



Tagungsband

KLIWAS

Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland

2. Statuskonferenz am 25. und 26. Oktober 2011, BMVBS, Berlin



Verkehr Mobilität Bauen Wohnen Stadt Land Verkehr Mobilität Bauen
Wohnen Stadt Land www.bmvbs.de Verkehr Mobilität Bauen Wohnen
Stadt Land Verkehr Mobilität Bauen Wohnen Stadt Land Verkehr Mobilität

VORWORT 1



Am 25./26. Oktober 2011 fand im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in Berlin die 2. Statuskonferenz zu dem Forschungsprogramm KLIWAS statt. Mit KLIWAS verfolgen wir das Ziel, eine belastbare Grundlage zur Berücksichtigung möglicher Klimaveränderungen für die zukünftigen Planungen an den schiffbaren Gewässern in Deutschland zu schaffen. Angesichts der mit vielen Unsicherheiten behafteten Klima- und Klimafolgenforschung sollen die KLIWAS-Ergebnisse mit modernsten wissenschaftlichen Methoden die Verantwortlichen bei ihren künftigen Planungen und Entscheidungen in einer neuen Qualität unterstützen.

In seinem integralen Ansatz nimmt KLIWAS das ganze Gewässersystem in den Blick, um den künftigen Herausforderungen an Ausbau, Betrieb und Unterhaltung der Wasserstraßen gerecht zu werden. Da die schiffbaren Gewässer auch für viele andere Handlungsfelder unserer Gesellschaft und insgesamt für die Daseinsfürsorge von großer Bedeutung sind, sind die Ergebnisse nicht nur für das Gewässer als Wasserstraße von Interesse

Zur Halbzeit von KLIWAS (Laufzeit 2009–2013) präsentierten wir auf der 2. Statuskonferenz ausgewählte Zwischenergebnisse in Form von Vorträgen und Postern, die regional für die Flussgebiete Rhein, Elbe und Donau sowie für die Küstengewässer zusammengestellt wurden. Die Konferenz hat dazu beigetragen, die vorliegenden Zwischenergebnisse zügig in die fachlichen und politischen Handlungsfelder zu vermitteln.

Gleichzeitig wurden Querbezüge zu den anderen Klimafolgenforschungsprogrammen der Bundesregierung und der Länder aufgezeigt, um die verstärkte Nutzung von Synergien anzuregen.

Ich bin überzeugt, dass die vielseitigen Beiträge der Konferenz allen Teilnehmern neue Impulse geben und Perspektiven aufzeigen konnten und zu weiteren Kooperationen anregen. Auf der Konferenz wurde deutlich, dass die Anpassung an den Klimawandel zukünftig eine Daueraufgabe für die Arbeit in den verschiedenen Handlungsfeldern des BMVBS ist und es dazu einer intensiven Weiterentwicklung der angewandten Klimafolgenforschung durch unsere Ressortforschungseinrichtungen bedarf.

Prof. Klaus-Dieter Scheurle

Staatssekretär

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Inhaltsverzeichnis

Einführung	7
Eröffnungsansprache Staatssekretär Klaus-Dieter Scheurle (BMVBS)	7
Der integrale Ansatz des Forschungsprogramms KLIWAS für Schifffahrt und Wasserstraßen 1 Hans Moser (BfG)	0
Die deutsche Klima- und Klimafolgenforschung – wo stehen wir?	7
KLIWAS – nationale und internationale wissenschaftliche Relevanz. 2 Franz Nestmann (KIT) & Andreas Kron (KIT)	1
Aktuelle Querbezüge 2	5
Das Niederländische Delta im 21. Jahrhundert	5
Klimawandel regional betrachtet – Förderaktivitäten des BMBF im Kontext zu KLIWAS-Aktivitäten	7
Katrin Ellwardt (BMBF) & Paul Dostal (DLR)	
Klimawandel: Wie sich Regionen und Städte anpassen können – Die Modell- vorhaben der Raum- (KlimaMORO) und Stadtentwicklung (StadtKlimaExWoSt)	2
Anpassung der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel	2
Auswirkungen des Klimawandels am Rhein 5	9
Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasser-	
wirtschaftliche Fragestellungen am Rhein	9
Enno Nilson, Maria Carambia, Peter Krahe, Maria Larina, Jörg Uwe Belz & Markus Promny (alle BfG)	

Analysen zur Betroffenheit der Binnenschifffahrt und der Wirtschaft am Rhein64
Berthold Holtmann (DST), Anja Scholten (Univ. Würzburg), Roland Baumhauer (Univ. Würzburg), Benno Rothstein (HFR), Dieter Gründer (DST), Volker Renner (DST) & Enno Nilson (BfG)
Untersuchungen zu verkehrswasserbaulichen Anpassungsoptionen
an extreme Niedrigwassersituationen 70
Sven Wurms (BAW) & Michael Schröder (BAW)
Ermittlung von Fahrrinnenmindestbreiten durch Naturuntersuchungen
Bernhard Söhngen (BAW) & Lucia Hahne (BAW)
Frühere und zukünftige Entwicklung der Schwebstofffrachten im Rhein
Gudrun Hillebrand, Thorsten Pohlert & Stefan Vollmer (alle BfG)
Entwicklung der partikulär gebundenen Schadstofffrachten im Rhein
am Beispiel des Hexachlorbenzols (HCB)
Thorsten Pohlert, Gudrun Hillebrand & Vera Breitung (alle BfG)
Modellierung von Wassertemperatur und Planktondynamik im Rhein
Paulin Hardenbicker, Annette Becker, Volker Kirchesch & Helmut Fischer (alle BfG)
Auswirkungen des Klimawandels an der Elbe
Änderungen von Wasserhaushaltskomponenten im Elbegebiet –
Herausforderungen und Lösungsansätze
Theresa Horsten, Peter Krahe, Enno Nilson, Jörg Uwe Belz, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach & Maria Larina (alle BfG)
Morphologische Klima-Projektionen im Hinblick auf die vielfältigen Nutzungsansprüche der Bundeswasserstraße Elbe
Marc Roberts, Markus Promny & Stefan Vollmer (alle BfG)
Szenarien der Gewässergüte für die Elbe
Helmut Fischer, Paulin Hardenbicker & Andreas Schöl (alle BfG)
Potenzielle Entwicklung der Auenvegetation an der Elbe
Eva Mosner (BfG) & Peter Horchler (BfG)

Auswirkungen des Klimawandels auf die Donau	111
Einfluss des Klimawandels auf mögliche Änderungen des Abflussregimes an der Donau im 20. und 21. Jahrhundert Bastian Klein, Imke Lingemann, Peter Krahe & Enno Nilson (alle BfG)	111
Vegetation und Fauna der Donau zwischen Straubing und Vilshofen. Jan Peper (BfG) & Michael Schleuter (BfG)	116
Das Donaueinzugsgebiet im Wandel: Die IKSD und die Klimaanpassungsstrategie Philip Weller, Raimund Mair & Benedikt Mandl (alle IKSD)	119
Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen in Ästuaren, an Küsten und in der See	125
Meeresspiegelprojektionen für den nordwesteuropäischen Schelf	
Hartmut Heinrich (BSH), Uwe Mikolajewicz, Ernst Meyer-Reimer, Dmitry Sein (alle MPI), Birgit Klein, Anette Ganske, Katharina Bülow, Nils Schade, Jens Möller (alle BSH), Gudrun Rosenhagen (DWD-SH), Birger Tinz (DWD-SH) & Sabine Hüttl-Kabus (BSH)	0
Tidekennwerte und Seegangsstatistik – eine Trendanalyse	128
Hartmut Hein, Stephan Mai, Ulrich Barjenbruch (alle BfG) & Anette Ganske (BSH)	
Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems – Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels Elisabeth Rudolph, Annette Schulte-Rentrop (beide BAW), Annkathrin Schüßler (RFWU) & Anika Johannsen (TUHH)	135
Folgen Klima bedingter Änderungen des Oberwasserabflusses auf die Algenentwicklung	
und den Sauerstoffgehalt in der Tideelbe	139
Birte Hein, Jens Wyrwa & Andreas Schöl (alle BfG)	
Ästuarvegetation und Vorlandschutz	144
Eva-Maria Bauer, Maike Heuner, Elmar Fuchs, Uwe Schröder & Andreas Sundermeier (alle BfG)	

der Sedimente am Beispiel der Tideelbe	146
Axel Winterscheid, Nicole Gehres & Carmen Kleisinger (alle BfG)	
Sensitivitätsstudie zum Einfluss von veränderten Abflüssen auf den Transport von Salz, Schadstoffen und Sedimenten in den Nordseeästuaren sowie Ausblick auf Anpassungsoptionen	153
Norbert Winkel, Benjamin Fricke, Fred Hesser, Ingrid Holzwarth, Ariane Paesler, Annette Schulte-Rentrop, Aissa Sehili, Rita Seiffert, Guntram Seiß & Holger Weilbeer (alle BAW)	
Konsequenzen für das weitere Handeln –	
Diskussion und Ausblick	
Verkehrswissenschaftliche Aspekte bei der Klimaanpassung Karl-Hans Hartwig (Univ. Münster)	159
Umgang mit Unsicherheiten aus wissenschaftlicher und politikberatender Sicht	160
Zusammenfassung und Ausblick	165
Reinhard Klingen (BMVBS, Abteilungsleiter Wasserstraßen und Schifffahrt)	
Abkürzungsverzeichnis	167
Glossar	169
KLIWAS-Vorhaben und -Projekte (Übersicht, Stand April 2012)	173
Teilnehmerliste	177
Zur Person.	189

Poster zur 2. KLIWAS-Statuskonferenz am 25./26. Oktober 2011

Die Poster zur 2. KLIWAS-Statuskonferenz am 25./26. Oktober 2011 sind als Heft 3/2012 der KLIWAS-Schriftenreihe veröffentlicht. Bezug: KLIWAS-Koordination in der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56002 Koblenz; E-mail: kliwas@bafg.de. Downloads sind verfügbar unter www.kliwas.de.

