Verringerung der Schad- und Nährstoffeinträge aus Industrie und Kommunen** zu verdanken, z. B. durch den Bau von Kläranlagen, die sichere Lagerung Wasser gefährdender Stoffe, die Vermeidung von Unfällen etc. Die Maßnahmenprogramme im 1. Bewirtschaftungszyklus gemäß WRRL (2009-2015) zielen auf eine weitere Reduzierung der in die Gewässer eingetragenen Substanzen ab. Da bis 2015 nicht alle Reduzierungsziele erreicht werden, soll den stofflichen Eintragsreduzierungsmaßnahmen und ihren Wechselwirkungen mit anderen Politikbereichen im Zuge des 2. Bewirtschaftungsplans (2016-2021) gemäß WRRL und der weiteren Umsetzung des Programms „Rhein 2020“ verstärkt Aufmerksamkeit gewidmet werden.¹²
3. Eine besondere Herausforderung vor dem Hintergrund der möglicherweise zunehmenden Starkregen- und Hochwasserereignisse stellt dabei die Reduzierung der Verschmutzung aus **diffusen Quellen** dar: u. a. Stickstoff, regional auch Phosphor, Pflanzenschutzmittel, PCB, PAK, Zink und Kupfer. In diesem Zusammenhang existieren weitere Maßnahmen wie die Optimierung des Einsatzes von Düngern und Pflanzenschutzmitteln sowie die Förderung des ökologischen Landbaus/Biolandbaus (Maßnahmen, die auch andere Bereiche/Ressorts treffen).
4. Die Gefahr der **Remobilisierung historisch kontaminierter Sedimente** erhöht sich möglicherweise durch häufigere Hochwasser. 8 der 22 im Sedimentmanagementplan Rhein (2009) identifizierten Risikogebiete sind saniert worden. Die Rheinminister haben 2013 ihre feste Absicht bekräftigt, die im Sedimentmanagementplan Rhein vorgeschlagenen Maßnahmen für alle Risikogebiete umzusetzen.
5. Der **Warn- und Alarmplan Rhein (WAP)** warnt alle Rheinanliegerstaaten und vor allem die Unterlieger, wenn Schadstoffe in erheblichen Mengen in den Rhein fließen. So können Verursacher ermittelt werden.
6. Ein **Monitoring von Schad- und Nährstoffen** wird seit 1954 an 6 Messstellen und 2012 an 8 Hauptmessstellen im Rheinhauptstrom sowie an weiteren Stellen an Mosel und Saar (IKSMS) durchgeführt, jährlich bilanziert und im Internet publiziert (<http://maps.wasserblick.net:8080/iksr-zt/>). Nationales Monitoring findet an zahlreichen weiteren Messstellen, auch in den Nebenflüssen des Rheins, statt. Hier sollte zukünftig ein besonderes Augenmerk auf den Zusammenhang mit den Auswirkungen von Hochwasser und Niedrigwasser, Wassermangel und einer Erhöhung der Wassertemperaturen gelegt werden.
7. In extremen Hitzephasen und damit verbundenem Niedrigwasser, können anthropogene **Wärmeeinleitungen** (beispielsweise von Wärmekraftwerken) zur Nichteinhaltung ökologisch relevanter Sensitivitätsleitwerte (Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt) beitragen. Bei Niedrigwasser könnten schrittweise auf regionaler Ebene verstärkte Überwachungsverfahren eingeführt werden. Für die Information der Nutzer und der Presse wird gesorgt. Es können ggf. Maßnahmen zur Reduzierung von Wasserentnahmen und -einleitungen ergriffen werden. Regional wurden bereits Wärmemodelle (z.B. Wärmemodelle Neckar, Untermain, Ober- und Mittelrhein) oder Alarmpläne (z.B. Alarmplan Main, Handlungskonzept zur Reduzierung des Wärmeeintrags in die großen rheinland-pfälzischen Fließgewässer

¹² Ministerkommuniqué 2013, Punkte 12 und 13

bei hohen Wassertemperaturen) ausgearbeitet mit dem Ziel, im Falle einer kritischen Wasserbeschaffenheit geeignete Maßnahmen einzuleiten.

