1.1 Anpassung an den Klimawandel

Den Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt begegnen: Das deutsche Forschungsprogramm KLIWAS

Dr. Sebastian Kofalk
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dr.-Ing. Hans Moser
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dr. Bruno Rudolf
Deutscher Wetterdienst, Offenbach

Dr. Hartmut Heinrich
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg

Dr.-Ing. Harro Heyer
Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg

Zusammenfassung

Die gegenwärtig vorliegenden globalen Szenarien und Klimaprojektionen zeigen wesentliche Änderungen bei den extremen Witterungsbedingungen und den ozeanografischen und hydrologischen Verhältnissen der Gewässer an. Dies hätte auch Konsequenzen für die Schifffahrt, die Wasserstraßen und die auf diesen Verkehrsträger angewiesenen Wirtschaftszweige (PIANC ENVICOM TASK GROUP 3, 2008). Vor diesem Hintergrund erwarten die Nutzer der Wasserstraßen, die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung als Betreiber und die Politik belastbare Aussagen, ob und welche Anpassungsmaßnahmen ergreifen sind und darüber hinaus zu welchem Zeitpunkt.

Die Vielzahl der unterschiedlichen Aussagen zu den quantitativen Auswirkungen des Klimawandels kompliziert allerdings die Situation. BECKER et al. (2008) zeigen eine große Spannbreite in Projektionen für Klimaparameter. Angesichts der festgestellten Unsicherheiten in den regionalen Aussagen sind wissenschaftlich belastbare Grundlagen für nachhaltige politische Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen noch zu erarbeiten. Grundlegende Wissenslücken sind zu schließen bezüglich (1) der Ausprägung des Klimawandels, (2) seiner Konsequenzen für die hydrologischen Systeme und (3) der Sensitivität der Gewässerqualität und -ökologie. Dazu ist es erforderlich, Modelle unterschiedlichen Typs in Ensembles anzuwenden. Diese Erkenntnis war Anlass für das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) das Forschungsprogramm "KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt - Entwicklung von Anpassungsoptionen" zu initiieren. Es wird durchgeführt durch die vier Fachbehörden Deutscher Wetterdienst (DWD), Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).

Die Ergebnisse des Forschungsprogramms liefern einen Beitrag zu den nationalen und internationalen Anpassungsstrategien (EUROPEAN WHITE PAPER [COM (2009), GERMAN ADAPTATION STRATEGY TO CLIMATE CHANGE, 2008).

1. Herausforderungen und Eckpunkte des Forschungsprogramms KLIWAS

1.1 Ressortforschung und Politikberatung

Die moderne Klimaforschung hat es ermöglicht, den vom Menschen verursachten Anteil der Klimaänderungen auszumachen und Zukunftsprojektionen wichtiger Klimakenngrößen zu entwerfen. Nachdem der Klimaschutz lange im Vordergrund stand, wird vermehrt über die Anpassung diskutiert, d. h. Schutz des Menschen vor den Auswirkungen eines möglichen Klimawandels. Dabei gilt es, sowohl die Risiken der Klimawirkungen als auch die Verhältnismäßigkeit vorgeschlagener Maßnahmen zu untersuchen.

Diese mit dem Klimawandel und der Anpassung verbundenen wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen sind Beispiele für Aufgaben der Ressortforschung. Sie arbeitet an der Schnittstelle von Wissenschaft und Politik und hat die Aufgabe, Handlungsoptionen für staatliche Maßnahmen vorzuschlagen. Folgende aufeinander folgende Schritte wurden daher im Sinne der Politikberatung des Forschungsprogramms KLIWAS bearbeitet:

- Erfassung und Analyse einer Spanne von Klima- und Abflussprojektionen durch den Einsatz unterschiedlicher globaler und regionaler Klimamodelle (Ensembles);
- Analyse und Bewertung der Sensitivität des Verkehrsträgers „Wasserstraße", der Schifffahrt und weiterer Funktionen der Gewässer („ecosystem services");
- Analyse und Bewertung von Anpassungskapazität und -optionen: Darstellung möglicher Handlungsoptionen, der Betroffenheit („vulnerability") und Entwicklung von Anpassungsstrategien.