Einführung

Eröffnungsansprache

Staatssekretär Klaus-Dieter Scheurle (BMVBS)

Nachdem das Forschungsprogramm KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland – zu Beginn seiner Laufzeit auf der 1. Statuskonferenz am 18./19. März 2009 der Fachöffentlichkeit vorgestellt wurde, ist das Interesse an KLIWAS und seinem Fortschritt weiter gestiegen. Auf der 2. Statuskonferenz am 25./26. Oktober 2011 in Berlin konnten über 250 Teilnehmer aus allen Teilen des Bundesgebietes und einige auch aus dem benachbarten Ausland begrüßt werden. Sie repräsentierten die Bereiche

- der Politik
- zahlreiche Bundes- und Landesministerien und deren Fachbehörden
- Schifffahrt, Häfen und Industrie
- die Wasserwirtschaft
- Umwelt- und Naturschutz
- Ingenieurbüros
- Wissenschaft mit Schwerpunkt Klimafolgenforschung
- die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
- die Ressortforschungseinrichtungen des BMVBS: BfG, DWD, BSH, BAW, die das Forschungsprogramm inhaltlich entwickeln und mit ihren neuen Erkenntnissen diese Veranstaltung mit Vorträgen und Postern maßgeblich gestalteten und prägten.

Diese große Bandbreite des Teilnehmerkreises ermöglicht es erst das komplexe Thema "Anpassung der schiffbaren Gewässern in Deutschland an den Klimawandel" mit den dafür benötigten Kompetenzen und Zuständig-

keiten umfassend und angemessen zu betrachten und die erforderlichen Erfahrungen einzubeziehen.

Weltweit werden Auswirkungen einer globalen Erwärmung beobachtet oder für die nahe Zukunft vorhergesagt. Dazu gehören zum Beispiel

- der Anstieg des Meereswasserspiegels,
- die Änderungen der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationssysteme, verbunden mit einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von extremen Wetterlagen,
- das Abschmelzen von polaren Eismassen und Gletschern,
- Hitzerekorde, Dürre und extreme Hoch- und Niedrigwasserereignisse der Flüsse.

Auch wir in Deutschland nehmen Veränderungen des Klimas und des Wetters mit entsprechenden Auswirkungen auf unsere gewohnten Lebens- und Wirtschaftsabläufe wahr und müssen uns mit den Folgen für zukünftige Planungen rechtzeitig auseinandersetzen. Nur abwarten, ob wir das 2-Grad-Ziel erreichen oder verfehlen, wird einem verantwortungsvollen und vorsorgenden Handeln nicht gerecht.

Der Schutz des Weltklimas und unsere Maßnahmen, wie wir unseren Beitrag in den Bereichen Verkehr, Bauen und Wohnen zu verminderten Emissionen bringen und zu einer Energie effizienteren Praxis finden, um den ehrgeizigen Zielen der deutschen und internationalen Klimapolitik gerecht zu werden, also das zweite Standbein zum Klimawandel, war nicht Gegenstand der Statuskonferenz, darf aber selbstverständlich nicht vernachlässigt werden. Hier unternehmen wir für unsere Geschäftsfelder auch große Anstrengungen, die an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden sollen.

Klimafolgenforschung und Anpassung an den Klimawandel sind in den vergangenen Jahren zunehmend zu einer internationalen und nationalen Zukunftsaufgabe geworden. Der Weltklimarat steht kurz vor Abschluss eines Sonderberichtes an die Politik (Risikomanangement von Extremereignissen und Katastrophen

zur verbesserten Klimaanpassung - SREX), welche Vorkehrungen neben den Klimaschutzmaßnahmen zur Anpassung an extreme Klima- und Wetterveränderungen angegangen werden sollten. In diesem Papier wird der Weltklimarat (IPCC) verdeutlichen, dass es signifikante Entwicklungen gibt, auf die es sich im Hinblick auf Prävention und Daseinsfürsorge vorzubereiten gilt und die auch für Wasserstraßen und Schifffahrt Bedeutung haben. Der IPCC betont, dass die fortschreitende globale Erwärmung Extremereignisse (Hitzewellen, Starkregen, Stürme, Sturmfluten, Hochwasser, Dürre, Niedrigwasser etc.) regional unterschiedlich weiter forcieren wird insbesondere mit verstärkten Auswirkungen auf Wasserbewirtschaftungssysteme und Infrastrukturen. Sogenannte Low-/No-regret-Maßnahmen, also Maßnahmen, die "ohne Reue" bereits kurzfristig Vorteile erbringen und auf lange Sicht die Betroffenheit reduzieren, werden als effektivste Anpassungsmaßnahmen angesehen.

Die EU-Kommission hat diese Aktivitäten auf europäischer Ebene mit dem Weißbuch zur Anpassung an den Klimawandel forciert. Gleichzeitig fordert sie im Rahmen der gemeinsamen Verkehrspolitik dazu auf, im Transeuropäischen Verkehrsnetz – TEN-V – "klimafeste" Infrastrukturen und Verkehrsabläufe zu entwickeln. Auf nationaler Ebene fordert dies die Bundesregierung mit der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS 2008) und dem kürzlich verabschiedeten Aktionsplan Anpassung (APA 2011) ein.

Die globale Verkehrsministerkonferenz, die seit einigen Jahren jährlich im Mai im Rahmen des Weltverkehrsforums (ITF, OECD) in Leipzig in Deutschland mit verschiedenen Themenschwerpunkten trifft, hatte bereits im Jahr 2008 das Thema Klimaschutz ("Transport and Energy – the Challenge of Climate Change") aufgegriffen. Derzeit hat eine Arbeitsgruppe den Auftrag erhalten, eine internationale Studie zum Thema "Anpassung des Transportsektors an den Klimawandel und an Extremereignisse" zu erarbeiten und damit eines der nächsten Weltverkehrsforen inhaltlich vorzubereiten. Die KLIWAS-Methodik und -Ergebnisse finden hier für den Verkehrsträger Schiff/Wasserstraße bereits große

Beachtung, denn viele Staaten haben für den Verkehrssektor noch keine vergleichbaren Strategien.

Bevor wir jedoch verantwortungsvoll in Maßnahmen zur Anpassung an Klimaveränderungen investieren können, müssen wir sorgfältig ermitteln, welche Veränderungen überhaupt auf uns zukommen können. Manche klimatische Veränderungen, die wir zwar "gefühlt" wahrnehmen, sind bei genauer meteorologischer Analyse der "normalen" Variabilität des Wettergeschehens zuzuordnen und noch kein Klimawandel. Die Entscheidungsträger im Verkehrsbereich benötigen belastbare Aussagen insbesondere auf regionaler Ebene, inwieweit die Gewässer und damit die Schifffahrt sowie die Infrastruktur der Wasserstraßen im Binnen- und Küstenbereich vom Klimawandel betroffen sein könnten.

Die Schaffung von wissenschaftlich tragfähigen Aussagen ist die wesentliche Aufgabe des Forschungsprogramms KLIWAS. Um uns auf die künftigen Herausforderungen an den schiffbaren Gewässern besser einstellen und unsere Verantwortung hier besser wahrnehmen zu können, haben wir daher 2009 das Forschungsprogramm KLIWAS mit einer Laufzeit von 5 Jahren gestartet und mit einem Budget von 20 Millionen Euro ausgestattet. Die Forschungsgelder sind in KLIWAS gut angelegt, da sie auch für andere Aufgabenfelder an den Gewässern, z.B. Wasserwirtschaft, Umwelt- und Naturschutz, Küstenschutz, die Raumplanung und die Stadtentwicklung von Bedeutung sind und somit einen großen gesellschaftlichen Nutzen entfalten. Die Ergebnisse werden eine wichtige Grundlage für unsere künftigen Investitionsentscheidungen, für die Aufgabenwirtschaftlichkeit und die Daseinsfürsorge rund um die Gewässer sein. Mit seinem umfassenden interdisziplinären Ansatz ist KLIWAS als Leuchtturmvorhaben des BMVBS im Verkehrsbereich ein wichtiger Beitrag der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel und des Aktionsplans Anpassung der Bundesregierung.

KLIWAS beschreitet mit seinem Multimodellansatz einen aufwändigen, aber wissenschaftlich erforderlichen Weg in der Klimafolgenforschung. Die Ressortforschungseinrichtungen haben ihre Wirkmodelle zu Abfluss, Ozeanografie, Feststoff- und Schadstofftrans-

port, Gewässergüte und Vegetation weiter entwickelt, um sie in einer Modellkette an die national und international anerkannten Klimamodelle (Ensembles) zu koppeln. Dabei wird jeweils das ganze Gewässersystem in den Blick genommen, um das Gesamtverständnis und die Wechselwirkungen noch besser zu erfassen, zu verstehen, um mit den Kräften der Natur zu arbeiten und nicht gegen sie. So können zukünftige Gewässerzustände mit räumlicher und zeitlicher Auflösung von neuer Qualität simuliert werden. Diese Informationen werden auch dazu dienen, die Wasserbewirtschaftung des schiffbaren Kanalnetzes (z. B. zwischen Rhein und Oder, zwischen Rhein und Donau) weiter zu optimieren.

Der Multimodellansatz von KLIWAS hat in der internationalen Wissenschaftslandschaft bereits Aufmerksamkeit und Anerkennung gefunden, indem andere Handlungsfelder diese Herangehensweise ebenfalls einschlagen. Beispielsweise am Rhein, wo der größte zeitliche Vorlauf und dementsprechend der größte Ergebnisfortschritt vorhanden ist, haben verschiedene Gremien der internationalen Rheinanliegerstaaten wie die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) und die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) die Methodik und die Ergebnisse von KLIWAS aufgenommen. Auch von der Donaukommission werden die KLIWAS-Ergebnisse mit Interesse aufgenommen. Weiterhin besteht auch aus dem ferneren Ausland Interesse, KLIWAS-Kenntnisse anzuwenden. So konnte auf der Statuskonferenz auch eine chinesische Delegation begrüßt werden, mit der am Rande dieser Konferenz über eine Kooperation zur Anwendung der KLIWAS-Methodik auf den Yangtze verhandelt wurde.

Die heute vorliegenden Zwischenergebnisse der Untersuchungen von KLIWAS zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die regionale Niederschlagsverteilung und die Abflussverhältnisse für die Gewässersysteme Rhein, Elbe, Donau und für die Küstengewässer verdeutlichen, dass die Veränderungen des Wasserabflusses in den großen Fließgewässern in den nächsten Jahrzehnten noch moderat sind.