5.4 Mögliche Maßnahmen mit Bezug auf das Ökosystem

Ebenso wie bei der Wasserqualität werden auch im Bereich Ökologie von der IKSR bereits zahlreiche mögliche Aktionsfelder im Rahmen der laufenden Arbeiten verfolgt, um negative Auswirkungen der Abfluss- und Temperaturänderungen aufgrund des Klimawandels auf Pflanzen und Tiere abzumindern. Insbesondere die Erreichung der ökologischen Ziele der WRRL kann dazu beitragen, die Resilienz (Widerstandsfähigkeit) der Gewässer gegenüber veränderten klimatischen Bedingungen zu erhöhen. Dasselbe gilt für die Ziele der FFH- und der Vogelschutzrichtlinie (NATURA 2000) in Bezug auf die wasserabhängigen Schutzgebiete. Wechselseitige Synergieeffekte – auch mit der HWRM-RL sollten genutzt werden.

Angesichts der vielen Maßnahmen, die bereits ergriffen wurden, um das Ökosystem widerstandsfähiger zu machen, ist es wichtig, bei jeder künftigen Maßnahme zu überlegen, wie die Auswirkungen von Hoch- und Niedrigwasser und des Wassertemperaturanstiegs (z.B. durch Schaffung beschatteter Gebiete, die Erreichbarkeit von Rückzugsräumen, die Erhöhung des Wasserrückhalts und vor allem eine intensive Überwachung in kritischen Zeiten) weiter reduziert werden können. Möglichkeiten dazu sind zum Beispiel:

1. **Schutz und Renaturierung von Lebensräumen:** Die Lebensräume von Pflanzen und Tieren sollen geschützt und wieder in einen naturnäheren Zustand überführt werden. Am Rhein und seinen Nebenflüssen sind dies zum Beispiel
 - frei fließende Strecken, insbesondere mit Laichplätzen für rheophile Fischarten;
 - an den Hauptstrom angeschlossene Altarme, Nebenrinnen und sonstige Nebengewässer;
 - Brackwasserzonen (naturnäherer Übergang von Süß- zu Salzwasser);
 - naturnah umgestaltete Ufer (an kleinen und mittleren Nebengewässern empfiehlt sich die Pflanzung von Gehölzen bzw. das Zulassen der Eigenbesiedlung, um den Anstieg der Wassertemperatur durch Beschattung zu begrenzen);
 - alle Ersatzlebensräume für durch Ausbaumaßnahmen verschwundene Lebensräume im Strombett und deren qualitative Verbesserung.
2. **Vernetzung von Lebensräumen:** Bei kritischen Wassertemperaturen und bei Sauerstoffdefiziten sind die meisten Fische und Wirbellosen in der Lage, durch Wanderbewegungen in eine ggf. vorhandene günstigere Umgebung auszuweichen, sofern diese erreichbar ist. Hierbei kommt dem Rheintal zwischen Oberrhein und Deltarhein eine besondere Rolle als großräumigem Wanderkorridor zu. Ebenfalls wichtig sind die Erreichbarkeit höherer Gewässerabschnitte in den Rhein Nebenflüssen und laterale Verbindungen zu Nebengewässern in der Aue, die mit Schatten und kalten Grundwasseraustritten lokale Rückzugsmöglichkeiten in Hitzesommern bieten. Auch terrestrische Biotopverbände entlang der Gewässer sollten in geeigneter Weise vernetzt werden. Die Umsetzung des „Biotopverbundes am Rhein“¹³ sowie die weitere Wiederherstellung der Durchgängigkeit in den

¹³ www.iksr.org – Dokumente/Archiv - Broschüren – „Biotopverbund am Rhein“, IKSR 2006

Programmgewässern für Wanderfische im Rheineinzugsgebiet¹⁴ werden hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Beispiele für **nationale Programme im Rheineinzugsgebiet**, die diese Handlungsfelder aufgreifen:

- "Flussrevitalisierungen" in der Schweiz¹⁵
 - „Trame verte et bleue“ in Frankreich¹⁶
 - "Integriertes Rheinprogramm" in Baden-Württemberg¹⁷
 - „Aktion Blau Plus“ in Rheinland-Pfalz¹⁸
 - „Lebendige Gewässer“ in Nordrhein-Westfalen
 - "Mehr Raum für den Fluss" in den Niederlanden¹⁹
- 3. Ökologischer Hochwasserschutz:** Aus naturschutzfachlicher Sicht ist ein Hochwasserschutz, der die ökologische Funktionsfähigkeit der Uferstrukturen und Auen einbezieht dort, wo dies möglich ist, dem technischen Hochwasserschutz vorzuziehen. So sind z. B. die ökologische Flutung von Poldern oder Deichrückverlegungen als Win-win-Maßnahmen zu sehen, die sowohl zur Förderung der Biodiversität als auch zur Minderung von Schadenspotenzialen und Risiken in den Überschwemmungsgebieten beitragen.
 - 4. Wasserqualität:** Da verschmutztes oder sauerstoffarmes Wasser für Pflanzen und Tiere einen zusätzlichen Stressfaktor zum Klimawandel darstellt, sollte die Wasserqualität weiter erhalten und verbessert werden (siehe oben).
 - 5. Wassertemperatur:** Eine zusätzliche anthropogene Erhöhung der Wassertemperatur durch Wärmeeinleitungen sollte auf ein Mindestmaß beschränkt werden und sollte der Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials nicht entgegenstehen. Wenn Nebengewässer mit dem Hauptstrom vernetzt sind, haben Fische aus dem Rhein lokal Rückzugsmöglichkeiten in kühleren (z. B. schattigeren) Seitenarmen und -gewässern.
 - 6. Monitoring der Lebensgemeinschaften (Biozöosen):** Veränderungen der Biozöosen, die durch den Klimawandel bedingt werden, zeigen sich möglicherweise erst langfristig. Eine solide Datengrundlage, wie sie im bestehenden IKSR-Messprogramm Biologie und in nationalen Messnetzen vorliegt, ist daher für die Entwicklung von Instrumenten für ein gezieltes Monitoring bedeutsam.

5.5 Mögliche Maßnahmen mit Bezug zu anderen Sektoren

In diesem Kapitel werden mögliche Maßnahmen beschrieben, die aus Sicht der IKSR einen Bezug zu anderen Nutzungen (Sektoren) haben und die vorher angesprochenen Bereiche Hochwasserrisiko- und Niedrigwassermanagement, Wasserqualität und Ökosystem nicht betreffen. Es geht bei dieser Betrachtung nicht darum, wie die einzelnen Sektoren auf den Klimawandel reagieren oder welche sozio-ökonomischen Entwicklungen

¹⁴ „Masterplan Wanderfische Rhein“ – IKSR-Fachbericht Nr. 179 (2009) & „Fortschritte bei der Umsetzung des Masterplans Wanderfische in den Rheinanliegerstaaten in den Jahren 2010-2012“ – IKSR-Fachbericht Nr. 206, www.iksr.org

¹⁵ vgl. BAFU / EAWAG 2010 *Präzisierung wird noch geliefert*

¹⁶ vgl. www.legrenelle-environnement.fr/-Trame-verte-et-bleue-.html

¹⁷ vgl. www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1188090/index.html

¹⁸ vgl. <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/2038/>

¹⁹ vgl. www.ruimtevoorderivier.nl/

(Aufbau/Entwicklung der Zusammensetzung der Bevölkerung, eventuelle Landnutzungsänderungen, künftige Energieversorgung) erwartet werden.

Die IKSR hat den Auftrag, sozio-ökonomische Entwicklungen bei der Erarbeitung einer Anpassungsstrategie an den Klimawandel zu berücksichtigen. Aus diesem Grund werden mögliche Maßnahmen in diesen anderen Sektoren aufgeführt:

Mögliche Maßnahmen mit Bezug zu(r):

1. **Trinkwasserversorgung:** Verbindung von Versorgungsnetzen, Wassermanagement, Minimierung von Verlusten;
2. **Wasserentnahmen bei Niedrigwasser:** Mengenregulierung, Ausnahmeregelungen;
3. **Stromproduktion in Wärmekraftwerken²⁰:** Nutzung von Kühltürmen, Abwägung von Versorgungssicherheit und Umweltauswirkungen. Überprüfung/Anpassung von Einleit-Erlaubnissen und Ausnahmeregelungen für die Einleitung von Kühlwasser aus Wärmekraftwerken und Industriebetrieben; ggf. Einschränkung der Produktion bei Niedrigwasser;
4. **Stromproduktion mit Wasserkraft:** Festlegung eines biologischen Mindestwasserabflusses für Wasserkraftwerke in Ausleitungsstrecken, um Leben, Wanderung und Reproduktion der in den Gewässern lebenden Arten sicherzustellen. Wasserkraftwerke müssten in solchen Fällen ihren Betrieb einstellen, wenn der Abfluss im Fließgewässer unter diesen Wert fällt;
5. **Binnenfischerei:** Untersagen des Fangs einer oder mehrerer Fischarten in gewissen Fließgewässerabschnitten oder in gewissen stehenden Gewässern, wenn bei Trockenheit und/oder Hitzewellen dieses lokal zum Schutz der Fischfauna gerechtfertigt ist;
6. **Schifffahrt / Wasserstraßen:** Geringere Beladung oder Einschränkung der Schifffahrt bei Niedrigwasser, Anpassung der Schiffsgrößen, Fahrrinnenvertiefungen, die die Schifffahrt auch bei Niedrigwasser gewährleisten sollen;
7. **Landwirtschaft:** Anpassung bestehender Praxis (Rückgewinnung des Niederschlagswassers, Wahl geeigneter, weniger Wasser verbrauchender Sorten, Einsatz wassersparender Bewässerungstechniken, beispielsweise Tröpfchenbewässerung, usw.);
8. **Naherholung:** Durch Gewässerlehrpfade auf den Reichtum der Natur, aber auch auf die Entwicklungen des Klimawandels, auf Hochwassergefahren usw. hinweisen.