Auf Basis dieser Schritte wird die Politik in die Lage versetzt, Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen im Rahmen des gesellschaftlichen Diskurses zu fällen.

1.2 Multi-Modell-Ansatz und Modellkette

Die Projektionen für das künftige Klima, d.h. die simulierten möglichen zukünftigen Bedingungen, beinhalten Unsicherheiten. Erstens können die mathematisch-physikalischen Klimamodelle keine exakte Beschreibung des klimatischen Systems der Erde liefern. Zweitens sind die Randbedingungen des künftigen Klimas unbekannt, weshalb man Szenarien definiert, die verschiedene Annahmen zu den anthropogen verursachten Treibhausgas-Emissionen treffen (SRES-REPORT, 2000).

Die Aussageunsicherheit der gegenwärtig verfügbaren Klimaprojektionen wird im 4. Sachstandsbericht des IPCC zum Ausdruck gebracht (IPCC, 2007). Die Abbildung 1 von CHRISTENSEN et al. (2007) zeigt, wie viele von 21 globalen Klimamodellen in Mittel- und Nordeuropa eine Zunahme des mittleren Niederschlags für den Zeitraum 2080-2090 projizieren. Die weißen Zonen (~ Mitteleuropa) markieren die Bereiche, in denen etwa

die Hälfte der verwendeten globalen Modelle eine Zunahme des mittleren Niederschlags für das A1B-Szenario (SRES-REPORT, 2000) anzeigen. Die anderen Modelle ermitteln eine Abnahme oder unveränderte Verhältnisse.

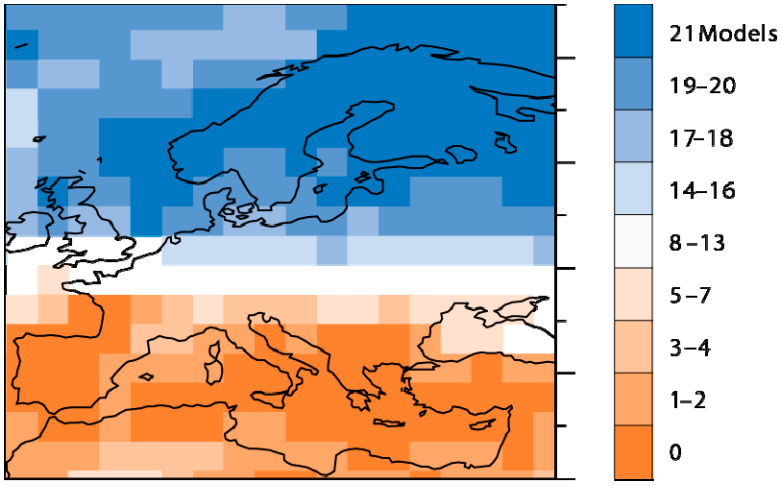

Abb. 1: Anzahl der Modelle, die eine mittlere jährliche Niederschlagszunahme projizieren (Vergleich der Jahre 1980-1999 und 2080-2099, Multi-Model Data (MMD), A1B Szenario) (CHRISTENSEN et al. 2007)

Bedingt durch die räumliche Auflösung der globalen Klimamodelle von 200 x 200 km², sind kaum regionale Aussagen zu treffen. Dazu setzt man Regionalisierungsverfahren ein. Welche Spannbreite von Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels jedoch auftritt, wenn verschiedene Verfahren angewendet werden, demonstriert das DWD-Projekt „Zusammenstellung von Wirkmodell-Eingangsdatensätzen für die Klimafolgenabschätzung“ (ZWEK, BECKER et al. 2008, Abbildung 2). In diesem Fall wurden die vier in Deutschland bis dato überwiegend angewendeten Modelle untersucht (REMO, CLM, WETTREG und STAR).