Daraus kann geschlossen werden: Keine Wasserstraße muss wegen Klimaveränderungen in den nächsten Jahrzehnten in ihrer Nutzbarkeit grundsätzlich in Frage gestellt werden! Unsere Wasserstraßen sind also – wenn auch unter veränderten Abflussverhältnissen – auch in Zukunft zuverlässig. Für die aktuell anstehenden Investitionsentscheidungen lösen die vorliegenden Ergebnisse noch keine unmittelbaren und gravierenden Konsequenzen aus. Die von KLIWAS für die nächsten Jahrzehnte projizierte Klima bedingte Variabilität der Umweltparameter ist moderat und kann mit den vorhandenen Planungswerkzeugen berücksichtigt werden.

In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts können die Veränderungen aber ein Ausmaß erreichen, dass nicht nur hinsichtlich der Schifffahrt, sondern auch für weitere Handlungsfelder an Gewässern weitergehende Anpassungsaktivitäten erforderlich werden können. Ein integriertes und vorsorgendes Handeln aller Zuständigen an den Gewässern wird dann mehr denn je erforderlich sein. KLIWAS wird erste Vorschläge für geeignete gewässerspezifische Anpassungsmaßnahmen erarbeiten.

Bislang sind "Maßnahmen ohne Reue" das Mittel der Wahl, also Maßnahmen, die bereits jetzt einen Nutzen entfalten und gleichzeitig der Anpassung an den Klimawandel dienen können. Darunter fallen z. B. Maßnahmen zur Vergleichmäßigung der Abflussverhältnisse (Minderung von Hochwasserscheiteln, Anhebung von Niedrigwasserständen).

Die Politik erhält nun für die großen schiffbaren Gewässer eine wissenschaftlich deutlich verbesserte Entscheidungsgrundlage. Mit dem KLIWAS-Modellverbund können jetzt komplexe Berechnungen über den zukünftigen Klima bedingten Zustand der Gewässer schnell aktualisiert und neue Entwicklungen besser berücksichtigt werden. Vor dem Hintergrund der großen Unsicherheiten, die vor allem durch die komplexen Eingangsgrößen (u. a. Emissionsszenarien) und die unterschiedlichen Klimamodelle verursacht werden, erzeugt der KLIWAS-Verbund eine Bandbreite der möglichen Projektionen als belastbare Grundlage für die Entscheider.

Mit Spannung werden wir die weiteren Ergebnisse in den kommenden 2 Jahren verfolgen und nutzen und offenen Fragen weiter nachgehen. Auch über die Laufzeit des Forschungsprogramms hinaus werden das BMVBS und die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes neue Erkenntnisse der Klimafolgenforschung mit Unterstützung des KLIWAS-Verbundes vorsorgend und aufmerksam weiter verfolgen und in die Konzepte zur Sicherstellung der Schifffahrt einbringen.

Um aber den zukünftigen Erfordernissen an die Klimaanpassung gerecht zu werden, müssen wir die erforderlichen Haushaltsmittel für die weitere Wissensentwicklung und für Anpassungsmaßnahmen einplanen und bereitstellen. Hierzu sollten z. B. von den Geldern, die im Emissionshandel erwirtschaftet werden, auch Mittel in die Ressortforschung und zu Maßnahmen zur Klimaanpassung gelenkt werden. Auch die Verstetigung des neu entstandenen Wissens in die operative Praxis hinein kann nicht allein mit bestehenden Ressourcen erfolgen.

Ich möchte schließen mit einem Dank für die bereits bis jetzt mit KLIWAS geleistete Pionierarbeit, deren Früchte nun mehr und mehr in die Wahrnehmung und in die Praxis kommen. Hier haben vor allem unsere Ressortforschungseinrichtungen und die vielen Wissenschaftter der insgesamt 30 verschiedenen Projekte große Verdienste und die BfG in besonderem Maße durch die Koordination des Verbundes. Allein 20 KLIWAS-Vorträge und 30 KLIWAS-Poster auf der 2. Statuskonferenz hinterlassen einen markanten Eindruck von der Schaffenskraft der Beteiligten.

Der integrale Ansatz des Forschungsprogramms KLIWAS für Schifffahrt und Wasserstraßen

Hans Moser (BfG)

1 Einleitung und Ziele des Forschungsprogramms

Ausgangspunkt aller Überlegungen für das Forschungsprogramm KLIWAS war die Frage: Welche Auswirkung hat die Erwärmung Mitteleuropas auf die Schiffbarkeit der Bundeswasserstraßen?

Der Begriff "Schiffbarkeit" ist in einem amerikanischen Lehrbuch (Parkins & Whitaker 1939) wie folgt definiert:

"Navigable bodies of water are bodies that are navigated in fact."

Und als wenn der Autor in dem Moment des Schreibens gemerkt hätte, dass diese Definition ziemlich unbestimmt ist, ergänzt er die Begriffsbestimmung folgendermaßen:

"Exactness demanded in scientific writings calls for a statement of the minimum depth for navigation".

Von welchen Einflussgrößen hängt nun die Schiffbarkeit einer Wasserstraße ab? Zuerst von der verfügbaren Wassermenge. Diese Wassermenge sollte möglichst gleichmäßig räumlich und zeitlich verteilt sein. Der zweite Faktor ist die Geometrie des Flussbetts. Die Abbildung 1 zeigt als Beispiel eine Sohlaufnahme des Rheins bei Mannheim aus dem Jahre 1836. Aus der Wassermenge und der Geometrie des Flussbetts ergibt sich der Wasserstand im Fluss. Ausgehend von diesem Wasserstand bestimmt als dritter Faktor die Größe des Schiffsgefäßes, welche Wasserstraße wirtschaftlich befahren werden kann (*minimum depth for navigation*).

Die Schiffbarkeit einer Wasserstraße kann damit als eine Funktion der Wassermenge, der Geometrie und der Schiffsgröße definiert werden. Diese Definition der Schiffbarkeit bezieht sich auf die rein technische Anforderung des Verkehrsweges. Der integrale Ansatz für Wasserstra-

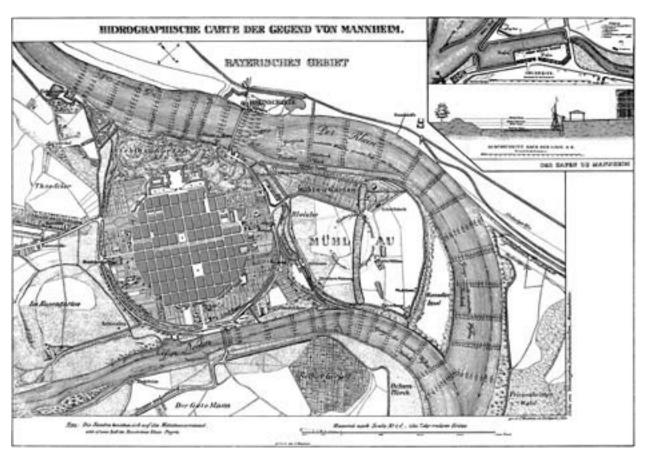


Abb.1: Sohlaufnahme des Rheins und der Neckarmündung bei Mannheim (Quelle: Bundesminister für Verkehr 1951)

Ben und Schifffahrt erfordert aber eine Erweiterung dieser Definition (siehe Abbildung 2).

Zu den Einflussgrößen Wassermenge, Geometrie und Schiffsgefäß kommen die Gewässergüte und die Gewässerökologie hinzu. Diese sektorübergreifende Sichtweise ist kennzeichnend für das Forschungsprogramm KLIWAS. Diese Sichtweise ist unverzichtbar, weil die Entwicklung von Anpassungsoptionen an die zukünftigen Veränderungen für den Verkehrsträger Schiff/Wasserstraße nicht allein sektoral formuliert werden kann.

Was bedeutet nun dieser integrale Ansatz für das Forschungsprogramm KLIWAS? In KLIWAS wird eine räumliche, zeitliche, inhaltliche und methodische Vollständigkeit angestrebt. Das Untersuchungsgebiet von KLIWAS erstreckt sich über die Küstengewässer der Nord- und Ostsee sowie über die grenzüberschreitenden Stromgebiete in Mitteleuropa. Die bisher in KLIWAS bearbeiteten Stromgebiete sind Rhein, Obere Donau und Elbe.

Hydrologisch überblicken wir im Forschungsprogramm KLIWAS einen Zeitraum von 300 Jahren. Das heißt, wir kennen die hydrologischen Verhältnisse der vergangenen 200 Jahre und projizieren die zukünftige Entwicklung bis zum Jahr 2100.

Inhaltlich wird im Forschungsprogramm KLIWAS eine vollständige Systemanalyse angestrebt.

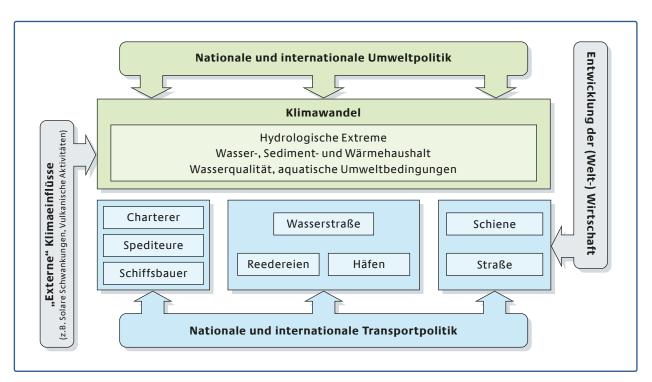


Abb. 2: System Wasserstraße (Quelle: NILSON et al. 2009, verändert nach VIA DONAU 2005)

Dies bedeutet, dass ausgehend von physikalischen Größen über Fragen der Wasserqualität bis zu den Ökosystemfunktionen im Gewässer vorgedrungen wird.

Methodisch spielen die Begriffe Modellkette, Multimodellansatz und Bandbreite eine zentrale Rolle.