Im gesamten Einzugsgebiet und insbesondere in grenzüberschreitenden Gebieten sollten künftig entweder im Rahmen der IKSR oder bilateral internationale Absprachen über das jeweilig beabsichtigte Vorgehen weiter intensiviert werden. Dies gilt insbesondere für einen Informationsaustausch im Vorfeld des Einsatzes nationaler Maßnahmen in Extremsituationen an Grenzgewässern. Um Unsicherheiten bei den Nutzern zu vermeiden, sollten auf beiden Seiten eines Grenzgewässers zum gleichen Zeitpunkt ähnliche Regeln gelten.

Wichtig für die nationalen Behörden sind gute Entscheidungsgrundlagen, ein geeignetes Notfallkonzept sowie die gute Kommunikation über getroffene Entscheidungen.

Für ein einheitliches Vorgehen in Extremsituationen wäre die Ausarbeitung entsprechender Empfehlungen hilfreich, wobei die IKSR als Plattform dienen könnte. Diese Empfehlungen sollten Strategien für die Überwachung, Informationsstrategien und Kriterien für den Erlass von Ausnahmegenehmigungen enthalten.

²⁰ Die Stromproduktion in Wärmekraftwerken ist in Deutschland aufgrund des Atomausstiegs und des Ausbaus der erneuerbaren Energien bereits jetzt, aber auch in Zukunft im Wandel. Aufgrund des Einflusses auf die Wärmefracht wären verlässliche Prognosen über die weitere Entwicklung eine wichtige Grundlage zur Verbesserung von Prognosen zur Temperaturentwicklung in den Flüssen und eine Entscheidungsgrundlage zur Ergreifung notwendiger Maßnahmen in diesem Bereich.

Anlage 1: Auswahl von Publikationen zur Anpassung an den Klimawandel auf internationaler und nationaler Ebene

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)

„Wärmebelastung der Gewässer im Sommer 2003 – Zusammenfassung der nationalen Situationsberichte“, IKSR, Fachbericht Nr. 142, www.iksr.org

„Maßnahmen bezogen auf die Wärmebelastung des Rheins in extremen Hitze- und Trockenperioden – Überblick und Zusammenstellung der Länderberichte“, IKSR, Fachbericht Nr. 152, 2006, www.iksr.org

„Analyse des Kenntnisstands zu den bisherigen Veränderungen des Klimas und zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt im Rhein-Einzugsgebiet“, IKSR, Fachbericht Nr. 174, 2009, www.iksr.org

„Sedimentmanagementplan Rhein“, IKSR-Fachbericht Nr. 175, 2009, www.iksr.org

„Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins“, IKSR, Fachbericht Nr. 188, 2011, www.iksr.org

„IKSR Workshop: Auswirkungen des Klimawandels auf das Flussgebiet Rhein“ (30. und 31. Januar 2013 in Bonn), www.iksr.org

„Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven“, IKSR, Fachbericht Nr. 204, 2013, www.iksr.org

„Darstellung der Entwicklung der Rheinwassertemperaturen auf der Basis validierter Temperaturmessungen von 1978 bis 2011“, IKSR, Fachbericht Nr. 209, 2013, www.iksr.org

„Abschätzungen der Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung zukünftiger Rheinwassertemperaturen auf Basis von Klimaszenarien“ – Kurzbericht, IKSR-Fachbericht Nr. 213, 2014, www.iksr.org

„Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development“ – Extensive version (nur in englischer Sprache), IKSR, Fachbericht Nr. 214, 2014, www.iksr.org

„Ministerkommuniqué der 15. Rhein-Ministerkonferenz, 28. Oktober 2013, Basel“, IKSR 2013

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

„Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation“, IPCC, 2012 <http://www.ipcc.ch>

„Climate change and water“, IPCC Technical Paper VI, 2008 <http://www.ipcc.ch>

„Climate Change 2007: Synthesis Report“, IPCC, 2007.
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf

UN Economic Commission for Europe (UN-ECE)

„Guidance on Water and Adaptation to Climate Change“, UNECE, UN Publications, 2009
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate.pdf

UN Framework Convention on Climate change (UNFCCC), Submitted National Communications

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/4903.php

Europäische Union

European Commission, The 'Blueprint to safeguard Europe's water resources', 2013
http://ec.europa.eu/environment/water/index_en.htm

European Commission, Guidelines on developing adaptation strategies, 2013
http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/swd_2013_134_en.pdf

Datenbank EEA Klimawandelanpassungsstrategie:
<http://www.eea.europa.eu/themes/climate/national-adaptation-strategies>

"Background Document on the Inventory of Measures", "Inventory of Measures" Projekt ClimWatAdapt, 2010

"Full 2nd workshop report" und "Tool for the selection of adaptation measures",
ClimWatAdapt workshop, März 2011, <http://www.climwatadapt.eu>; Tool:
<http://www.tiamasg.com/mDSS/wDSS1/#/Start>

"Thematic workshop on Climate Change and Flooding - 8-10 September 2009, Karlstad, Sweden", Report on Proceedings and Key Recommendations, CIS/Working group F, 2011
"Draft Report of the Working Group F Climate Change Adaptation workshop" (Draft version no. 3, 04.04.2013), CIS/Working group F, 2011 <https://circabc.europa.eu>

„The european environment state and outlook 2010 – Mitigating climate change“, EEA Report, 2010 <http://www.eea.europa.eu/soer/europe/mitigating-climate-change>

„River basin management in a changing climate – Guidance document No. 24“, Common Implementation Strategy (CIS) for the WFD (2000/60/EC), Technical Report, 2009
http://ec.europa.eu/environment/water/adaptation/index_en.htm

"Report on good practice measures for climate change adaptation in river basin management plans", EEA-EIONET, 2009. http://icm.eionet.europa.eu/ETC_Reports/

Strategic Initiative Cluster „Adaptation to the Spatial Impacts of Climate Change“:
<http://www.sic-adapt.eu/>

Internationale Kommissionen zum Schutz der Mosel und der Saar (IKSMS)

Ermittlung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Mosel- und Saareinzugsgebiet, Broschüre FLOW-MS, 2013
<http://www.iksms-cipms.org/servlet/is/60264/Broschuere-Klimawandel.pdf?command=downloadContent&filename=Broschuere-Klimawandel.pdf>

International Commission for the Protection of the Danube River (IKSD)

„ICPDR Strategy on Adaptation to Climate Change“
<http://www.icpdr.org/main/activities-projects/climate-adaptation>
<http://www.icpdr.org/main/climate-adaptation-strategy-published-print>

Internationale Maas Kommission (IMK)

Ergebnisse des AMICE Projekts (Stand: April 2013) <http://www.amice-project.eu>

Alpen-Gebiet

„Adaptation to climate change in the Alpine Space (AdaptAlp)“: <http://www.adaptalp.org/>

„Climate change, impacts and adaptation strategies in the Alpine Space“ (CLIMCHALP):
Siehe auch unter <http://www.adaptalp.org/>

Zentrale Kommission für die Rheinschifffahrt (ZKR)

„Klimawandel und Rheinschifffahrt“, Beschluss 2011-II-9 der Herbstsitzung 2011 der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) vom 30. November 2011. CC/R 2011 II, S. 75. <http://ccr-zkr.org/13020400-de.html>

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)

„Socio-economic influences on the discharge of the River Rhine“, Seminar 26.-27. März 2014, Bregenz (Austria) <http://www.chr-khr.org>

Deutschland

„DAS - Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“, Bundeskabinett, 2008
URL: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>

Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft - Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen“, LAWA, März 2010
URL: http://www.lawa.de/documents/LAWA_Strategiepapier_1006_d07.pdf

„Klimawandel – Herausforderungen und Lösungsansätze für die deutsche Wasserwirtschaft“, DWA-Themen, DWA, 2010

„Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen“, LAWA, März 2010

„Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement“, LAWA, 2007

„Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben“, UBA, 2006 <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3545.html>

„Climate change in Germany: vulnerability and adaptation of climate sensitive sectors“, UBA, 2005 <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2974.pdf>

„Development of a „Screening Tool“ for climate proofing of water management Measures“, UBA, 2013

„Hochwasser-Abflussprojektionen und Auswertungen“, KLIWA – 5. KLIWA-Symposium, KLIWA-Berichte Heft 19, Dezember 2013 <http://www.kliwa.de>

Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) www.anpassung.net

„Klimawandel im Süden Deutschlands: Ausmaß – Auswirkungen – Anpassung“, KLIWA – Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, 2012
<http://www.kliwa.de>

„Klimawandel und Wasserwirtschaft: Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel“, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, 2011
http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/broschuere_klima_und_wasser.pdf
<http://www.klimawandel.nrw.de>

Regierung von Unterfranken 2012: „Alarmplan für den bayrischen staugeregelten Main“ – Gewässerökologie.

