



LAWA- Ausschüsse
Oberirdische Gewässer und Küstengewässer,
Grundwasser und Wasserversorgung
sowie
ad hoc-Ausschuss Hochwasser

1. Entwurf eines
LAWA-Strategiepapiers "Klimawandel - Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft"
gem. Beschluss Nr. 2 zu TOP 6.2 a zur 133. LAWA-VV in Trier
(Stand: 07.09.2007)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Einführung	3
1.2 Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft.....	3
1.3 Betroffene Bereiche der Wasserwirtschaft	4
1.4 Vorgehensweise zur Quantifizierung der Auswirkungen	4
2 Klimawandel in Deutschland	5
3 Wasserwirtschaftliche Auswirkungen	6
3.1 Oberflächengewässer	6
3.1.1 Oberflächenwasserqualität	6
3.1.2 Abwasserqualität/Frachten	7
3.1.3 Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere der Gewässer	7
3.1.3.1 Temperaturerhöhung im Sommer	7
3.1.3.2 Temperaturerhöhung im Winter	7
3.1.3.3 Qualität/Sauerstoff	8
3.1.3.4 Einengung des Lebensraums der Salmonidengewässer	8
3.1.3.5 Schnellere Vermehrungsrate von Erregern.....	8
3.1.4 Verminderte Wärmeeinleitung durch vermehrte Abwärmenutzung	8
3.1.5 Wasserrückhaltung in der Fläche	9
3.2 Hochwasser	9
3.3 Niedrigwasser	10
3.4 Grundwasser und Wasserversorgung	11
3.4.1 Änderungen des Niederschlagsverhaltens	12
3.4.2 Langjährige Änderungen des Grundwasserhaushalts	12
3.4.3 Änderungen der Grundwassertemperatur	13
3.4.4 Extremwetterlagen.....	13
3.4.5 Beregnung.....	13
3.5 Auswirkungen auf die Gewässer durch den Einsatz regenerativer Energieerzeugung.....	14
3.5.1 Regenerative Energien.....	14
3.5.1.1 Nachwachsende Rohstoffe	14
3.5.1.2 Wasserkraft.....	14
4 Zukünftig notwendige Aktivitäten zur Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels	15
4.1 Notwendigkeit von weiteren Forschungen	15
4.2 Notwendigkeit des wasserwirtschaftlichen Monitorings.....	15
4.3 Strategien zur Anpassung an den Klimawandel.....	15
Literaturverzeichnis	17

1 Einführung

Der Klimawandel ist eine zentrale Herausforderung heutiger Umweltpolitik. Trotz aller Anstrengungen zum Klimaschutz im Rahmen des Kyoto-Protokolls 1997 steigen die Treibhausgasemissionen weltweit an. Neben den Beiträgen, die zur Senkung der Emissionen und damit zur Begrenzung des Temperaturanstiegs geleistet werden, muss sich unter anderem auch die Wasserwirtschaft vorsorglich auf klimatische Veränderungen vorbereiten. Damit werden vielfältige Risiken vermindert und letztlich die volkswirtschaftlichen Schäden so gering wie möglich gehalten. Daher hat die LAWA-Vollversammlung auf ihrer 133. Sitzung am 19./20. März 2007 in Trier beschlossen, ein Strategiepapier für die weitere Arbeit der LAWA vor dem Hintergrund eines sich wandelnden Klimas zu erarbeiten.

Ziel des Strategiepapiers ist es, auf die Herausforderungen des sich abzeichnenden Klimawandels zu reagieren und einen Beitrag dazu zu leisten, eine klima- und umweltverträgliche zukunftsfähige Politik zu unterstützen. Nachstehend werden allgemein die vom Klimawandel voraussichtlich betroffenen Bereiche der Wasserwirtschaft angesprochen, für die weiterführende Handlungsoptionen regional zu konkretisieren sind.

Die bestehende Aufgabe, künftige Veränderungen des Wasserhaushalts als Folge von möglichen Klimaveränderung aufzuzeigen und den Wasserwirtschaftsverwaltungen Hinweise über damit verbundene Auswirkungen auf die quantitativen und qualitativen gewässerkundlichen Grundlagen zu geben sowie nachhaltige Handlungsstrategien für die Umsetzung im Sinne des Vorsorgeprinzips zu entwickeln, kann nur in einem mittel- bis längerfristigen Programm geplant und umgesetzt werden. Die einzelnen Arbeits- und Untersuchungsprojekte müssen dabei aufeinander fachlich abgestimmt und in ihrem Gesamtzusammenhang dargestellt sein. Dabei sollte eine Zusammenarbeit zwischen den Bundesländern erfolgen, vor allem, wenn vergleichbare Fragestellungen in klimatisch ähnlichen Regionen zu bearbeiten sind.

Grundlage für die Entwicklung von Handlungsoptionen sind regionale Klimaszenarien, die von einzelnen Bundesländern in den zurückliegenden Jahren bereits entwickelt wurden, die aber einer ständigen Anpassung an die Fortschritte der Klimaforschung unterliegen werden. Erwähnt seien hier die diesbezüglichen Arbeiten von BW und BY sowie in SN und HE.

1.2 Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft

Nach den derzeitigen Prognosen der Klimaforscher wird sich das großräumige Klima über dem europäischen Raum zusätzlich zu den ohnehin vorhandenen natürlichen Schwankungen aufgrund anthropogener Einflüsse verändern, insbesondere wegen des steigenden CO₂-Gehaltes der Luft, aber auch wegen der sich erhöhenden Konzentration anderer Treibhausgase.

Änderungen von Klimagrößen haben Einfluss auf die hydrologischen Prozesse und den Wasserhaushalt. Die Auswirkungen sind regional unterschiedlich; allgemeingültige Aussagen lassen sich nur schwer treffen. Die regionale Betrachtung der Klimaveränderung und die Bewertung ihrer Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sind fortzuführen bzw. zu intensivieren. Dies betrifft sowohl die Veränderung von mittleren als auch von extremen Werten.