Die regionalen Niederschläge und Lufttemperaturen variieren in Abhängigkeit vom verwendeten Modell in wesentlichem Maß. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist auch zu berücksichtigen, dass Unsicherheiten aus dem übergeordneten globalen Modell an das Regionalmodell weitergegeben werden. Die Abbildungen illustrieren das Risiko, das Entscheidungsträger eingehen, wenn sie sich auf die Aussagen nur eines Klimamodells beziehen. Für eine fundierte Ableitung von Anpassungsmaßnahmen ist es erforderlich, Modelle unterschiedlichen Typs in ein Ensemble einzubeziehen, d.h. mehrere globale oder regionale Klimamodelle zu kombinieren. Dies ist eine wesentliche Aufgabe und Anspruch des Forschungsprogramms KLIWAS. Eine wichtige Datenbasis sind dabei die Ergebnisse des europäischen Forschungsprogramms ENSEMBLES (ENSEMBLES PARTNERS, 2009).

Verbunden mit Angaben zu den Modellunsicherheiten ist die begleitende Entwicklung von Bewertungsmethoden, die es dem Anwender erlauben, die Aussagequalität der jeweiligen Daten für unterschiedliche Einsatzzwecke einzuschätzen. Als Beispiel für solche Daten-„Beipackzettel“ und im Sinne einer Qualitätssicherung seien Bewertungsmethoden genannt, wie sie BRONSTERT et al. (2007) erarbeitet haben.

1.3 Modellkette und systemare Betrachtung

Eine Bestandsaufnahme zum Wissensstand über Klimaprojektionen und mögliche Auswirkungen für Schifffahrt und Wasserstraßen in Deutschland (BMVBS 2008) verdeutlicht, dass grundlegende Wissenslücken geschlossen werden müssen, um das System „Wasserstraße“ in all seinen Kompartimenten hinsichtlich seiner Betroffenheit gegenüber dem Klimawandel zu betrachten.

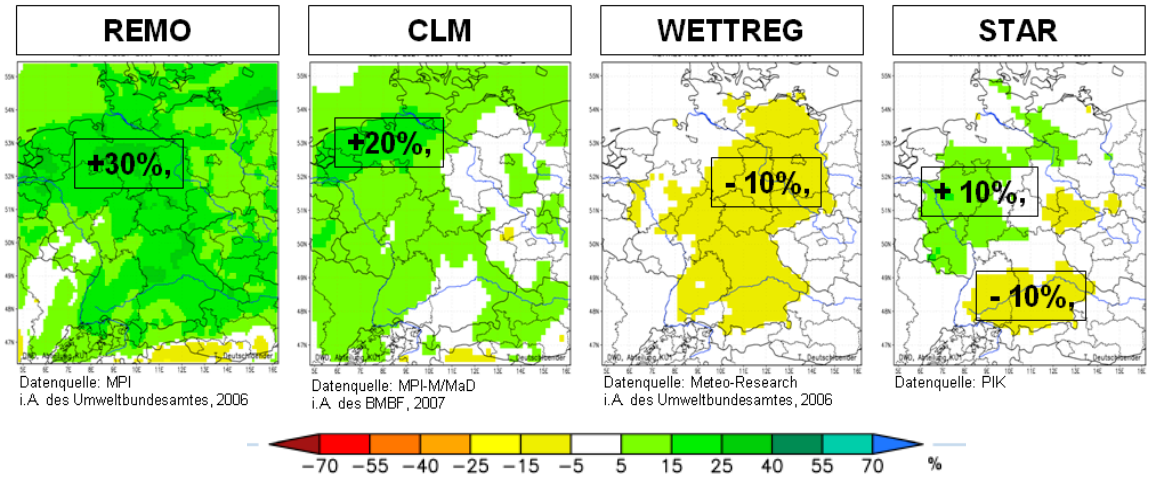

Abb. 2: Relative Veränderung der mittleren Niederschlagsmenge im Herbst (SON), 2021-2050 im Vergleich zu 1971-2000. Globales Modell: ECHAM5-T63L31/MPI-OM (A1B Lauf Nr. 1) (BECKER et al. 2008)