Das Ressortforschungsprogramms KLIWAS wurde auch für die wissenschaftliche Politikberatung konzipiert. Voraussetzung für jede politische Entscheidung ist die verlässliche Kenntnis des Gegenstandes und eine realistische Vorstellung über die Regelungsoptionen. Eine wichtige Grundlage hierfür bildet die wissenschaftliche Arbeit der Ressortforschungseinrichtungen, welche insbesondere auf die Zuverlässigkeit und Nutzbarkeit der Ergebnisse für die Praxis zielt. Diesen Anspruch ausfüllend gelangt man zum "Wissen zweiter Ordnung".

Die Formulierung Wissen zweiter Ordnung ist hier übernommen vom Philosophen Peter Bieri, in dem Ausdruck kommt eine skeptische Haltung zum Vorschein,

welche eine lange Tradition in der Wissenschaft und Geistesgeschichte hat: Wissen zweiter Ordnung bedeutet Kenntnis über die Mangelhaftigkeit unseres Wissens.

Im Einzelnen heißt dies:

- Kenntnis über die Gültigkeit unseres Wissens,
- Kenntnis über die Grenzen und Unsicherheiten insbesondere bei der numerischen Modellierung,
- Kenntnis über die Herkunft und Entstehung unseres Wissens,
- Quellenkritik und Quellenehrlichkeit,
- Kenntnis über die Vorläufigkeit und Vielfalt unseres Wissens,
- Kenntnis über die Praxisrelevanz.

Und vor allem Wissen zweiter Ordnung bewahrt uns vor Fehlschlüssen, weil wir immer wieder die Fragen stellen müssen "Was heißt das genau?" und "Woher wissen wir, dass das so ist?"

Diese Grundfragen bilden den Rahmen, innerhalb dessen das Forschungsprogramm KLIWAS die Klima bedingten Änderungen der Abflüsse und Wasserstände für Binnenwasserstraßen abschätzt. Analog werden für die Küstengewässer Klima bedingt veränderte physikalische Zustandsgrößen wie Wind, Strömungen, Seegang, Wasserstände und deren Auswirkungen auf die Schifffahrt untersucht. Gleichzeitig werden die Auswirkungen der potenziell veränderten hydrologischen Zustände auf die (Schad-)Stoffbelastung und auf ökologische Funktionen analysiert sowie ökonomische Aspekte für die Schifffahrt betrachtet. Abschließend sollen Anpassungsoptionen für eine planerisch relevante räumliche Skala entwickelt werden.

Das Kernprojekt zu Klima- und Abflussprojektionen hat bereits Mitte 2007 am Rhein begonnen. Das erweiterte Forschungsprogramm, das 30 Projekte umfasst, wurde im März 2009 gestartet; die Laufzeit ist bis 2013 ausgelegt. Während dieses Zeitraums arbeiten ca. 100 Wissenschaftler in den beteiligten Ressortforschungseinrichtungen (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Deutscher Wetterdienst) und bei deren Kooperationspartnern zusammen. Sie werden von einem wissenschaftlichen Beirat beraten. Ferner tauschen sich die Wissenschaftler mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) als Betreiber der Wasserstraßen aus.

2 Der integrale Ansatz: Regionale und methodische Aspekte

Das Forschungsprogramm KLIWAS verfolgt einen Ansatz zur regionalen, disziplinären und methodischen Integration.

Regionale Integration bedeutet, jeweils komplette Einzugsgebiete der Wasserstraßen unter klimatologischen und hydrologischen Gesichtpunkten zu analysieren. Im Binnenland werden vor allem Rhein, Elbe und Donau untersucht. Die Inhalte der KLIWAS-Projekte folgen der Kontinuität des Gewässersystems von den Binnengewässern über die Ästuare (Elbe, Weser und Ems) zu den Küstengewässern und bis zur offenen See. Für die Seeschifffahrtsstraßen bauen die Analysen auf regionalisierte Ozean- und Atmosphären-Modelle auf. Eines der Forschungsziele besteht darin, Regionen gleicher Verwundbarkeit zu identifizieren. Die Ostsee ist bisher in Teilaspekten Gegenstand von Untersuchungen.

Der Ansatz zur disziplinären Integration ist Folge der vielfältigen betrachteten Komponenten des Gewässersystems einschließlich der Auen, Vorländer und ozeanischen Randgebiete (Hydrologie, Ökologie, Gewässergüte, Morphologie, Feststofftransport, ökonomische Aspekte der Schifffahrt). Diese gesamtheitliche Analyse spiegelt u. a. die für wasserbaulich-technische Maßnahmen zu berücksichtigenden Aspekte wider, die für den Betrieb und den Unterhalt von Wasserstraßen zu ergreifen sind. Diese Aspekte werden von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 20 Disziplinen untersucht (vor allem Meteorologie, Hydrologie/Ozeanografie, Hydraulik, Limnologie, Biologie, Chemie, Ingenieurwissenschaften). Die Projekte sind in den Referaten und Abteilungen der vier Oberbehörden angesiedelt und kooperieren mit universitären und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen. Die Zusammenführung der teils disziplinären Bearbeitung innerhalb der Projekte zum interdisziplinären Ansatz im Forschungsprogramm KLIWAS gründet auf einem gemeinsamen Verständnis für nachhaltig zu bewirtschaftende Gewässerökosysteme, die durch den Menschen genutzt werden (Wasserstraße, Vorfluter, Wasserkraft, Kühlung, etc.). Daneben verfolgt KLIWAS einen **transdisziplinären** Ansatz. Die anwendungsorientierte Ressortforschung integriert die Ziele der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, die letztlich Anpassungsmaßnahmen umsetzen wird.

Die Methode zur Umsetzung des integralen Ansatzes von KLIWAS besteht in der Beschreibung und Anwendung zweier Modellketten – je eine für Binnenwasserstraßen und eine für Seeschifffahrtsstraßen (einschließlich der Ästuare der o. g. Flüsse). Die beiden Mo-

dellketten sind über die Schnittstellen "Klima" und "Ästuare" miteinander verbunden. Jede Modellkette stellt die hierarchische Verknüpfung der genannten Komponenten des Systems Wasserstraße dar. Die einzelnen Glieder der Modellkette gehören zum großen Teil zum bestehenden Modellierungs-Instrumentarium der Ressortforschung, repräsentieren die wissenschaftlichen Disziplinen und stellen eine spezielle Anwendung oder Erweiterung dar. KLIWAS fügt die vorhandenen (und zu entwickelnden) Modelle zur Modellkette zusammen.

Die Modellkette für Binnengewässer gliedert sich wie folgt: Die globalen Klimamodelle mit ihrer groben räumlichen Auflösung können regionale meteorologische Effekte nur unzureichend wiedergeben. Aus diesem Grund werden anhand von regionalen Klimamodellen regionale Klimaprojektionen errechnet. Anschließend werden relevante hydrologische und hydrometeorologische Parameter aus den regionalen Klimaprojektionen mit Hilfe von Skalierungs- und Interpolationsverfahren auf die betrachteten Flusseinzugsgebiete projiziert. Sie dienen dann - mit Hilfe von Wasserhaushalts- und hydrodynamischen Modellen – der Bestimmung z. B. von Abfluss-Wasserstands-Projektionen. Schließlich werden diese Daten in weiteren Modellen verwendet, die sich mit Fragen der Gewässergüte, des Sedimenttransports oder mit wasserbaulichen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels befassen.

Im Bereich der Küsten und Meere gilt prinzipiell die gleiche Herangehensweise. Im globalen Maßstab werden Ozean und Atmosphäre in Modellrechnungen gekoppelt, d. h. ihre gegenseitige Beeinflussung wird berücksichtigt. Zwar sind im Maßstab Nordsee atmosphärische Globalmodelle regionalisiert, die Koppelung mit regionalisierten Ozeanmodellen hat allerdings noch nicht stattgefunden. An die ungekoppelten und gekoppelten Modelle werden hydrodynamische Modelle für den Seegang, die Gezeiten, die Strömung und den Sedimenttransport nachgeschaltet. Ebenso wie im Binnenland verfolgen weitere Wirkmodelle Fragen der Gewässergüte, der Ökologie, des Wasserbaus, und ökonomischen Aspekte.

Jede Modelkette wird mehrfach gerechnet. Dabei werden unterschiedliche CO_2 -Emissionsszenarien berücksichtigt und künftig ebenso Szenarien auf Basis unterschiedlicher Strahlungsantriebe (RCP – Representative Concentration Pathways).

Der Multimodell-Ansatz erweitert die Methode der Modellketten als weiteres wesentliches Merkmal des integralen Ansatzes von KLIWAS. In jedem Glied der Modellkette werden möglichst mehrere numerische Modelle berücksichtigt. Dies ist vor allem auf der Ebene der globalen und regionalen Klimamodelle der Fall, aber auch in jedem weiteren Glied der oben skizzierten Modellketten. Der Multimodell-Ansatz trägt dieser großen Unsicherheit in den jeweils einzelnen Modellen Rechnung.

Die Aussagen zum Grad der klimatischen Veränderung und die Validierung der Klimamodelle sollen die möglichen zukünftigen Abweichungen vom meteorologischen Zeitraum 1961 bis 1990 und von den international abgestimmten ERA40-Daten (1957 bis 2002) darstellen. Für ökologische, wasserbauliche Aspekte und für Aussagen zur Gewässergüte werden aus methodischen Gründen teilweise davon abweichende Referenzzeiträume verwendet. Im Ausblick auf die künftige Entwicklung des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf Gewässer betrachtet das Forschungsprogramm einheitlich die Projektionszeiträume von 2021 bis 2050 (nahe Zukunft) und von 2071 bis 2100 (ferne Zukunft).

KLIWAS fokussiert seine Forschungsaktivitäten auf die DAS-Handlungsfelder "Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz" und "Verkehr, Verkehrsinfrastruktur". Resultierend aus den Ergebnissen jedes Gliedes der Modellkette von KLIWAS lassen sich jedoch Bezüge zu fast allen Handlungsfeldern herstellen, vor allem auf Basis der Klima- und hydrologischen Modellierungen.