1.3 Betroffene Bereiche der Wasserwirtschaft

Insbesondere auf Grund der Veränderung im Niederschlags- und Verdunstungsregime (langfristige Veränderungen des mittleren Zustandes, der saisonalen Verteilung, des Schwankungs- und Extremverhaltens), muss man künftig mit Auswirkungen auf den Grund- und Bodenwasserhaushalt sowie den oberirdischen Abfluss rechnen. Die Veränderung dieser Faktoren hat eine unmittelbare Auswirkung auf wesentliche Teilbereiche der Wasserwirtschaft, z.B. auf

- den Hochwasserschutz - durch die Veränderung der Höhe, Dauer und Häufigkeit extremer Hochwasser und durch die Erhöhung des Schadensrisikos
- die Wasserversorgung - durch die Änderung der Grundwasser-Neubildung, der Grundwasser-Beschaffenheit und der Grundwasser-Bewirtschaftung sowie ggf. der Bewirtschaftung von Talsperren
- den Gewässerschutz - durch die Änderung der jahreszeitlichen Abfluss- und Temperaturverhältnisse mit Auswirkung auf den Stoffhaushalt der Flüsse und Seen und die Biozönose
- die Gewässerentwicklung - durch die Änderung der Dynamik der Fließgewässer und Seen, ihrer morphologischen Verhältnisse, ihres Wärmehaushaltes und ihrer Ökosysteme
- die Nutzung der Gewässer - durch die Änderung insbesondere der Betriebsweise der Hochwasser- und Trinkwasserspeicher, der Wasserkraftnutzung, der Schiffbarkeit der Gewässer, der Kühlwassernutzung und auch der landwirtschaftlichen Bewässerung.

Die bisherigen Untersuchungen des Langzeitverhaltens in einzelnen Vorhaben wie KLIWA oder INKLIM belegen, dass die Niederschläge und Abflüsse der Wintermonate in den letzten Jahrzehnten in einzelnen Einzugsgebieten einen steigenden Trend aufweisen. Die Ausprägung des Trends ist in den einzelnen Flussgebieten unterschiedlich.

Die Wasserwirtschaftsverwaltungen müssen entsprechend dem Vorsorgeprinzip dem Problem "Klimaveränderung und Auswirkungen auf den Wasserhaushalt" auf regionaler Ebene erhöhte Aufmerksamkeit widmen. Es ist deshalb erforderlich, die Grundlagen über die Auswirkungen einer Klimaveränderung auf den gesamten Wasserhaushalt weiterzuentwickeln, damit auf dieser Basis der Umfang dieser Auswirkungen noch besser quantifiziert und die notwendigen Vorkehrungen und wasserwirtschaftlichen Maßnahmen rechtzeitig in die Wege geleitet werden können.

1.4 Vorgehensweise zur Quantifizierung der Auswirkungen

Ein zentrales Problem aller bisherigen globalen bzw. großräumigen Klimasimulationen ist, dass die regionalen bzw. lokalen Klimakenngrößen und ihre künftige Veränderung von den globalen Modellen unzureichend wiedergegeben werden. Um zu regionalen Aussagen auf der Ebene von Flussgebieten zu kommen, müssen deshalb die Modellierungsergebnisse der globalen Modelle regionalisiert, d.h. herunterskaliert werden. Die Ergebnisse dieser regionalen Klimamodellen, die regionalen Klimaszenarien, dienen dann als Eingangsgrößen für die so genannten Wasserhaushaltsmodelle (WHM).

WHM ermöglichen quantitative Aussagen zu den Abflüssen (Niedrig-, Mittel- und Hochwasser), zur Grundwasserneubildung und zur Verdunstung. Diesen Modellen wird aus mehrfacher Hinsicht große Bedeutung beigemessen. Neben

Simulationsrechnungen zum Wasserhaushalt und zum Wasserdargebot auf der Basis regionaler Klimaszenarien können die Modelle auch als Analyse- und Prognosewerkzeuge eingesetzt werden; sie dienen darüber hinaus auch der operationellen Vorhersage des Abflusskontinuums.

Zur Abschätzung künftiger Veränderungen der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse auf regionaler Ebene werden auf Basis der regionalen Klimaszenarien Simulationsrechnungen mit möglichst hoch aufgelösten WHM durchgeführt.

2 Klimawandel in Deutschland

Auf der Grundlage des 2. Berichts des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) vom Dezember 1995, wonach die globale mittlere Temperatur bis zum Jahre 2100 um 2 K (bei einem Schwankungsbereich zwischen 1,5 und 3,5 K) zunehmen wird, kommt der „2. Bericht der Bundesregierung nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen“ vom April 1997 zu folgendem Schluss:

„Allgemein führt ein Temperaturanstieg zu einer Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs, was sich in erhöhten Verdunstungs- und Niederschlagsraten äußern kann“.

Diese Folgerung gilt nach den Feststellungen des 4. Berichtes des IPCC aus dem Jahr 2007, der für den globalen mittleren Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 jetzt eine Bandbreite von 1,1 bis 6,4 K angibt, unverändert.

Die aus globalen Klimamodellen abgeleiteten Aussagen zur künftigen Klimaänderung beziehen sich im Wesentlichen auf großräumige Gebiete wie z.B. Nordeuropa. Regionale Klimaänderungen können eine höhere Variabilität als globale Mittelwerte aufweisen. Eine Betrachtung der Auswirkungen auf das Klima und den Wasserhaushalt im regionalen Maßstab ist daher dringend erforderlich, um die Folgen für den Wasserhaushalt und die Gewässer besser abschätzen zu können. Dabei sind insbesondere die einzelnen Bundesländer gefordert.

Um eine Abschätzung der regionalen Klimaentwicklung vorzunehmen, hat das Umweltbundesamt eine Studie erarbeiten lassen, in der Szenarien für die Klimaentwicklung Deutschlands skizziert werden (SPEKAT et al. 2007). Demnach kann angenommen werden, dass sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts folgende Änderungen im Vergleich zur Periode 1971 – 2000 ergeben könnten:

- Die Temperaturen können zwischen 1,8 K und 2,4 K zunehmen.
- Die Sommerniederschläge können um bis zu 22 % zurückgehen, während im Winter eine Zunahme von bis zu 30 % auftreten kann.