<http://www.regierung.unterfranken.bayern.de/aufgaben/6/3/00756/index.html>

Niederlande

„Een frisse blik op warmer water“, RWS/STOWA, Amersfoort, oktober 2011

„Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater – van knelpunten naar maatregelen“, RIVM, 2013

„Invloed van steden en klimaatverandering op de Rijn en de Maas“, Deltares, 2010

„Nationaal Waterplan 2009 – 2015“, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Dezember 2009. <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vragen-en-antwoorden/wat-is-het-nationaal-waterplan.html>

„Deltaprogramma 2015“, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, September 2014

- <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma> (niederländisch)
- <http://www.deltacommissaris.nl/english/> (englisch)
- http://www.deltacommissaris.nl/english/Images/Delta%20Programme%202015%20English_tcm310-358177.pdf (englischsprachiger Bericht)

„Water shortage and climate adaptation in the Rhine Basin“, Inspiration Document Based on the International Rhine Basin Conference (29-31 October 2012, Kleve), Provincie Gelderland, 2013, www.gelderland.nl/klimaatconferentie2012

Frankreich

Projekt „Explore2070“, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2010-2012), <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html>

„Plan national d'adaptation au changement climatique 2011-2015“, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Juli 2011
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation,22978.html>
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/The-national-climate-change.html> (english)

Ältere Studien und Berichte des ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique – Nationale Beobachtungsstation der Auswirkungen des Klimawandels) <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Publications-de-l-ONERC-.html>

Schweiz

„Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz - Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder“, Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01673/index.html?lang=de>

„Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Wasserwirtschaft, Beitrag des Bundesamtes für Umwelt zur Anpassungsstrategie des Bundesrates“, Januar 2012
<http://www.bafu.admin.ch/klimaanpassung/index.html?lang=de>

„Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer“, Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro), 2012.
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01670/index.html?lang=de>

„Nachhaltige Wassernutzung“, Nationales Forschungsprogramm NFP61,
<http://www.nfp61.ch/D/Seiten/home.aspx>

„Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz“ – Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft“. Zukünftige Herausforderungen“. BAFU, 17.10.2012.
<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/28597.pdf>

Österreich

„Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012.
http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/strategie-kontext.html

"Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft" (Langfassung), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2010.
http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser/wasserwirtschaft_wasserpolitik/anpassungsstrategien_an_den_klimawandel_fuer_oesterreichs_wasserwirtschaft.html

„Klima|Wandel|Anpassung“: <http://www.klimawandelanpassung.at/>
Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014, Austrian Panel on Climate Change, 2014. <http://www.apcc.ac.at/>

ÖWAV-ExpertInnenpapier "Klimawandelauswirkungen und Anpassungsstrategien in der österreichischen Wasserwirtschaft, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2014
<http://www.oewav.at/Page.aspx?target=65710&mode=form&app=134598&edit=0¤t=175698&view=134599&predefQuery=134639>

Luxemburg

„Paquet Climat“, Partnerschaft für Umwelt und Klima / Partenariat pour la protection de l'environnement et du climat, 2011)
http://www.developpement-durable-infrastructures.public.lu/fr/developpement-durable-infrastructures/partenariat/Paquet_Climat_integral.pdf

„Synthesedokument der Groupe de pilotage für eine nationale Nachhaltigkeitsstrategie“, Luxemburg. www.developpement-durable-infrastructures.public.lu

Belgien

„Belgian national climate change adaptation strategy“, National Climate Commission, 2010 <http://www.flanders.be/en/publications/detail/belgian-national-climate-change-adaptation-strategy>

„Plan National Climat de la Belgique 2009 – 2012 - Inventaire des mesures et état des lieux“, 2008 www.climat.be/files/7813/8262/1900/PNC_2009-2012-2.pdf

Anlage 2: „Sensitivitätsleitwerte“ Hochwasser (Orientierungsgrößen für mögliche Anpassungsmaßnahmen)