KLIWAS beteiligt **externe Akteure** bisher überwiegend über die Vernetzung mit unterschiedlichen nationalen Forschungsprogrammen (s. Kap. 3.5 der DAS); weiterhin eingebunden werden Akteure, die über potenzielle Anpassungsoptionen entscheiden (BMVBS) bzw. sie ausführen (WSV). Bisher stand dabei die Information und Diskussion über das methodische Vorgehen von

KLIWAS im Mittelpunkt. Auf KLIWAS-Projektebene bestehen partizipative Ansätze, die sich in Kooperationen und in der Bildung von gemeinsamen Arbeitsgruppen (Bund, Länder, Forschung) niederschlagen.

3 Bisher erzielte Ergebnisse und Erfahrungen bei der Umsetzung des integralen Ansatzes

Die beschriebene regionale Integration wird als richtiger Weg angesehen, zieht jedoch methodischen Abstimmungsaufwand nach sich. Aus Sicht des transdisziplinären Ansatzes und der methodischen Integration existieren Ergebnisse und Erfahrungen durch die (nicht erst seit KLIWAS) bestehende aktive Beteiligung der Oberbehörden in unterschiedlichen Forschungsprogrammen. Hier ist an erster Stelle die Kooperation mit dem europäischen Projekt ENSEMBLES zu nennen; ENSEMBLES-Ergebnisse werden konsequent im Multimodell-Ansatz genutzt. Darüber hinaus bestehen auf nationaler Ebene Beteiligungen u. a. an KLIWA (DWD, BfG), KLIMZUG (DWD, BAW), KfKI (BAW, BSH, BfG), GLOWA-Elbe (BfG). Die Ergebnisse von GLOWA-Elbe z. B. werden als Ergebnisse in KLIWAS integriert (ein statistisches Klimamodell als Teil einer Gesamtmenge von Modellen). Eine mit der Beteiligung an GLOWA-Elbe verbundene Erfahrung besteht darin, dass die öffentlichkeitswirksamen Präsentationen von solchen (vorläufigen!) Teilergebnissen der Klimafolgenforschung sich für KLIWAS schwierig gestalten. Schwierig zu vermitteln ist insbesondere die beträchtliche Spannweite möglicher zukünftiger Zustände, die aus dem Multimodell Ansatz resultiert. Potenzielle Anwender von Ergebnissen werden durch KLIWAS darüber informiert, dass die Einordnung der bisher erzielten (Teil-)Ergebnisse in ein Spektrum möglicher zukünftiger Klimazustände noch erfolgen muss. Diese Gesamtschau wird beispielsweise durch die DAS zusammengesetzt.

Einen großen Schritt in diese Richtung hat der KLIWAS-Beitrag zum Bericht der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) erreicht, der im November 2010 veröffentlicht wurde. Dort sind die Ergebnisse des integralen Ansatzes mit der Spannweite des Multimodell-Ansatzes zu Klima- und Abflussprojektionen nach Stand des Wissens für die o. g. Projektionszeiträume mit dem maßgeblichen wissenschaftlichen Einrichtungen der Rheinanliegerstaaten abgestimmt. Sie dienen nun der weiteren Szenarienbildung für politische Entscheider. Durch die "Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins" der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) vom April 2011 ist dieser Prozess weitergeführt worden.

Bezüglich der Entwicklung des globalen Meeresspiegelanstiegs sind - von der Grundlagenforschung - wichtige Vorraussetzungen zu klären. Dazu gehört insbesondere das Verhalten der kontinentalen Eisschilde von Grönland und der Antarktis. Der Wissenszuwachs führt dazu, dass die Aussagen zum Meeresspiegel von Zeit zu Zeit korrigiert werden müssen. Bislang weisen die Ergebnisse immer höhere Wasserstände aus. Das BSH und das Seewetteramt des DWD arbeiten in KLIWAS gemeinsam mit Forschergruppen an der Entwicklung von gekoppelten regionalen Ozean-Atmosphärenmodellen für die Nordsee, um die möglichen Modifikationen des globalen Meeresspiegelanstiegs durch atmosphärische und ozeanographische Zirkulationsphänomene aufzudecken. Die Entwicklung von (wasserbaulichen) Anpassungsoptionen trägt diesem Wissensdefizit Rechnung, indem vorerst in Sensitivitätsstudien zunächst bestimmte Beträge des Meeresspiegelanstiegs angesetzt werden. Diese Annahmen werden bei Vorlage der Ergebnisse der gekoppelten Modelle überprüft bzw. in die dann konkreter projizierte Spannweite "eingehängt".

Ein Beitrag zur Gestaltung von Governance-Prozessen ist das erwähnte Vorgehen mit KHR und IKSR. Weitere Aktivitäten in dieser Richtung werden zur Abstimmung der Szenarien zum Meeresspiegelanstieg mit niederländischen Institutionen und mit dem BMVBS verfolgt, außerdem durch Beteiligung am CIS-Prozess der EG-WRRL. Gemeinsame Untersuchungsprogramme sind mit Ländern zum Thema Gewässerhygiene abgestimmt. Elemente von partizipativen Verfahren werden derzeit nicht gezielt eingesetzt. Eine diesbezügliche stringente methodische Festlegung wird noch erarbeitet.

4 Künftige Arbeiten im Sinne des integralen Ansatzes

Die DAS stellt eine günstige Rahmenbedingung für KLIWAS dar. Dieser zwischen den Ressorts laufend abgestimmte Prozess unterstützt die handlungsfeld-, ebenen- und akteursgruppenübergreifenden Kooperationen von KLIWAS. Der im Laufe der DAS erkannte Abstimmungs- und Kooperationsbedarf geht allerdings über das zur Zeit der Formulierung des Forschungsprogramms im Jahr 2007/2009 eingeschätzte Maß weit hinaus. Die bereits begonnene Diskussion eines Forschungsprogramms zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel kann diese inhaltliche und verkehrsträgerübergreifende Anforderung erfüllen.

Der Multimodell-Ansatz in KLIWAS folgt den wesentlichen Empfehlungen des IPCC. Andere Forschungsprojekte und Programme sehen ihre Aufgabe darin, Klimaprojektionen einzelner Arbeitsgruppen (= Klimamodelle) für die Erarbeitung von Anpassungsoptionen anzuwenden und geben die Unsicherheiten auf der Ebene des jeweiligen Modells an. Die Ressortforschung hingegen wird im Sinne der Integration diese existierenden (Teil-)Ergebnisse aufnehmen und darüber hinaus verfügbare Modelle selbst betreiben und alle Erkenntnisse zu einem Gesamtbild zusammenführen und kommunizieren. Die vertiefte Einbindung der Wasserstraßenadministration in die konkrete Entwicklung möglicher Anpassungsoptionen steht an, darüber hinaus ist eine intensivere Beteiligung von Stakeholdern auch aus anderen Handlungsfelder der DAS erforderlich. Dazu gilt es, sich intensiv mit partizipativen Verfahren auseinanderzusetzen und die für das Forschungsprogramm KLIWAS geeigneten auszuwählen.

Die uns abverlangte Leistung zur Anpassung der Infrastruktur in Mitteleuropa an die zukünftigen klimatischen Bedingungen erfordert Konzentration, Ernsthaftigkeit und die dafür notwendigen Ressourcen. Das Forschungsprogramm KLIWAS leistet einen wesentlichen Beitrag zur sachlichen Diskussion der Klimafolgen für den Wassersektor und damit auch einen Beitrag zur

Reduzierung der Aufregungsschäden im Sinne des Soziologen Niklas Luhmann:

"Unsere moderne Gesellschaft hat im Horizont möglicher Katastrophen zu leben, und zwar ganz normal und unaufgeregt zu leben, sonst verschwinden die eventuellen Katastrophen zwar nicht, aber es kommen vermeidbare Aufregungsschäden hinzu".

Literatur

- BIERI, PETER (2005): "Wie wäre es, gebildet zu sein?", Festrede an der Pädagogischen Hochschule Bern vom 04. November 2005.
- BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR (1951): "Der Rhein Ausbau, Verkehr, Verwaltung", Rhein Verlagsgesellschaft, Duisburg 1951.
- INTERNATIONALE KOMMISSION FÜR DIE HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETES (2010): "Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick 2050 Project", Report No. I-23 of CHR, Lelystad 2010.
- INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DES RHEINS (2011): "Szenarienstudie für das Abflußregime des Rheins", Bericht Nr. 188, IKSR, Koblenz 2011.
- LUHMANN, NIKLAS (1987): "Sicherheit und Risiko aus der Sicht der Sozialwissenschaften", 4. Akademie Forum Die Sicherheit technischer Systeme, Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Westdeutscher Verlag 1987.
- NILSON, E., CARAMBIA, M., KRAHE, P., MAURER, T. & H. MOSER (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland (KLIWAS). In: 4. KLIWA-Symposium am 3. und 4. Dezember 2009 in Mainz. Fachvorträge. Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Berichte, Heft 15, S. 265–277.

- PARKINS, A. E. & J. R. WHITAKER (Ed.) (1939): "Our Natural Resources and Their Conservation", John Wiley & Sons, New York 1939.
- VIA DONAU, HRSG. (2005): Handbuch der Donauschifffahrt. ISBN 3-00-009626-4. 322 Seiten.

Die deutsche Klima- und Klimafolgenforschung – wo stehen wir?

Paul Becker (DWD)

1 Einleitung

Der sich gegenwärtig vollziehende Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen vor denen die Menschheit steht.

Stimmen die Berechnungen der Klimamodelle, so sind in absehbarer Zeit gravierende Folgen auch für Deutschland zu erwarten. Vor diesem Hintergrund gilt es, den gegenwärtigen Stand der Klima- und Klimafolgenforschung in Deutschland eingehend zu beleuchten und zu beurteilen.

2 Beobachtungsdaten

Für die Abschätzung von Unsicherheiten in Klimamodellläufen und für die hydrologische Modellierung sind Referenzdatensätze auf Basis von Messdaten unerlässlich. Diese Daten bilden die Basis zur Beurteilung von Klimaänderungen. Die Güte dieser Daten ist stark von der jeweilig gemessenen Größe und deren räumlicher Repräsentanz abhängig.

So ist bei der seit 1901 vorliegenden Jahresmitteltemperatur für Deutschland zu erkennen, dass seit 1988 alle Jahre – mit Ausnahme von 1996 und 2010 – über dem langjährigen Mittelwert liegen, also zu warm waren.