Die Ausprägung der skizzierten Klimaänderungen ist regional unterschiedlich. Damit ergeben sich auch Unterschiede in den hydrologischen Auswirkungen und den darauf reagierenden Anpassungsstrategien der Wasserwirtschaft.

Hinsichtlich der Extremereignisse beim Niederschlag ergaben die für die Klimasimulation eingesetzten Modelle kein klar nachweisbares Änderungsverhalten. Da andere Szenarien aber eine Zunahme von Starkniederschlagsereignissen

postulieren, soll diese Annahme auch in den folgenden Ausführungen berücksichtigt werden.

3 Wasserwirtschaftliche Auswirkungen

3.1 Oberflächengewässer

Die allgemeinen Trends wie wärmere und trockenere Sommer, feuchtere und weniger kalte Winter haben regional unterschiedliche Auswirkungen, die nur allgemein beschrieben werden können.

Es ist aber absehbar, dass Fließgewässer mit kleinem Einzugsgebiet bei wärmeren und trockeneren Sommern – je nach geologischen Verhältnissen - häufiger trocken fallen können. Ob mittelfristig auch die Bewirtschaftungsbedingungen für Einleitungen oder auch Entnahmen betroffen sein können, ist zu überprüfen. Ebenso ist gründlich abzuwägen, ob Maßnahmen zur Erhöhung der Wasserführung (z.B. Speicherbewirtschaftung) gerechtfertigt sind, da dadurch auch Nachteile für die Umwelt eintreten können (z.B. höhere Verdunstung, Änderung Temperaturregime des Gewässers, Einschränkung oder Unterbrechung der Durchgängigkeit).

Die Biozönose kann sich ggf. umstellen (Stichwort: Biozönose trockenfallender Gewässer) oder Teile der Fauna werden bachabwärts abwandern (siehe 3.1.3 Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere der Gewässer). Umgekehrt besteht die Tendenz, dass temperatursensible Organismen aufwärts wandern, um kühlere Bereiche aufzusuchen (s. u.).

Für Details siehe auch „LAWA-Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement“.

Bei stehenden Gewässern besteht durch höhere Verdunstung bei höheren Temperaturen eine generell steigende Tendenz zur Verlandung oder Verminderung der Wasserflächen bzw. Austrocknung von kleinen Gewässern. Die Bewirtschaftungsbedingungen für Entnahmen sind ggf. zu überprüfen. Wie Untersuchungen am Bodensee gezeigt haben, werden die thermischen Verhältnisse von Seen durch die Temperaturerhöhung beeinflusst. Die Analyseergebnisse weisen auf Veränderungen bei der Ausbildung der thermischen Schichtung im Frühjahr hin, wie auch auf eine geänderte Dynamik bei der winterlichen vertikalen Durchmischung des Wasserkörpers. Daran direkt gekoppelt sind die Sauerstofferneuerung im See sowie die vertikalen Stofftransporte, welche von wesentlicher Bedeutung für das limnische Ökosystem sind.

3.1.1 Oberflächenwasserqualität

Häufigere hydraulische Spitzenbelastungen und höhere Nährstoffeinträge bei Starkregenereignissen sowie höhere Temperaturen können zu einer Modifizierung der Binnengewässer als Lebensraum führen. Bei gleicher Abwasserbelastung sind aufgrund schlechterer Verdünnungsverhältnisse in Gebieten oder Zeiten mit weniger Niederschlag tendenziell schlechtere Gewässergüteverhältnisse zu erwarten. Wie stark die jeweiligen Auswirkungen sind, ist auch durch das wasserwirtschaftliche Monitoring zu belegen.

Zeiten mit kritischen Sauerstoffverhältnissen vor allem in gestauten Gewässern, aber auch in den Unterläufen der Tidenströme, könnten bei weniger Niederschlägen und geringerem Abfluss im Sommer zunehmen.

Ob es zu erhöhten Frachteinträgen und Erosion bei vermehrtem und zeitweise stärkerem Niederschlag kommt, ist noch zu untersuchen und zu beobachten.

3.1.2 Abwasserqualität/Frachten

Ob Kläranlagen eine höhere Schadstofffracht (durch häufigere Verdünnung und schlechtere Reinigungsleistung) emittieren, ist noch nicht abschließend geklärt (dabei sind zusätzlich auch demografische Entwicklungen zu berücksichtigen). Ebenso, ob durch in bestimmten Zeiten erhöhte Niederschläge verstärkte Mischwassereinleitungen mit evtl. Zunahme der Mischwasserfrachten zu erwarten sind.

3.1.3 Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere der Gewässer

Der Schutz und die Wiederherstellung naturnaher Gewässer (Umsetzung des guten ökologischen Zustands nach WRRL) ist die beste vorbeugende Maßnahme gegen die Folgen des Klimawandels im Hinblick auf die Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere in den Gewässern, da aus dem Potenzial der natürlichen bzw. renaturierten Bereiche sich die Arten und genetischen Informationen in den Arten bei Ausfällen durch Extremereignisse immer wieder selbst regenerieren könnten.

Es sind folgende Wirkungskomplexe zu erwarten:

3.1.3.1 Temperaturerhöhung im Sommer

Viele heimische Gewässerorganismen sind besser an Kälte angepasst als an hohe Temperaturen. Bei zukünftig länger andauernden Hitzeperioden mit evtl. höheren Maximaltemperaturen könnte es auch zu einzelnen Fischsterben von Arten mit geringer Wärmetoleranz bzw. hohen Sauerstoffansprüchen kommen. Außerdem könnte das Auftreten von Fischkrankheiten bei höheren Temperaturen und dem damit verbundenen zusätzlichen Stress zunehmen. Zudem nimmt mit zunehmenden Wassertemperaturen auch das Sauerstofflösevermögen ab.