Es sind daher komplexe Modellketten für Flusseinzugsgebiete, die Küsten und die See aufzustellen. Die mit dem Ensemble-Ansatz erzielten Ergebnisse zu Klima- und Abflussprojektionen sind der „Antrieb" für die Ermittlung und Modellierung der regionalen Klimafolgen für unterschiedliche Zustandsvariablen der Gewässer bzw. für die einzelnen Wasserstraßen. Diese systematische Integration von Modellen in einer Kette wird deshalb fortgeführt bis hin zur Ebene der ökologischen Zusammenhänge und der Wasserqualität (Abbildung 3). Sie wird ergänzt durch wasserbaulich-technische und ökonomische Untersuchungen. Alle Modelle sind teilweise bereits für andere Fragestellungen im routinemäßigen Einsatz oder werden speziell weiter entwickelt. Sie sind ein wichtiges Instrumentarium der wissenschaftlichen Expertise der beteiligten Forschungseinrichtungen und deren Partner. Hauptuntersuchungsgebiete sind der Rhein, die Donau und die Elbe, weiterhin die Nordsee und die Ästuare.

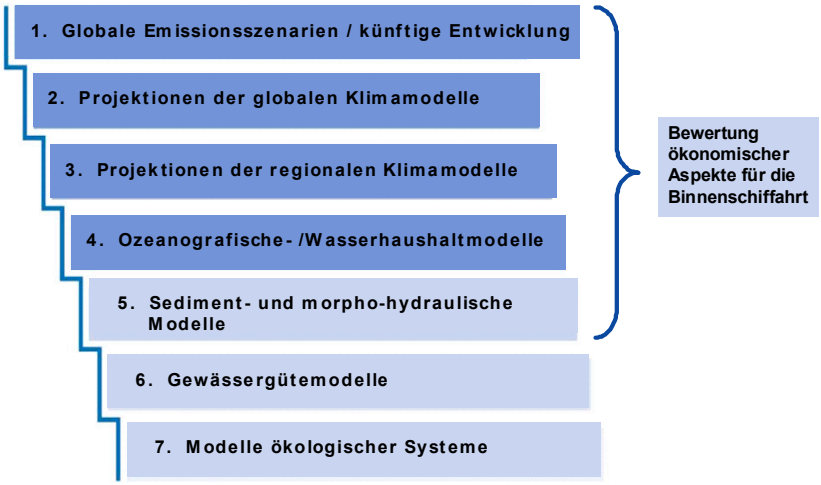

Abb. 3: Modellkette für die systemare Betrachtung von KLIWAS

Die mit der Modellkette erzielten Ergebnisse sind der Ausgangspunkt für die Entwicklung und Bewertung von möglichen Anpassungsmaßnahmen. Sie werden den Entscheidungsträgern auf der politisch-administrativen Ebene zur Verfügung gestellt und sind Beitrag zur Deutschen und Europäischen Anpassungsstrategie.

2. Struktur des Forschungsprogramms

KLIWAS umfasst fünf Vorhaben mit insgesamt 30 Projekten und einer Koordination. Die Struktur orientiert sich an der erwähnten Modellkette und den beiden regional ausgerichteten Themen im Bereich der Küste/See und der Binnengewässer:

Meteorologisch-hydrologische Klimaprojektionen (DWD, BSH)

Vorhaben 1: Validierung und Bewertung der Klimaprojektionen - Bereitstellung von Klimaszenarien für den Wirkungsbereich Wasserstraßen und Schifffahrt

Klimawandel im Küsten- und Ästuarbereich (BAW, BSH, BfG)

Vorhaben 2: Erfassung der Veränderungen des hydrologischen Systems der Wasserstraßen

Vorhaben 3: Erfassung der Veränderungen und der Betroffenheit des Gewässerzustandes (morphologisch, qualitativ, ökologisch) und Anpassungsoptionen für Schifffahrt und Wasserstraßen

Klimawandel im Binnenbereich (BAW, BSH, BFG)

Vorhaben 4: Erfassung der Veränderungen des hydrologischen Systems: Sedimenthaushalt, Morphologie und Anpassungsoptionen für Schifffahrt und Wasserstraßen

Vorhaben 5: Einfluss des Klimawandels auf Struktur, ökologische Integrität und Bewirtschaftung der Binnenwasserstraßen

Ein Pilot-Projekt „Hydrologie und Binnenschifffahrt" hat bereits im Jahr 2007 begonnen, die anderen Projekte des Forschungsprogramms arbeiten innerhalb des Zeitraums 2009 bis 2013.