Die rezenten Veränderungen der Niederschlagsmengen über den Zeitraum von 1951 bis 2006 zeigen für die Jahreszeiten einen unterschiedlichen Trend. Während im Winterhalbjahr die mittleren Niederschlagsmengen deutlich zunahmen, kam es im Sommerhalbjahr zu einer leichten Abnahme. Am stärksten sind die winterlichen Trends in Nordwestdeutschland mit bis zu 32% Zunahme. Die übrigen Landesteile sind durch moderate Zunahmen von 8 bis 20% gekennzeichnet. Im Sommer ist das Bild nicht so eindeutig. Häufig sind negative Trends mit schwacher Signifikanz zu erkennen. In Ostdeutschland ist es im Mittel zu Abnahmen der Nieder-

schlagsmengen von 12% gekommen. Die Anzahl der Trockentage nahm speziell in den Sommermonaten um bis zu 5 bis 20% zu. Eine leichte Abnahme der Trockentage ist im Winter festzustellen (mit bis zu 10% in Süddeutschland).

Betrachtet man hingegen die Windgeschwindigkeit, so ist für den Standort Deutsche Bucht ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Jedoch besitzen Winddaten nur eine geringe räumlichen Repräsentanz und sind zumeist nur auf die nähere Umgebung der Messung übertragbar. Aus diesem Grund kann eine Generalisierung dieser Aussage für ganz Deutschland nicht getroffen werden.

Aus Messungen ist ebenfalls eine Erhöhung der Meeresoberflächentemperaturen erkennbar. Analysen der Häufigkeitsverteilungen der Temperaturen des Feuerschiffs "Deutsche Bucht" zeigen, dass niedrige Lufttemperaturen bis etwa 5 °C in den letzten 20 Jahren deutlich seltener und hohe Temperaturen ab etwa 17 °C häufiger geworden sind.

Was die Veränderungen bei extremen Ereignissen angeht, so ist festzuhalten, dass die Zahl heißer Tage (Tage mit einem Tagesmaximum der Lufttemperatur von mehr als 30 °C) deutschlandweit zugenommen hat. Besonders starke Zunahmen sind in Ostdeutschland auf derzeit im Mittel etwa 12 und im Rhein-Main-Gebiet auf im Mittel etwa 18 Tage pro Jahr zu beobachten. Bei der Zahl der Eistage (Tage mit einem Temperaturmaximum von weniger als 0 °C) ist hingegen keine signifikante Änderung zu beobachten. Die Zahl der Trockentage (Tage mit weniger als 1 mm Niederschlag) hat besonders im Sommer in Ostdeutschland stark zugenommen. Dort fällt im Vergleich zu der Dekade 1955-1964 heute an etwa 10 Tagen mehr im Jahr kein nennenswerter Niederschlag. Von winterlichen Trockenperioden ist ebenfalls Ostdeutschland am stärksten betroffen, jedoch sind die Änderungen nicht derart gravierend.

Die Wahrscheinlichkeit für Starkniederschläge (mehr als 30 mm pro Tag) ist in den letzten 50 Jahren ebenfalls angestiegen, wobei hier besonders ein vermehrtes Auftreten dieser Ereignisse im Winter auffällt.

Gerade weil den Beobachtungsdaten ein besonderer Stellenwert bei der Beurteilung projizierter Klimaänderungen zukommt, ist es wichtig, diese Datenbasis weiter auszubauen. Derzeit werden historische Informationsquellen in digitale Form überführt, um diese Daten für Validierungszwecke nutzbar zu machen. Zunehmend werden auch Satelliten- und Radardaten zur Validierung von Klimamodellen verwendet. Diese Datenarten haben den großen Vorteil, dass sie in einer sehr feinen räumlichen Auflösung erhoben werden können und somit eine sehr gute räumliche Erfassung kurzlebiger lokaler Ereignisse, beispielsweise konvektiver Extremniederschläge, ermöglichen. Dadurch können diese Daten als Referenz für die Evaluierung der Qualität von Klimamodellsimulationen bezüglich dieser Ereignisse dienen.

Es bleibt festzuhalten, dass generell eine gute Datenbasis für die Klimaüberwachung in Mitteleuropa vorhanden ist. Problematisch wird es zum Teil bei Größen, die eine hohe räumliche Variabilität aufweisen, beispielsweise kurzzeitige Starkniederschläge. Fernerkundungsverfahren wie Satelliten- und Radardaten ergänzen zunehmend in-situ Beobachtungen. Beispiele sind die Globalstrahlung aus Satellitendaten und der Niederschlag aus Radardaten. Diese Datenarten werden bei einer längeren zeitlichen Verfügbarkeit zunehmend zur Validierung von Klimamodellen herangezogen werden können.

3 Klimaprojektionen

Zur Abschätzung zukünftig zu erwartender Klimaveränderungen wird zunehmend auf den sogenannten "Ensemble-Ansatz' zurückgegriffen. Dahinter verbirgt sich eine Modellsuite von mehreren regionalen Klimamodellen, die durch mehrere globale Klimamodelle angetrieben werden.

Für jedes Emissionsszenario berechnen globale Klimamodelle das Klima für die gesamte Erde. Regionale Klimamodelle verfeinern die Rechenergebnisse für einzelne Gebiete. Ein Erfolg der intensiven Anstrengungen im Bereich der Klimaforschung in den vergangenen Jahren ist

die Erstellung einer Vielzahl neuer und unterschiedlicher regionaler Klimaprojektionsläufe. Die Vielfalt der Klimaprojektionen ermöglicht der Klima- und Klimafolgenforschung einen wissenschaftlich sachgemäßen Umgang mit stets vorhandenen Unsicherheiten und Spannbreiten.

Im Deutschen Wetterdienst wird derzeit ein Modellensemble aus 8 antreibenden globalen Klimamodellen und 11 regionalen Klimamodellen verwendet, wobei regionale Klimaprojektionen von aktuell 19 Modellkombinationen zur Auswertung herangezogen werden.

So projizieren beispielsweise 15% dieser Modellkombinationen für Deutschland für den Zeitraum 2071–2100 eine Temperaturänderung von weniger als +2 °C, 85% errechnen einen Anstieg der Temperatur von mehr als 2 °C.

Ebenfalls 85% der möglichen Modellkombinationen projizieren für den Zeitraum 2071–2100 eine Zunahme der winterlichen Niederschlagsmengen von bis zu 15%, wohingegen eine Abnahme der sommerlichen Niederschlagsmengen um bis zu 20% errechnet wird.

Wird die Anzahl heißer Tage (Maximumtemperatur von mindestens 30 °C) betrachtet, so ist für den Zeitraum 2071–2100 vor allem in Südwestdeutschland ein deutlicher Anstieg gegenüber dem Kontrollzeitraum 1971–2000 zu erwarten.

Nach jüngsten Ergebnissen wird die Meeresoberflächentemperatur in der Nordsee gegen Ende des Jahrhunderts um etwa 2,5 °C, in der Ostsee sogar um ca. 3 °C über den Temperaturen im Zeitraum 1970–1999 liegen.

Starkniederschlagsereignisse werden voraussichtlich vor allem in Norddeutschland deutlich in ihrer Häufigkeit zunehmen. Im Hinblick auf die Zahl der Winterstürme ist für ganz Deutschland mit einer vermutlich moderaten Zunahme bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zu rechnen.

3.1 Forschungsbedarf

Der wissenschaftliche und technologische Fortschritt bietet immer neue Möglichkeiten für verbesserte operationelle Beratungsleistungen, bspw. neue Satellitendaten, Jahreszeitenvorhersagen, Klimaprojektionen, Web-Mapping Services, hochaufgelöste Rasterdatensätze etc.

Der Bedarf an verlässlichen Aussagen zu Klimaentwicklungen im Bereich von Jahren bis hin zu Dekaden wächst ständig, da Planungshorizonte vor allem in der Wirtschaft, aber auch in Politik und Gesellschaft, in der Regel in der Größenordnung von 10 Jahren angesiedelt sind. Sie sind wesentliche Voraussetzung für eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Industrie und Gesellschaft an das zukünftige Klima. Im Rahmen der Fördermaßnahme "Mittelfristige Klimaprognosen", kurz MiKlip, soll ein Modellsystem geschaffen werden, um zu diesen Zeithorizonten verlässliche Aussagen zur Klimaentwicklung, den zu erwartenden Änderungen im Klima und seinen extremen Wetterausprägungen, zu gewinnen. Der Deutsche Wetterdienst spielt bei diesem Forschungsvorhaben eine wesentliche Rolle.

Zudem ist die bereits existierende Suite regionaler Klimamodelle mit den neuen IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) RCP-Szenarien validiert. Im Unterschied zu den SRES Szenarien wurden diese Szenarien nicht vom IPCC, sondern von der Wissenschaftsgemeinde in Selbstorganisation erarbeit. In einem ersten wichtigen Schritt wurden sogenannte "Repräsentative Konzentrationspfade" (Representative Concentration Pathways; RCPs) mit gekoppelten Energie-Ökonomie-Klima-Landnutzungs-Modellen (sogenannte Integrated Assessment Modelle) erstellt.

Auf Grundlage der RCPs werden nun mit Hilfe von Klimamodellen neue Projektionen möglicher Klimaveränderungen im 21. Jahrhundert und darüber hinaus berechnet. Die Ergebnisse dieser globalen Klimamodelle dienen dann wiederum als Antriebe für regionale Klimamodelle, so dass auch auf diesem Gebiet beträchtliche Anpassungen und Analysen zu leisten sein werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die langfristigen Klimaentwicklungen auf globaler und regionaler Skala inzwischen eine große Modelllandschaft zur Verfügung steht. Es fehlt jedoch ein Modellsystem zur Vorhersage der zu erwartenden Änderungen im Klima und seinen extremen Wetterausprägungen

auf einer Zeitskala von bis zu 10 Jahren. Diese Lücke zu schließen ist das Ziel des Förderprogramms "Mittelfristige Klimaprognosen (MiKlip)".