Grundsätzlich ist eine Einwanderung von Neozoen, bspw. von wärmeliebenden Arten aus dem Mittelmeerraum oder aus Südosteuropa zu erwarten. Dies dürfte z. B. bei den Insektenarten, die gut fliegen können (z.B. Libellen) oder auch robuste Arten, die über Schiffe oder andere menschliche Aktivitäten eingeschleppt werden, gelten. Folglich sind Änderungen in den Abundanzen der einzelnen Arten bis hin zur Änderung der Artenspektren als Folge eines Klimawandels denkbar.

Ob Neozoen sich etablieren können, hängt dann evtl. auch vom periodischen Auftreten von strengen Wintern ab.

3.1.3.2 Temperaturerhöhung im Winter

Viele Gewässerorganismen sind an kalte Winter angepasst. Die energetische Anpassung an die Winterphase mit weniger Nahrungsangebot erfolgt oft durch Ruhephasen (z.B. Winterruhephase bei Fischen; Überwinterung von Insekten in der Eiphasen). Bei wärmeren Wintern werden diese Phasen gestört (Fehlentwicklung oder unvollständige Entwicklung von Gonaden, Verschiebung von Laichzeiten und Schlupfterminen, Schäden an Eiern, frühzeitige Larvenentwicklung, gesteigerte Aktivität bei Fischen) ohne das ein entsprechendes Nahrungsangebot vorhanden wäre. Dies kann zu Beeinträchtigungen betroffener Populationen führen.

3.1.3.3 Qualität/Sauerstoff

Durch eine Erhöhung der Temperatur und damit verbundene niedrigere Sauerstoffverhältnisse (siehe Oberflächenwasserqualität) könnten empfindliche Arten zurückgedrängt werden.

3.1.3.4 Einengung des Lebensraums der Salmonidengewässer

Eine fischereiliche Studie aus Österreich (SCHMUTZ et al. 2004) kommt zu dem Schluss, dass der Lebensraum der Salmonidenregion (Salmonidae = Familie der forellen- bzw. lachsartigen Fische) besonders betroffen von Temperaturerhöhungen sein könnte. Der Lebensraum ist geprägt von kälteliebenden Fischarten wie z. B. die Bachforelle. Diese müssten sich bei einer Erwärmung der Gewässer in Richtung der kälteren Oberläufe der Gewässer zurückziehen. Allerdings ist dies nicht allen Arten möglich, da einige Arten (Beispiel Äsche) eine Mindestgewässergröße (Raumangebot) benötigen und nicht zu kleine Gewässer besiedeln können. Es kommt hinzu, dass die Oberläufe mit kleinen Einzugsgebieten bei tendenziell geringeren Sommerniederschlägen vermehrt austrocknen, sodass der Lebensraum Salmonidengewässer sowohl von oben (Austrocknung) als auch von unten (Erwärmung) eingeengt würde. Davon könnten dann neben den Fischen auch die kälteliebenden Kleintiere der Gewässer betroffen sein.

Strategien, die diese Trends abmildern könnten, sollten Maßnahmen zur Vermeidung einer vermehrten Erwärmung (z. B. verringerte Stauhaltungen, Verringerung von Wärmeeinleitungen, Beschattung) sowie zur Verbesserung der Fisch-Durchgängigkeit beinhalten.

3.1.3.5 Schnellere Vermehrungsrate von Erregern

Durch höhere Wassertemperaturen könnte es auch zu schnelleren Vermehrungsraten von Krankheitserregern (z.B. Bakterien) kommen oder auch durch vermehrten Stress der Fische bei höheren Wassertemperaturen zu einer größeren Anfälligkeit für Krankheiten.

Außerdem wird in diesem Zusammenhang auch die Frage aufgeworfen, ob durch die zunehmende Erwärmung Malaria wieder in Deutschland auftreten kann. Hierzu ist anzumerken, dass der Malaria-Erreger (Plasmodium) zwar ein gewisses Stadium hat, das von zunehmender Wärme profitiert, aber dass weitere Faktoren für die Etablierung von Malaria in Mitteleuropa notwendig wären, die aber nicht alle erfüllt werden, so dass eine Etablierung von Malaria infolge des Klimawandels eher unwahrscheinlich ist.

3.1.4 Verminderte Wärmeeinleitung durch vermehrte Abwärmenutzung

Aufgrund der beschriebenen prognostizierten gewässerbezogenen Auswirkungen des Klimawandels wird es möglicherweise zu einer Einschränkung in der Ausübung von bestehenden wasserrechtlichen Erlaubnissen dahingehend kommen, dass z. B. Kraftwerke aufgrund ihrer Durchflussskühlung in den Sommermonaten vermehrt ihre Leistung drosseln müssen. Unter Umständen wird es nötig sein, zusätzliche Auflagen zur maximalen Einleittemperatur bzw. der maximalen Aufwärmspanne (Sommer/Winter) und der maximalen Entnahmemenge (Sommer/Winter) zu erteilen. Bestehende Auflagen sind ggf. den geänderten klimatischen Verhältnissen anzupassen.

Es besteht noch ein hohes Energiepotenzial durch ungenutzte Abwärme wie z. B. am Rhein (siehe Abbildung 1), das vermehrt genutzt werden kann, ohne dass schädliche ökologische Nebenwirkungen zu erwarten sind. Insbesondere bei der Zulassung von Neuanlagen von Kraftwerken, aber auch bei geothermischen Nutzungen, müssen die Möglichkeiten der Abwärmenutzung (Ausbau der Nah- und Fernwärmenetze, Anteil Kraft-Wärme-Kopplung erhöhen etc.) besser ausgeschöpft werden, um den Leistungsgrad dieser Anlagen zu erhöhen und eine zeitgemäße Energiebereitstellung zu ermöglichen. Die Verknüpfung zur Wissenschaftspolitik bietet sich hier ebenfalls an, um ggf. weitere Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme (auch ggf. von Kläranlagenabläufen) aufzuzeigen.