Handlungsfelder	Leitwert	Repräsentative Größe	Maßgebende Größe	Mögliche Auswirkungen/Szenarien (bis 2050): Bandbreite (Basis für Diskussionen über Anpassungsmaßnahmen)		
Hochwasser- risikomanagement	Schutzgrad/Sicherheit	MHQ (in m³/s)	Lobith : 6680 m³/s (NL-Angaben)	0 bis +20%		
			Köln : (MHQ Jahr): 6.610 m³/s MHQ (hydrologischer Sommer, Mai-Okt.): 4.000 m³/s MHQ (hydrologischer Winter, Nov. - Apr.): 6510 m³/s	0 bis +20%		
			Kaub : (MHQ Jahr): 4370 m³/s MHQ (hydrologischer Sommer, Mai-Okt.): 3240 m³/s MHQ (hydrologischer Winter, Nov. - Apr.): 4260 m³/s	-5% bis +25%		
			*Worms : (MHQ Jahr): 3480 m³/s MHQ (hydrologischer Sommer, Mai-Okt.): 2870 m³/s MHQ (hydrologischer Winter, Nov. - Apr.): 3310 m³/s	-10% bis +20%		
			*Maxau : (MHQ Jahr): 3.240 m³/s MHQ (hydrologischer Sommer, Mai-Okt.): 2850 m³/s MHQ (hydrologischer Winter, Nov. - Apr.): 2980 m³/s	-5% bis +15%		
			*Basel : (MHQ Jahr): 3070 m³/s MHQ (hydrologischer Sommer, Mai-Okt.): 2880 m³/s MHQ (hydrologischer Winter, Nov. - Apr.): 2520 m³/s	-5% bis +10%		
			HQ10 (in m³/s)	Lobith : 9.500 m³/s Köln : 8.870 m³/s Kaub : 5.800 m³/s Worms : 4.750 m³/s Maxau : 4.100 m³/s Basel : 3.980 m³/s	-5% bis +15% -5% bis +15% -15% bis +15% +7% (KLIWA) 0% bis +5% (KLIWA) 0% bis +5% (KLIWA)	
			HQ100 (in m³/s)	Lobith : 12.700 m³/s (BfG) - NL: 12675 m³/s Köln : 12.000 m³/s Kaub : 8.000 m³/s Worms : 6.000 m³/s (ohne Retentioneinsatz: 6.300 m³/s) Maxau : 5.000 m³/s (ohne Retentioneinsatz: 5.300 m³/s) Basel: 4780 m³/s	0 bis +20% 0 bis +20% -5% bis +20% +5% (KLIWA; für HQ 100 und HQ 200) 0% bis 5% (KLIWA; für HQ 100 und HQ 200) 0% bis 5% (KLIWA; für HQ 100 und HQ 200)	
			HQExtrem (in m³/s)**	Lobith : 16.000 m³/s Köln : 15.250 m³/s (Maximalbetrachtung, keine Bemessungsgröße) Kaub : 10.400 m³/s *Worms : 7.600 m³/s (Maximal möglicher Abfluss ohne Berücksichtigung von Deichbrüchen) *Maxau : 6.500 m³/s (Maximal möglicher Abfluss ohne Berücksichtigung von Deichbrüchen) *Basel : 5480 m³/s (definiert als HQ1000)	-5 bis +20% -5% bis +25% -5% bis +25% (KLIWA Angaben nicht vorhanden) -15% bis +30% (KLIWA Angaben nicht vorhanden) -20% bis +35% (KLIWA Angaben nicht vorhanden) -20% bis +35% (KLIWA Angaben nicht vorhanden)	
		Schifffahrt	HSQ (in m³/s) HSW (in cm oder m)	Lobith : 5675 m³/s	0 bis +20% (Tendenzen für HQ100)	
				Köln : 830 cm = 6960 m³/s	0 bis +20% (Tendenzen für HQ100)	
				Kaub : 640 cm = 5100 m³/s	-5% bis +20% (Tendenzen für HQ100)	
				*Worms : 650 cm = 4310 m³/s	+5% (KLIWA; Tendenzen für HQ100)	
				*Maxau : 750 cm = 2800 m³/s	+4% (KLIWA; Tendenzen für HQ100)	
				*Basel bei Rheinfeldern: 2500 m³/s	+3% (KLIWA; Tendenzen für HQ100)	
		<p>Hinweis: Luxemburg liegt nicht am Hauptstrom des Rheins (keine Pegelstationen in obestehender Tabelle aufgeführt). Trotzdem wurden im Bereich der Wasserwirtschaft gewisse Anpassungsmaßnahmen durchgeführt. Deutschland (Pegel Kaub und Köln): Weitere KLIWA-Ergebnisse werden erwartet. NL (Lobith): - HQ100 (in m³/s): Bei Lobith scheint 0-10% realistischer zu sein (Deichüberströmungen). - HQExtrem (in m³/s) (laut Aussage der Niederlande ist es wichtig, HQExtrem als repräsentative Größe zu berücksichtigen): Für die Zunahme des maßgeblichen Abflusses für 2050 werden bei Lobith 6 % veranschlagt.</p> <p>*: Für die Oberrheinpegel Basel, Maxau und Worms ist für MHQ und HQExtrem zu möglichen Klimaauswirkungen „keine Aussage möglich“, da die Spanne der Modellergebnisse $\geq 50\%$ ist und/oder methodische Defizite aufgezeigt wurden (vgl. IKSR-Bericht Nr. 188, S. 17). **: im KLIWA-Projekt gibt es derzeit keine Untersuchungen für HQExtrem)</p>				
		<p>Legende: HQ10: Abfluss bei einem Hochwasser mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 x in 10 Jahren (Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit). HQ100: Abfluss bei einem Hochwasser mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 x in 100 Jahren (Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit). HQExtrem: Abfluss bei Extremhochwasser (Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit).</p> <p>MHQ: Arithmetisches Mittel der höchsten Tageswerte des Abflusses gleichartiger Zeitabschnitte (z.B. hydrologische Halbjahre) der betrachteten Zeitspanne. HSW: höchster schiffbarer Wasserstand (in m) HSQ: Abfluss beim höchsten schiffbaren Wasserstand</p>				
		<p>Quellen: Angaben "Maßgebende Größe": nationale Angaben: Pegel in D: D-Delegation und BfG (Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch), Pegel in NL (Lobith): NL-Delegation, Pegel in CH (Basel): CH-Delegation Angaben "Klima-Auswirkung (...)": - IKSR-Bericht Nr. 188, 2011 - Ergebnisse KLIWA-Projekt, Stand September 2014</p>				