Auch bei den Klimaszenarienrechnungen geht die Entwicklung fortlaufend weiter. Eine wichtige Ergänzung der Klimaprojektionsrechnungen für den fünften IPCC-Sachstandsbericht wird die Berücksichtigung der anthropogenen Landnutzungsänderungen in den Klimaprojektionen sowie die dynamische Wechselwirkung zwischen Vegetation und Atmosphäre sein.

Dennoch wird es bei der Betrachtung des zukünftigen Klimas immer Unsicherheiten geben. Die Unsicherheiten in Klimaprojektionen stammen von Unsicherheiten über die zukünftigen Emissionen, Modellunsicherheit und Unsicherheiten durch natürliche Klimavariabilität.

Modellunsicherheiten können durch Verwendung unterschiedlicher Modelle und unterschiedlicher Modellphysik abgeschätzt werden.

4 Anpassung an den Klimawandel

Das Fundament für alle Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in Deutschland bildet die vom Bundeskabinett am 17.12.2008 beschlossene Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Die DAS – und ihre erste Fortschreibung "Aktionsplan Anpassung" im August 2011 – bilden einen integralen Ansatz zur Bewertung von Risiken und Handlungserfordernissen. Die DAS betrifft eine Reihe von unterschiedlichen Sektoren, neben der Wasserwirtschaft und dem Hochwasserschutz beispielsweise auch die Landwirtschaft, die Energiewirtschaft, die Forstwirtschaft und Fischerei, aber auch Belange der Raumentwicklung, des Bauwesens, der Verkehrsinfrastruktur und des Gesundheitswesens.

Nach einer Untersuchung des DWD für die Stadt Frankfurt am Main¹ wird sich beispielsweise die Zahl der Sommertage (Tage an denen die Tageshöchsttemperatur 25 °C erreicht oder überschreitet) bis zum Ende des Jahrhunderts voraussichtlich um 25 bis 60 Tage pro Jahr erhöhen. Dass solche Entwicklungen einschneidende Veränderungen in der kommunalen Bebauung und Infrastruktur nach sich ziehen müssen ist offensichtlich.

Ein Beispiel, auf welchen Sektoren bereits eine weitestgehende Anpassung an die zu erwartenden klimatischen Änderungen vorgenommen wurde, ist das bis auf Landkreisebene hinabreichende Hitzewarnsystem des DWD. Die geschätzte Zahl der "Hitzetoten" während des Rekordsommers 2003 in Deutschland betrug wahrscheinlich mehr als 7000. Nach Erkenntnissen des IPCC ist in Zukunft mit zunehmenden Wahrscheinlichkeiten ähnlich katastrophaler Ereignisse zu rechnen, so dass mit dem Hitzewarnsystem dem Bevölkerungsschutz eine seiner Bedeutung angemessene Plattform gegeben wurde.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Klimaservices des DWD den Anforderungen entsprechen. Insbesondere der Deutsche Klimaatlas (www.dwd.de/klimaatlas) bietet dem Nutzer eine Vielzahl an Informationen zu vergangenen, aktuellen und zukünftig zu erwartenden klimatischen Verhältnissen in Deutschland.

 $^{1\} mit\ dem\ Wirkmodell\ MUKLIMO_3\ (mikroskaliges\ urbanes\ Klimamodell)\ des\ DWD,\ angetrieben\ durch\ ein\ Ensemble\ von\ 3\ regionalen\ Klimaprojektionen\ auf\ Basis\ des\ SRES-Szenarios\ A1B$

KLIWAS – nationale und internationale wissenschaftliche Relevanz

Franz Nestmann (KIT) & Andreas Kron (KIT)

Einleitung

Das BMVBS-Verbundforschungsprogramm KLIWAS: "Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland" wurde initiiert, um verlässliche Prognosen über die Auswirkung der Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt und somit letztlich auf den künftig erforderlichen Wasserstraßenausbau und deren Unterhaltung zu erstellen. Das besondere Problem hierbei besteht darin, dass aufgrund der großen Parametervielfalt unterschiedlichster Einflüsse keine eindeutigen, in eine Zielrichtung orientierten Prognosen ableitbar sind. Zielsetzung in KLIWAS ist, unter Einbeziehung der Bereiche Klima und Umwelt, Hydrologie, Fließgewässerhydraulik, strömungsbedingter Feststofftransport, Ökologische Auswirkungen, etc. die Bandbreite der ableitbaren Folgen des Klimawandels als Entscheidungsgrundlage für den künftigen verkehrswasserbaulichen Ausbau bzw. die Unterhaltung und die Nutzung der Wasserstraßen quantitativ aufzeigen zu können.

In KLIWAS wurde von Anfang großer Wert auf eine straffe Struktur und Organisation gelegt, um allen beteiligten Partnern die Möglichkeit zu geben, in vorgegebenen Intervallen ihre Zwischenergebnisse und die dabei entstehenden Fragestellungen austauschen und diskutieren zu können. Um die laufenden Arbeiten sowie organisierte Workshops und Statuskonferenzen fachwissenschaftlich fundiert zu begleiten, wurde ein internationaler wissenschaftlicher Beirat einberufen, deren Kolleginnen und Kollegen gemäß ihrer fachlichen Ausrichtung den einzelnen Teilprojekten als Berater zugeordnet sind. Der wissenschaftliche Beirat begleitet das Forschungsprogramm KLIWAS von Anfang an mit großem Engagement und Interesse, da die hier aufgeworfenen fachwissenschaftlichen Fragestellungen nicht

nur für Wasserstraßen und Schifffahrt sondern auch für andere Bereiche unseres Lebensraumes und Belange der Umwelt von sehr großer Bedeutung sind. In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass diese Begleitung für den Erfolg des Gesamtprojektes von großem Wert ist. Einerseits werden so die Arbeitsabläufe innerhalb des Verbundprojektes in steter Weise durch die aktive Beratung unterstützt, andererseits kann durch den wissenschaftlichen Beirat auch die besondere fachwissenschaftliche und künftige technologische wie wirtschaftliche Bedeutung dieses Verbundprojektes in seiner Außenwirkung unterstützt werden. In diesem Lichte soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die Mitglieder des Beirats mit großer Motivation und Interesse diese wissenschaftliche Arbeit sehr gerne begleiten.

Strömungsbedingte Wechselwirkungen auf den Verkehrswasserbau

Im Verkehrswasserbau, wie in der gesamten Wasserwirtschaft, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten ein großer Wandel vollzogen aufgrund der Erkenntnis, dass die fachwissenschaftlichen Wechselwirkungen in den einzelnen Bereichen nicht isoliert sondern stets im Verbund mit allen anderen angrenzenden Fachdisziplinen stehen. Veränderungen im Fließgewässer, sei es durch direkte anthropogene Eingriffe in die Geometrie oder durch die in den letzten Jahrzehnten festgestellten Veränderungen der Abflussdynamik haben starken Einfluss auf die stete Veränderung des Gesamtsystems. Vor diesem Hintergrund hat sich der Wasserbau von seiner früheren Orientierung auf isolierte Einzeluntersuchungen, beispielsweise vorgegebene Fließgewässerabschnitte, einer stärker integralen Betrachtungsweise zugewendet.

Heutzutage sind Eingriffe in Gewässersysteme im Rahmen der bestehenden gesetzlichen Regularien durch eine breite Parameterbetrachtung unter Einbeziehung von Geometrie, Kinematik, Dynamik, Feststofftransport und Ökologie und Wasserqualität zu fundieren und in ihren Auswirkungen auf die Stabilität des Gesamtsystems zu bewerten. Das vorhandene Messnetz für

die unterschiedlichen relevanten Parameter bietet hierfür eine wesentliche Grundlage. Insbesondere der Verkehrswasserbau kann durch die jahrzehntelange Arbeit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes sowie den ihr zugeordneten Bundesoberbehörden auf einen extrem reichhaltigen, systematisch erhobenen Datenschatz sowie eine außerordentlich breite fachwissenschaftliche Erfahrungsbasis im Umgang mit diesen Daten zurückgreifen. So wird bei der Analyse und Bemessung von wasserbaulichen Anlagen seit langem nicht nur die Strömung allein sondern zudem die Interaktion der Strömung mit den Feststoffen der Fließgewässersohle berücksichtigt. Diese physikalisch komplexen Vorgänge können inzwischen zu einem Großteil in experimentellen Untersuchungen und in numerischen Strömungsanalysen quantifiziert und daraus auch langfristige Prognosen ihrer Änderung abgeleitet werden. Dennoch gibt es hier noch viele ungelöste Fragestellungen, die eine weitergehende fachwissenschaftliche Untersuchung unter anderem auch in der Natur erforderlich machen. Schließlich ist ein wirtschaftlicher und sicherer Betrieb der Schifffahrt nur auf Grundlage der Kenntnis der Fließgewässer- und Feststoffdynamik sowie der Prognose von Veränderungen möglich. Die hier angesprochenen Prozesse sind in Natur und Technik von großer Bedeutung und ihre Beherrschung ist fundamental auch für die Sicherung und Erhaltung unseres Lebensraumes. Neue wissenschaftliche Schwerpunkte sollten daher auch auf die Erforschung von Strömungsund Transportprozessen von Feinstkornagglomeraten (Pelloide und Schlamm) gelegt werden. Eine nachhaltige Nutzung von wasserbaulichen Anlagen (Kontrollbauwerke, Wasserfassungen, Hochwasserrückhaltebecken, etc.), die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Betriebes erfordern ein fachwissenschaftliches Verständnis und einen praxisgerechten Umgang mit den Sedimentations-, Erosions- und Transportprozessen solcher partikulärer Stoffe im Wasser.