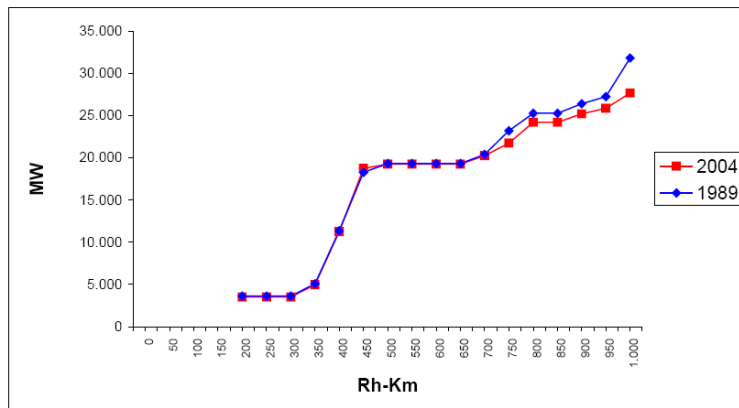


Abbildung 1: Im Rheinlängsprofil von Konstanz bis Rotterdam theoretisch akkumulierte Wärmebelastung durch Einzeleinleitungen größer als 200 MW für die Rheinabschnitte 1 bis 29 (Quelle: IKSR-Bericht 151d)

3.1.5 Wasserrückhaltung in der Fläche

Maßnahmen der Wasserrückhaltung in der Fläche sowie der Grundwasserneubildung sind zu fördern. So liefert die naturnahe Entwicklung der Gewässer und Auen einen wichtigen Beitrag hierzu, ebenso die dezentrale Versickerung der Niederschlagsabflüsse von befestigten Flächen sowie die Förderung der Entsiegelung und Minimierung von Neuversiegelungen. Eine umweltschonende Landwirtschaft kann ebenso ihren Beitrag zum natürlichen Wasserrückhalt liefern.

3.2 Hochwasser

Nicht nur kleinere und mittlere, sondern auch extreme Hochwasserereignisse werden voraussichtlich infolge des Klimawandels zunehmen. Vor diesem Hintergrund gilt es aus Vorsorgegründen, für den Bereich des Hochwasserschutzes Anpassungsstrategien zu entwickeln, die zwar die mögliche Entwicklung der nächsten Jahrzehnte berücksichtigen, aber auch den bestehenden Unsicherheiten Rechnung tragen. Festlegungen sollten daher als Kernpunkt enthalten, dass sie

einerseits langfristig in richtiger Größenordnung und gleichzeitig bei Bedarf (z.B. bei neuen Erkenntnissen der Klimaforschung) anpassbar sind („flexible and no regret“-Strategie).

Bei der Planung und Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen sind die Fragen des Klimawandels zu berücksichtigen. So sind auf der Grundlage gesicherter Aussagen über die klimatische Entwicklung und des damit verbundenen Abflussgeschehens Anpassungsstrategien zu erarbeiten.

Aufgrund der voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwasserabflüsse sollte überlegt werden, den bisherigen Weg bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu modifizieren und bei Anlagen mit langer Lebensdauer auf Grund des Klimawandels z. B. einen „Lastfall Klimaänderung“ zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung der Klimaänderung bei der Bemessung von neuen Anlagen des technischen Hochwasserschutzes z. B. durch einen Klimaänderungsfaktor wird in den meisten Fällen zu einer gut abschätzbaren und relativ moderaten Kostensteigerungen führen, wenn dieser Lastfall bereits bei der Planung berücksichtigt und beim Bau zumindest entsprechende Vorkehrungen für eine spätere Anpassung getroffen werden. Nachträgliche Anpassungen sind hingegen meist mit sehr hohen Kosten verbunden.

Neben der Berücksichtigung des Lastfalls Klimaänderung im Technischen Hochwasserschutz sind das Hochwasser-Flächenmanagement und die Hochwasser-Vorsorge als weitere Bausteine der Hochwasserschutz-Strategie sowie die Erhöhung des Wasserrückhaltes in der Fläche zu intensivieren.

Untersuchungen künftiger Abflussverhältnisse zeigen, dass die Ergebnisse oft nur in regionalen Grenzen belastbar sind und für die Hochwasserauswirkungen sich lediglich Zunahmen der mittleren Hochwasserabflüsse im Winter absichern lassen. Die Beurteilung von seltener auftretenden großen Hochwasserscheitelabflüssen, die die Vulnerabilität gegenüber Hochwasser aber sehr viel stärker bestimmt, ist mit gering-auflösenden Methoden meist nicht möglich, da hierfür Modellierungen mit höherer zeitlicher und räumlicher Auflösung erforderlich sind.

Bisher vorliegende Erkenntnisse lassen eine Veränderung im Abflussverhalten der Gewässer erwarten: Insbesondere eine Umverteilung hin zu Mehrabflüssen im Winterhalbjahr und verminderten Abflüssen im Sommerhalbjahr mit korrespondierender Abnahme der Niedrigwasserabflüsse ist anzunehmen.

3.3 Niedrigwasser

Nach den Ergebnissen der Klimaszenarien werden die Niederschläge im hydrologischen Sommerhalbjahr zukünftig abnehmen. Die Auswertungen von Modellrechnungen mit Hilfe vorliegender Wasserhaushaltsmodelle bilden die Grundlage zur Bewertung möglicher Veränderungen der Niedrigwasserabflüsse. Neben dem Niedrigwasserabfluss ist zur Beurteilung von Niedrigwasserphasen auch die Dauer von Niedrigwasserperioden von wesentlicher Bedeutung. Zur Untersuchung und zur Beurteilung der Auswirkung einer Klimaänderung auf die Dauer von Niedrigwasserphasen können als maßgebliche Kennwerte die jährlich längste Niedrigwasserdauer $ND(J)$, die jährlichen Unterschreitungen $UZ(J)$ und die jährlich längste Dauer des Abflussdefizits $QD(J)$ herangezogen werden. Ziel der Untersuchungen ist die Erarbeitung von hydrologischen Grundlagen zur Beurteilung möglicher Auswirkungen einer Veränderung von Niedrigwasserabflüssen infolge einer Klimaveränderung auf die Gewässerökologie, die Gewässergüte und den Wärmehaushalt, auf die Nutzung von Gewässern hinsichtlich der Belange der

Siedlungswasserwirtschaft, Binnenschifffahrt, Fischerei, Energieerzeugung und Energiewirtschaft.