Die folgenden methodischen Schritte sind Gegenstand der Arbeiten des Forschungsprogramms:

- Zeitliche und räumliche Erweiterung von historischen Klimadatensätzen, statistische Analyse und Bewertung von Beobachtungsdaten
- Studien zu regionalen Klimaänderungen mithilfe der unterschiedlichen Modelle, beginnend bei den Emissionsszenarien über die globalen bis zu den regionalen Projektionen
- Identifikation der möglichen Veränderungen der ozeanografischen und hydrologischen Bedingungen für die unterschiedlichen Klimaprojektionen, einschließlich Angaben zum Grad der Unsicherheit und der Zusammenstellung von Referenzdatensätzen
- Analyse der Anwendung von ozeanografischen und hydrologischen Projektionen und Analyse der Auswirkungen auf die Schifffahrt
- Analyse der Entwicklung der Gewässerbeschaffenheit und relevanter ökologischer Indikatoren
- Abschätzung der möglichen Änderungen von ökologischen Eigenschaften der Gewässer, der Auen und der Küsten und Folgen für Unterhaltungsmaßnahmen
- Formulierung von möglichen wasserbaulichen Anpassungsmaßnahmen.

3. Erste Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse von KLIWAS haben KRAHE et al. (2009) veröffentlicht. Anhand von Projektionen für die Abflüsse am Rhein für den Zeitraum bis zum Jahr 2100 zeigen sie, wie weit sich die Spanne mit dem Bearbeitungsschritt von den klimatologischen zu den hydrologischen Parametern auffächert. Die Daten des EU-Projekts ENSEMBLES mit einer großen Anzahl von

globalen und regionalen Klimamodellen wurden dazu herangezogen (ENSEMBLES-PARTNER, 2009).

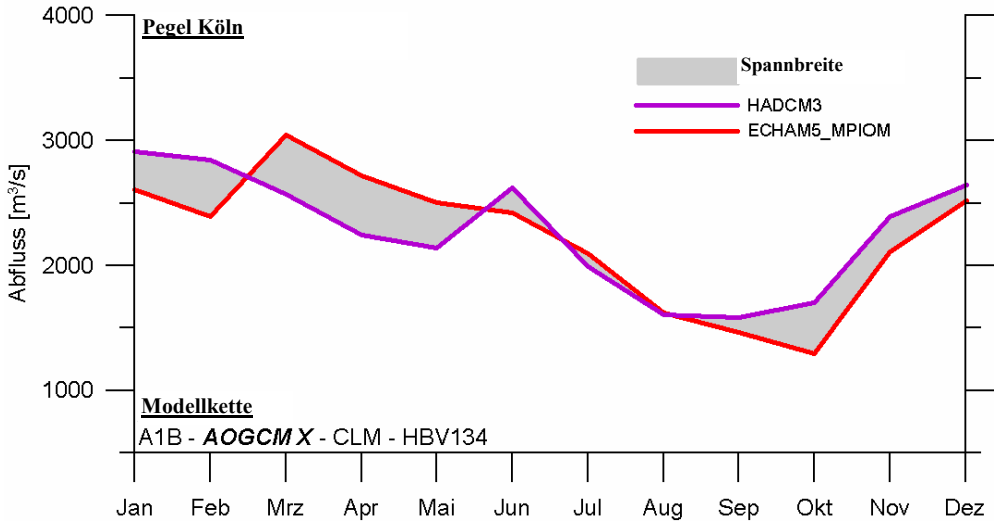

Abbildung 4: Spannbreite der mittleren monatlichen Abflüsse des Rheins am Pegel Köln in der Periode 2021-2050 als Ergebnis der Anwendung unterschiedlicher globaler Klimamodelle. Datenquelle: ENSEMBLES, CLM-Community (KRAHE et al. 2009)