Anlage 3 „Sensitivitätsleitwerte“ Niedrigwasser

(Orientierungsgrößen für mögliche Anpassungsmaßnahmen)

Handlungsfelder	Leitwert	Repräsentative Größe	Maßgebende Größe	Mögliche Auswirkungen/Szenarien (bis 2050): Bandbreite (Basis für Diskussionen über Anpassungsmaßnahmen)
Niedrigwasser-management	Niedrigwasser-management	NM7Q (in m³/s)	Lobith: 624 m³/s (niedrigste NM7Q der letzten 100 Jahre) (Rheinblick2050) 1150 m³/s (mittlere NM7Q über 30 Jahre) (KHR Studie)	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Köln : 702 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Kaub : 536 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Worms : 444 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Maxau : 393 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Basel : 475 m³/s (Periode 1869-2009, bezogen auf das schweizerische sog. NQ-Jahr von Mai-April) (CH: korrekt eigentlich MNM7Q, da langjähriger Mittelwert der jährlichen NM7Q)	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
	Süßwasserversorgung	Mindestabfluss (in m³/s)	Lobith : 1100 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
	Schifffahrt	GIQ (in m³/s)	Lobith : 1020 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Köln : 145 cm = 935 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
			Kaub : 80 cm = 750 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)
Worms : 65 cm = 670 m³/s			-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)	
Maxau : 360 cm = 585 m³/s			-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)	
		Basel : ca. 490 m³/s	-10% bis +10% (Tendenzen für NM7Q Sommerhalbjahr)	
<p><i>Hinweis:</i> Luxemburg liegt nicht am Hauptstrom des Rheins (keine Pegelstationen in obenstehender Tabelle aufgeführt). Trotzdem wurden im Bereich der Wasserwirtschaft gewisse Anpassungsmaßnahmen durchgeführt. Bei Niedrigwasser ist die maximale Auswirkung nicht ein zunehmender Niedrigwasserabfluss sondern die größte Abnahme des Niedrigwasserabflusses.</p>				
Legende:				
NM7Q: Niedrigstes arithmetisches Mittel des Abflusses von 7 Tagen in gleichartigen Zeitabschnitten (z.B. hydrologische Halbjahre) der betrachteten Zeitspanne.				
GIQ: Gleichwertiger Abfluss				
Quellen:				
Angaben "Maßgebende Größe": nationale Angaben: Pegel in D: D-Delegation und BfG (Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch), Pegel in NL (Lobith): NL-Delegation, Pegel in CH (Basel): CH-Delegation				
Angaben "Klima-Auswirkung (...)": IKSR-Bericht Nr. 188, 2011				