3.4 Grundwasser und Wasserversorgung

Als wichtige Wasserbilanzgröße und Maß für die Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressourcen ist die Grundwasserneubildung bzw. die Sickerwasserrate aus dem Boden unmittelbar von Änderungen des Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflussgeschehens betroffen. Auch wenn die Szenarien über Auswirkungen des Klimawandels auf den Grundwasserbereich im Detail noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, ist in jedem Fall mit spürbaren Konsequenzen sowohl für die Quantität, als auch für qualitative Aspekte zu rechnen. Im Einzelnen können Entwicklungstendenzen für die folgenden, wasserwirtschaftlich relevanten Teilbereiche aufgezeigt werden:

- Grundwasserstände und Quellschüttungen
- Grundwasserqualität
- Wasserversorgung
- Grundwasserabhängige Landökosysteme
- Niedrigwasserabfluss bzw. Wasserführung in Fließgewässern

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die oben genannten Bereiche werden regional sehr verschieden sein. Dabei kommen Veränderungen meteorologischer Größen (z. B. Niederschlagsverteilung, -regime, -intensitäten) in Kombination mit standort- (Boden, Geologie) und nutzungsbezogenen Faktoren (Wasserbedarf unterschiedlicher Nutzungen) zum Tragen. Aktuelle Untersuchungen befassen sich vorwiegend noch mit den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt auf der Grundlage von Szenariosimulationen. Die daraus resultierenden Konsequenzen für die Wasserwirtschaft bedürfen in den meisten Fällen noch weitergehender Untersuchungen, z. B. im Rahmen ausgewählter Fallstudien.

Die im Folgenden gemachten Aussagen zu möglichen Einflüssen auf das Grundwasser und die Trinkwasserversorgung sind keine abschließende Auflistung, sondern könnten mit zunehmendem Kenntnisstand noch um weitere Aspekte erweitert werden. Im Wesentlichen besteht derzeit noch ein erhebliches Wissensdefizit. Durch natürlich ablaufende Rückkoppelungseffekte lassen sich die Auswirkungen, insbesondere auf die Grundwasserbeschaffenheit, heute nur sehr unsicher abschätzen. Dies betrifft gerade die komplexen Mechanismen der physikochemischen Prozesse im Untergrund und im Grundwasser. Darüber hinaus muss beachtet werden, dass die skizzierten Auswirkungen auf das Grundwasser und die Wasserversorgung sich regional in unterschiedlichem Maße auswirken können.

Die folgende Auflistung bezieht sich nur auf die Folgeabschätzungen bei den prognostizierten Klimaentwicklungen. Politisch induzierte Entwicklungen, wie z. B. Förderung der Intensität der Landwirtschaft oder der Bioenergie, können in Teilbereichen größere Auswirkungen auf die Grundwasserqualität als Veränderungen durch den Klimawandel haben.

3.4.1 Änderungen des Niederschlagsverhaltens

Sofern es zu einer dauerhaften Erhöhung der Winterniederschläge kommen sollte, ist mit höheren Sickerwasserraten zu rechnen. Damit kann es zu einer erhöhten Stoffverlagerung aus der Bodenzone kommen (z. B. Nitrat). Falls keine zusätzliche Mobilisierung von Stoffen stattfindet, wird durch erhöhte Sickerwasserbildung und einer daraus resultierenden höheren Grundwasserneubildung ein Verdünnungseffekt bei vorhandenen Stoffkonzentrationen stattfinden. Bei einer Erhöhung der Grundwasserneubildung kann es in manchen Gebieten zu Vernässungen kommen. Andererseits wird durch erhöhte Grundwasserstände eine höhere Wasserspeicherung erzielt, so dass in ergiebigen Grundwasserleitern höhere Defizite der Sommerhalbjahre unter Umständen kompensiert werden können.

Bei einer Intensivierung von Niederschlägen und möglicherweise häufiger auftretenden Extremereignissen wären die Betriebspläne von Trinkwassertalsperren zu ändern. Da dann der Hochwasserschutzraum vergrößert werden muss, könnte in Trinkwassertalsperren weniger Talsperrenvolumen für die Wasserversorgung zur Verfügung stehen. Bei trockeneren Sommern wäre mehr Stauraum für die Niedrigwasseraufhöhung vorzusehen, was auch das für die Trinkwasserversorgung vorgesehene Talsperrenvolumen verringern würde. Es müssten dann evtl. andere Wasservorkommen für die Wasserversorgung erschlossen werden.

Bei geringeren Sommerniederschlägen können insbesondere Quelfassungen im Festgestein mit kleinen Einzugsgebieten trockenfallen. Die angenommenen geringeren Niederschlagsmengen im Sommer führen auch zu geringeren Abflüssen in den Vorflutern. Bei gleich bleibenden Abwassereinleitungen führt dies zu einer Anreicherung von Belastungs- und Schadstoffen und damit zur Minderung der Qualität von Oberflächengewässern. Bei einer Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat können daraus höhere Stoffgehalte im Rohwasser resultieren. Da mit geringeren Abflüssen in der Regel auch niedrigere Wasserstände in den Vorflutern einhergehen, ändern sich auch die Einzugsgebiete von Uferfiltrat-Fassungsanlagen. Es wird dann bei gleich bleibenden Fördermengen zu einem erhöhten landseitigen Zufluss kommen, wodurch sich die Fläche des landseitigen Einzugsgebietes vergrößert. Bestehende Trinkwasserschutzgebiete wären diesen Veränderungen anzupassen.