Die Abbildungen 4 und 5 für den Pegel Köln illustrieren den Grad der Aussage-Unsicherheit, der allein auf den Einsatz unterschiedlicher globaler Klimamodelle zurückgeht. Die Modellkette nimmt das Emissions-Szenario "SRES_A1B" auf, das als Eingangsgröße für die globalen Klimamodelle ("AOGCM X"), dient, zu denen das HADCM3 und das ECHAM5_MPIOM zählen. An jedes dieser globalen Modelle schließt sich das regionale Klimamodell CLM an. Die jeweiligen Ergebnisse sind Eingangsdaten für das Niederschlags-Abfluss-Modell HBV134.

Der in der Abbildung 4 dargestellte Jahresgang der beiden Simulationen ist generell vergleichbar. Die mit HADCM3 angetriebene Simulation liefert in den meisten Monaten etwas mehr Abfluss, als die auf ECHAM5 beruhenden Simulationen. Die Spanne der Projektionen liegt zwischen 200 und 350 m3/s, wobei die Unterschiede im Winter zwischen den Simulationen größer sind als im Sommer.

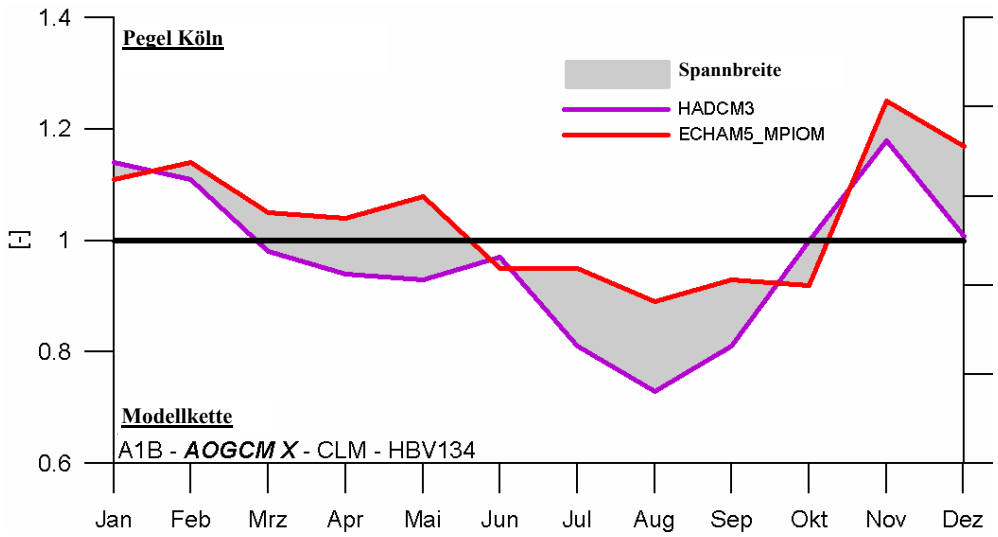

Abbildung 5: Spannbreite der Änderung der mittleren monatlichen Abflüsse in der Periode 2021-2050 am Pegel Köln (Referenz-Periode 1971-2000) als Ergebnis der Anwendung unterschiedlicher globaler Klimamodelle. Datenquelle: ENSEMBLES, CLM-Community (KRAHE et al. 2009)

In Abbildung 5 ist das in beiden Modellketten enthaltene Änderungssignal des Abflusses des Zeitraums 2021-2050 im Vergleich zum Referenz-Zeitraum 1971-2000 dargestellt. In den Projektionen fällt die insbesondere in den Sommermonaten wesentlich stärkere negative Abflussänderung auf, die auf dem Modell HADCM3 beruhen.