3.4.2 Langjährige Änderungen des Grundwasserhaushalts

Bei den Jahreswerten des Niederschlages wird keine so stark ausgeprägte Änderung wie bei der Verteilung zwischen Sommer- und Winterniederschlägen prognostiziert. In Deutschland wird es möglicherweise Gebiete geben, in denen der Jahresniederschlag zunimmt, während in anderen Landesteilen eine Abnahme des Jahresniederschlages zu verzeichnen ist. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass zukünftig nicht nur mit veränderten Mittelwerten und einer innerjährlichen Verschiebung, sondern auch mit erhöhten Schwankungsbreiten zu rechnen ist. Das bedeutet, dass einzelne Extremjahre (nass-trocken) auch in mehrfacher Abfolge zukünftig häufiger auftreten könnten als bisher. Die daraus resultierenden Konsequenzen für die Wasserwirtschaft – Grundwassernutzung, grundwassergespeiste Systeme – sind im Rahmen von Szenariountersuchungen noch näher zu analysieren. Es kann auch vermehrter Bedarf an überjährlichem Speicherraum entstehen, sei es oberirdisch (Trinkwassertalsperre) oder auch unterirdisch (gezielt angestauter Grundwasserspeicher).

Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass eine Abnahme der Niederschläge zu einer Verringerung der Grundwasserneubildung führt, was evtl. ein Trockenfallen von Fassungsanlagen bewirkt, die im oberen Grundwasserstockwerk ausgebaut sind. In diesen Gebieten müsste dann auf tiefere Grundwasserstockwerke oder Verbundsysteme ausgewichen werden. Mit abnehmender Grundwasserneubildung ist in der Regel auch eine Zunahme der Stoffkonzentrationen verbunden (z. B. Nitrat). Insbesondere in Küstennähe kann es bei einem Rückgang der Grundwasserneubildung zu einem erhöhten Zutritt von Salzwasser kommen. Dieser Effekt wird auch bei einem Anstieg des Meeresspiegels auftreten.

3.4.3 Änderungen der Grundwassertemperatur

Änderungen der Lufttemperatur haben einen direkten Einfluss auf das Verdunstungsverhalten. In Abhängigkeit von der Entwicklung des Niederschlagsgeschehens beeinflusst die Verdunstung maßgeblich den Neubildungsrelevanten Restterm der Wasserbilanz und hat damit ebenfalls einen direkten Einfluss auf die beschriebenen mengenmäßigen und qualitativen Aspekte.

Darüber hinaus wird bei einer Zunahme der mittleren Temperatur auch im Sickerwasser und im oberflächennahen Grundwasser eine Temperaturzunahme stattfinden. Das wird auch Auswirkungen auf die physikochemischen und biologischen Prozessabläufe haben, die in engem Zusammenhang mit temperaturabhängigen Bodenveränderungen stehen (z. B. Humusabbau, CO₂-Produktion). Da derzeit noch ein geringer Kenntnisstand über die Grundwasserbiozöosen vorliegt, ist kaum abzuschätzen, welche Folgen daraus resultieren.

3.4.4 Extremwetterlagen

Sofern extreme Ereignisse wie Stürme, Dürren oder Hochwasser zunehmen sollten, könnte es häufiger zu einem Ausfall, zumindest von Teilen der Wasserversorgung kommen. So können bei Hochwassern Brunnen in Überschwemmungsgebieten ausfallen und bei lang anhaltenden Dürreperioden könnte es zu einem Trockenfallen von Fassungsanlagen kommen.

3.4.5 Beregnung

Insbesondere bei Bodenarten mit geringem Wasserspeichervermögen wird die Feldkapazität nicht für eine Wasserversorgung der Pflanzen ausreichen und damit bei weiteren Flächen eine landwirtschaftliche Nutzung nur mit Hilfe von Bewässerung wirtschaftlich sein. Wenn ein vermehrter Wasserbedarf von Nutzpflanzen bestehen sollte, ist zunächst – bevor weitere Wassermengen für die Beregnung gefordert werden - eine effiziente Wassernutzung (ggf. durch wirtschaftliche Anreize) sicher zu stellen. So ist zu überprüfen, ob durch Umstellung der Beregnung von Tages- auf Nachtbetrieb oder durch innovative Beregnungstechniken der Wasserverbrauch gesenkt werden kann. Mittel- bis langfristig muss ggf. auch in Betracht gezogen werden, auf Nutzpflanzen umzustellen, die an trockenere und wärmere Bedingungen angepasst sind, aber auch die periodisch auftretenden weiterhin extremen Wintertemperaturen in Deutschland überstehen können. Bei einem zusätzlichen Bedarf an Beregnungswasser könnten sich Konflikte mit anderen Nutzungen ergeben, z. B. der Trinkwasserversorgung.

3.5 Auswirkungen auf die Gewässer durch den Einsatz regenerativer Energieerzeugung

3.5.1 Regenerative Energien

Um den CO₂-Ausstoß zu senken, werden die regenerativen Energien gefördert. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit dürfen dadurch nicht andere Umweltbereiche negativ beeinflusst werden.

3.5.1.1 Nachwachsende Rohstoffe

Zum Schutz des Klimas hat sich Deutschland verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen zu senken und den Anteil erneuerbarer Energien deutlich zu erhöhen. Um diese Ziele zu erreichen, ist neben den wichtigsten Maßnahmen, der Energieeinsparung und der Steigerung der Energieeffizienz, die Verwendung von erneuerbaren Energien und darin die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Erzeugung von Bioenergie von Bedeutung. Dabei sind folgende Gefährdungen zu beachten:

Es kann zu einem zusätzlichen Einsatz von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln sowie vermehrten Umbruch von ackerfähigem Grünland mit den damit zusammenhängenden Gefährdungen von Boden, Wasser und Biotopen kommen.

Die Menge der Vergärungsrückstände und die damit aufgebrauchten Stoffmengen werden sich erhöhen. Damit sind erhöhte Nährstoffüberschüsse, die in das Grundwasser versickern können, verbunden.

Die Aufbringung von Gärrückständen, die von schadstoff-, insbesondere schwermetallbelasteten Flächen stammen, kann zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Boden führen.

Der Anbau der Bioenergiepflanzen führt zu einer Flächenkonkurrenz zwischen Standorten der Energieerzeugung mit der Futter- und Nahrungsmittelproduktion auf der einen Seite und mit für den Natur-, Gewässer- und Bodenschutzes wichtigen Extensivstandorten auf der anderen Seite.

3.5.1.2 Wasserkraft

Um den CO₂-Ausstoß zu senken, wird der Anteil an regenerativen Energien sicherlich zunehmen müssen. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit müssen Kompromisslösungen gefunden werden, wenn durch die Nutzung regenerativer Energien andere Umweltbereiche negativ beeinträchtigt werden. Dies betrifft insbesondere die Wasserkraftnutzung. Um eine nachhaltige Wasserkraftnutzung zu ermöglichen, sind vorhandene Standorte unter Beachtung der Umwelt- und Gewässerverträglichkeit (Durchgängigkeit, Mindestwasserführung) energieeffizient zu nutzen.

4 Zukünftig notwendige Aktivitäten zur Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels

4.1 Notwendigkeit von weiteren Forschungen

Die Analyse des Klimawandels benötigt auch weiterhin umfangreiche Forschungsaktivitäten, um belastbare Prognosen, Gegensteuerungsmaßnahmen und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Verbesserung der Downscaling-Verfahren für die Ableitung verbesserter regionaler Szenarien. Zurzeit beschäftigen sich in Deutschland viele Projekte mit dem komplexen Thema,

wie z.B.

WETTREG – Regionalisierungsmodell von globalen Klimasimulationen

KLIWA - Kooperationsvorhaben "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst

KLIWAS - Klimawandel - Auswirkungen auf die Wasserstraßen und Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt

KlimaNet – Wassersensible Stadtentwicklung

INKLIM 2012 – Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen

GLOWA –

TIMIS – Berücksichtigung von Klimaprojektionen bei der Hochwasserfrühwarnung in Rheinland-Pfalz

www.klimafolgenmanagement.de

4.2 Notwendigkeit des wasserwirtschaftlichen Monitorings

Die Komplexität der Materie erfordert weiterhin längerfristige, sorgfältige Beobachtungen der Entwicklung des Wasserhaushalts. Von wesentlicher Bedeutung ist ein längerfristiges Monitoring von relevanten hydrometeorologischen und hydrologischen Kenngrößen, um künftige Veränderungen des regionalen Klimas und des Wasserhaushaltes erkennen zu können. Dabei ist ein integriertes Messnetz, das länderübergreifend angelegt ist, sicherlich hilfreich.

Auf der Grundlage ausgewählter, bereits bestehender Messstellen, die über möglichst lange Zeitreihen verfügen, sollen die künftigen, regional unterschiedlichen meteorologischen und gewässerkundlichen Verhältnisse langfristig erfasst werden.

Die neu gewonnenen Daten sollen u. a. der Verifizierung und Überprüfung der mit den Modellen erstellten Prognosen für unterschiedliche Klimaszenarien dienen.

Wegen der Komplexität der Materie ist spekulativer Aktionismus nicht angebracht, sondern es sind weiterhin längerfristige, sorgfältige Beobachtungen der Entwicklung notwendig. Dazu können die wasserwirtschaftlichen Monitoringsysteme (Wasserstände und -qualität von Grund- und Oberflächenwasser, biologische und chemisch-physikalische Gewässerüberwachung, Trendmonitoring) wertvolle Beiträge leisten und Trends, die durch Modellierungen berechnet worden sind, bestätigen oder auch widerlegen.

4.3 Strategien zur Anpassung an den Klimawandel

Maßnahmen der Wasserrückhaltung in der Fläche sowie der Grundwasserneubildung sind zu fördern. So liefert die naturnahe Entwicklung der Gewässer und Auen einen wichtigen Beitrag hierzu, ebenso die dezentrale

Versickerung der Niederschlagsabflüsse von befestigten Flächen sowie die Förderung der Entsiegelung und Minimierung von Neuversiegelungen. Eine umweltschonende Landwirtschaft kann ebenso ihren Beitrag zum natürlichen Wasserrückhalt liefern.

Im Hinblick auf den Hochwasserschutz sind Vorgaben für die Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen zu entwickeln unter Berücksichtigung der Ergebnisse der weiteren Forschungen und des wasserwirtschaftlichen Monitorings. Vorhandene Hochwasserschutzkonzepte und Hochwasseraktionspläne sind konsequent umzusetzen und die Maßnahmenprogramme den ermittelten Auswirkungen des Klimawandels anzupassen. Die Strategie der LAWA zum Hochwasserschutz und künftig zum Hochwasserrisikomanagement (Hochwasserflächenmanagement, natürlicher Wasserrückhalt, technischer Hochwasserschutz sowie weitergehende Hochwasservorsorge) ist der richtige Weg den Auswirkungen des Klimawandels angemessen zu begegnen.

Literaturverzeichnis

EU-KOMMISSION (2007): Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU, Brüssel

IKSR- Bericht Nr. 151d (2006): Vergleich der Wärmeeinleitungen 1989 und 2004 entlang des Rheins - Synthese

KLIWA (2001): Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft – Fachvorträge beim 1. KLIWA-Symposium am 29. und 30.11.2000 in Karlsruhe. KLIWA-Berichte, Heft 1, Karlsruhe

KLIWA (2002): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 2, Karlsruhe

KLIWA (2003): Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 3, Karlsruhe

KLIWA (2004): 2. KLIWA-Symposium am 03. und 04.05.2004 in Würzburg – Fachvorträge Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Berichte, Heft 4, München

KLIWA (2005a): Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 5, München

KLIWA (2005b): Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 6, München

KLIWA (2005c): Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 7, München

KLIWA (2006a): Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 8, Offenbach

KLIWA (2006b): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland. KLIWA-Berichte, Heft 9, Karlsruhe

KLIWA (2007): 3. KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart – Fachvorträge Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Berichte, Heft 10, Karlsruhe

SCHMUTZ et al. (2004): Beurteilung der Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf die Fischfauna anhand ausgewählter Fließgewässer. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

UBA (2006): Hintergrundpapier "Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland" – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben, Dessau

Spekat, A. et al. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRESSzenarios B1, A1B und A2. - Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138