Diese ersten Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, verschiedene Modelle in Ensembles und auf jeder Stufe der Modellkette zu kombinieren. Die Spannbreite der Klimaprojektionen muss sichtbar werden Einzelergebnisse liefern keine höhere Aussagesicherheit. Eine der wichtigsten Aufgaben für die Klimafolgenforschung besteht folglich darin, diese Modellunsicherheiten zu kommunizieren, ohne die Tatsache, dass Klimawandel stattfindet, fraglich erscheinen zu lassen.

4. Literatur

BECKER, P, T. DEUTSCHLÄNDER, M. KOßMANN, J. NAMYSLO & A. KNIERIM (2008) Klimaszenarien und Klimafolgen. In: Informationen zur Raumentwicklung. Räumliche Anpassung an den Klimawandel. Heft 6/7.2008. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.

BMVBS (Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs) (2008): - Navigation and Waterways in Germany - Meeting the Challenges of Climate Change. A Review . Public information service, Invalidenstraße 44, 10115 Berlin, Germany

http://www.bmvbs.de/en/Service/Publications-,1932.1046457/Navigation-and-Waterways-in-Ge.htm

BRONSTERT, A., KOLOKOTRONIS, V., SCHWANDT, D. STRAUB, H. (2007): Comparison and evaluation of regional climate scenarios for hydrological impact analysis: General scheme and application example. Int. J. Climatol. 27: 1579–1594 (2007).

CHRISTENSEN, J. H., B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. GAO, I. HELD, R. JONES, R. K. KOLLI, W.-T. KWON, R. ¬LAPRISE, V. MAGAÑA RUEDA, L. MEARNS, C. G. ¬MENÉNDEZ, J. RÄISÄNEN, A. RINKE, A. SARR AND P. WHETTON (2007): Regional Climate Projections. Chapter 11 in: IPCC (2007).

ENSEMBLES Partner (2009): The ENSEMBLES project. Published online 14th May 2009 http://ensembles-eu.metoffice.com/)

EUROPEAN WHITE PAPER [COM (2009) 147/4 of 01 April 2009] "Adapting to climate change: Towards a European framework for action".

GERMAN ADAPTATION STRATEGY TO CLIMATE CHANGE (2008): http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/das_gesamt_en_bf.pdf

IPCC (2007): Fourth Assessment - Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. (http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html), dazu FAR 1990, SAR 1996, TAR 2001.

KRAHE, P., NILSON, E., CARAMBIA, M., MAURER, T., TOMASSINI, L., BÜLOW, K., JACOB, D. & H. MOSER (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen - Auswertung eines Multimodell-Ensembles für das Rheingebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 53 H.5, 316-331.

PIANC ENVICOM TASK GROUP 3 (2008): A review of climate change drivers, impacts, responses and mitigation. PIANC EnviCom Task Group 3: Climate change and navigation. PIANC General Secretariat, BRUSSELS, BELGIUM.

SRES (2000): IPCC Special Report Emissions Scenarios. (http://www.ipcc.ch/pub/sres-e.pdf).

Verfasser

Dr. Sebastian Kofalk
Referat U2
Koordination Forschungsprogramm KLIWAS
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5330
E-Mail: kofalk@bafg.de

Dr.-Ing. Hans Moser
Abteilungsleiter Quantivative Gewässerkunde
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Telefon: 0261/1306-5303
E-Mail: moser@bafg.de

Dr. Bruno Rudolf
Abteilungsleiter Hydrometeorologie
Deutscher Wetterdienst, Offenbach
Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach
Telefon: 069/8062-2765
E-Mail: bruno.rudolf@dwd.de

Dr. Hartmut Heinrich
Referatsleiter Physik des Meeres
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg
Bernhard-Nocht-Straße 78, 20359 Hamburg
Telefon: 040/3190-3200
E-Mail: hartmut.heinrich@bsh.de

Dr.-Ing. Harro Heyer
Abteilungsleiter Wasserbau im Küstenbereich
Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg
Wedeler Landstrasse 157, 22559 Hamburg
Telefon: 040/81908-300
E-Mail: harro.heyer@baw.de