Es bestehen aber weitere Forderungen aus dem Bereich von Ökologie und Umwelt, die im künftigen Umgang mit den Verkehrswasserstraßen, die letztlich allermeist in natürliche Fließgewässersysteme eingebunden

sind, zu stellen sind. Nachdem Feststoffe und Pflanzen bei der Erforschung von Strömungsphänomenen in der Umwelt nicht mehr wegzudenken sind, ist es folgerichtig, nun auch die aquatische Fauna wissenschaftlich fundiert einzubeziehen. Denn letztlich sind es die Tiere, die durch ihre Eigenmobilität die Gewässer der Erde besiedeln und sie als Lebensraum nutzen. Durch die Wasserbauwerke wird diese Mobilität dramatisch behindert, weswegen ingenieurtechnisch geschaffene Durchgängigkeitsbauwerke nicht nur an die Strömungs- und Feststofftransportdynamik anzupassen sind, sondern zuerst das Wanderverhalten der Fische direkt ermöglichen müssen. Die Entwicklung fischpassierbarer Bauwerke unter Einbeziehung des strömungsspezifischen Verhaltens von Fischen hat auf der Grundlage des neuen fachwissenschaftlichen Gebietes der Ethohydraulik ein herausragendes Alleinstellungsmerkmal. Durch gezielte ethohydraulische Untersuchungen konnten in jüngster Zeit auf der Grundlage des Zusammenwirkens von Oberbehörden des BMVBS mit Universitäten große Erfolge bei der Gestaltung, Planung und Bemessung von neuen Fischpassanlagen (als Vorbild sei der gerade in Betrieb genommene Fischpass in Geesthacht an der Elbe genannt) erarbeitet werden.

Wasser- und Energieressourcen im Lichte des Klimawandels

Es ist grundlegend, dass die Nutzung der Wasserressourcen zu einem großen Teil auch mit den Anforderungen an Energieressourcen verknüpft ist. Letztlich stehen der weltweit stetig ansteigende Energieverbrauch und der Bedarf an Wasserressourcen immer in einem direkten Zusammenhang mit Klimaänderungen. Die Nutzung der Wasser- und Energieressourcen erfolgt aus den Anforderungen der Gesellschaft heraus. Aus diesem Grund ist die gesamte Wasserwirtschaft innerhalb der Hydrosphäre unserer Erde von den Änderungen von Klima, Gesellschaft und Energie in starker Weise abhängig, bzw. steht mit diesen in einer direkten Wechselwirkung.

Zum künftigen Energiebedarf muss, mit Blick auf den heute bereits erfolgten Ressourcenverbrauch und den

daraus ableitbaren Folgen innerhalb unserer Hydrosphäre, festgestellt werden, dass die Stabilität unseres gesamten Lebensraumes für die Zukunft in zunehmenden Maße von einer umweltverträglichen Deckung des Gesamtenergiebedarfes abhängig sein wird. Sofern die Deckung dieses Energiebedarfs weiterhin mit dem stetig ansteigenden Ausstoß an CO2 verbunden sein wird, ist über die Kette des davon abhängigen weltweiten Temperaturanstieges und den daraus bereits heute quantifizierbaren Veränderungen des Wasserhaushaltes eine starke Rückwirkung und Beeinflussung aller Technologien zu sehen, die in ihrem Betrieb auf die Nutzung des bestehenden Wasserhaushaltes zurückgreifen. So wird der "Lastfall Klimaänderung" in der Hydrologie und Hydraulik bereits heute quantifiziert berücksichtigt, beispielsweise in der Ermittlung von Klimaänderungsfaktoren. Dabei werden über Extremwertanalysen der Ergebnisse regionaler Klimamodelle Faktoren ermittelt, mit denen die Hochwasserscheitelabflüsse regionalspezifisch erhöht werden müssen um auch zukünftige Ereignisse abbilden zu können. Darauf aufbauend können in Hochwassermodellen die Auswirkungen auf lokale Hochwasserparameter (Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten etc.) ermittelt werden. Da sich aber alle Analysemethoden einerseits ständig fortentwickeln, auf der anderen Seite die Parametervielfalt auf Grund des Hinzukommens interdisziplinärer Anforderungen (wie beispielsweise zuvor benannt aus Umwelt- und Klimaforschung) auch weiterhin zunehmen wird, ist mit einer zunehmenden Komplexität der Zusammenhänge und letztendlich auch mit einer größeren Unsicherheit komplexer Vorhersagen zu rechnen.

Beispiele für Klima bedingte Folgemaßnahmen in Vietnam

Der Klimawandel und seine Folgen sind nicht nur ein regionales sondern ein globales Thema, so dass auch bei der Durchführung des Verbundforschungsprogrammes KLIWAS bedacht werden sollte, dass die künftig daraus abgeleiteten Erkenntnisse und Ergebnisse auch für den Umgang mit den Gewässersystemen anderenorts

von Bedeutung sein können. Jeder fachwissenschaftliche Erkenntnisvorsprung auf diesen Gebieten könnte so künftig auch Grundlage internationaler Zusammenarbeit sein, wie sich am Beispiel des Masterplanes zum Hochwasserschutz der Metropole Ho-Chi-Minh-Stadt in Süd Vietnam zeigen lässt. Die nahe der Küste gelegene, mit mehr als 7 Millionen Einwohnern größte Stadt Vietnams unterliegt stark dem Einfluss des innerhalb dieses Jahrhunderts prognostizierten Meereswasseranstieges von 1,5 m und mehr. Dies würde für viele Bereiche von Ho-Chi-Minh-Stadt bedeuten, dass sie künftig teilweise unter Wasser liegen und, noch gravierender, auch dem Einfluss von Sturmfluten ausgesetzt sein wird. Auf dieser Grundlage plant man derzeit einen Gürtel von Sturmflutsperrwerken mit insgesamt 12 Bauwerken, die untereinander mit Deichen verbunden sind. Im Rahmen dieser Planung ist für ein Sperrwerk auch die Passage von Schiffen vorgesehen, weswegen als Planungsgrundlage die Auslegung des Ems-Sperrwerkes herangezogen wird. Über das Tu-Bo-Sperrwerk soll letztendlich Ho-Chi-Minh-Stadt mit dem in südwestlicher Richtung gelegenen Mekong-Delta verbunden werden. Die geplante Schifffahrtsroute durch das Mekong-Delta durchschneidet dabei orthogonal die Mündungsarme des Mekong-Flusses und soll eine Verbindung zu zwei Hafenstädten im Mekong-Delta herstellen. Hierbei besteht wegen der erforderlichen großen Gründungstiefe von weit mehr als 80 Metern durch pelloidartigen Untergrund eine große Unsicherheit in der Auslegung und Bemessung dieses Bauwerkes. Zur Lösung der damit verbundenen Fragestellungen erfolgt bereits eine Zusammenarbeit zwischen vietnamesischen und deutschen Fachleuten, um eine Machbarkeitsstudie dafür zu erarbeiten.

In diesem Zusammenhang soll aber auch noch auf eine andere Wechselwirkung hingewiesen werden, die nicht aus Klima bedingten Meereswasserspiegelanhebungen entsteht, sondern durch den Ausbau des Mekong-Flusses mit einer Staustufenkette anthropogen verursacht wird. Im oberen und mittleren Bereich des Mekong-Flusses sind derzeit zahlreiche Staustufen in Planung und zum Teil auch schon im Bau, die allesamt so konzipiert sind, dass die Stauwurzel der Bauwerke je-

weils bis in das Unterwasser der oberliegenden Staustufe reichen soll. Die Staustufen werden zum Zwecke der Energieerzeugung, für die Nutzung des Wassers in Landwirtschaft und Industrie sowie für die Wasserversorgung errichtet. Die daraus ableitbare künftige Veränderung des Abflussregimes des Mekong im Hinblick auf die Veränderungen der Abflussganglinien sowie des Sedimenttransportes werden extreme Belastungen des gesamten Mekong-Deltas herbeiführen. So werden die unteren und mittleren Abflussereignisse im Mekong durch die Wasserentnahme reduziert und die Hochwasserereignisse durch die dann künstlich erfolgende Regelung der Kontrollbauwerke gewiss verstärkt werden. Darüber hinaus wird der Rückhalt des Sedimenttransportes unter anderem für das Mekong-Delta zu einer Abnahme der dort bisher abgelagerten Feststoffe führen, wodurch sich letztendlich die Erosionsprozesse im gesamten Mekong-Delta-Gebiet verstärken werden. Daraus kann weiterhin gefolgert werden, dass bei Zunahme des Anstieges des mittleren Meereswasserspiegels große Gebiete des Mekong-Deltas unter der Wasseroberfläche verschwinden werden. Bei alledem muss berücksichtigt werden, dass das Mekong-Delta die Reiskammer Vietnams darstellt, sein Rückgang auch den Verlust einer lebenswichtigen Existenzgrundlage für das Land Vietnam bedeuten könnte.

Dieses wie viele weitere mögliche Beispiele zeigt auf, wie bedeutungsvoll die in Deutschland erarbeiteten fachwissenschaftlichen Grundlagen innerhalb des Verkehrswasserbaus und der Wasserwirtschaft auch für die Zusammenarbeit und die Unterstützung im internationalen Blickfeld sind bzw. sein können.

Aktuelle Querbezüge

Das Niederländische Delta im 21. Jahrhundert

Marcel J. F. Stive, (Technische Universität Delft), Louise O. Fresco (Universität Amsterdam), Pavel Kabat (Universität Wageningen), Bart W.A. H. Parmet (Ministerium für Infrastruktur und Umwelt) & Cees P. Veerman (Universität Tilburg)

Kurzfassung

Vor kurzem hat ein niederländisches staatliches Komitee (auch bekannt als das 2. Delta-Komitee) weitreichende Empfehlungen darüber ausgesprochen, wie die niederländische Sturmflut-/Hochwassersicherheit über das nächste Jahrhundert und darüber hinaus aufrechterhalten werden sollte, vor dem Hintergrund der Tatsache, dass ein möglicher Klimawechsel zu einem schnelleren Anstieg des Meeresspiegels und erhöhten Abflüssen führen könnte. In diesem Beitrag werden die Empfehlungen des Komitees mit Bezug auf Impulse aus nationalen und internationalen Debatten vorgestellt und erläutert. Die Empfehlungen des Komitees beruhen auf der Notwendigkeit, die Sicherheitsstandards unter Berücksichtigung von Wirtschaftswachstum und Gruppenunfallrisiko zu erhöhen. Das Komitee unterstützte die grundlegende Prämisse des 1. Delta-Komitees (1953), dass die Risikoanalyse die Grundlage dafür ist. Die wichtigste Schlussfolgerung besteht darin, dass der Schutz der Niederlande, wo zwei Drittel des wirtschaftlichen Wertes und die Hälfte der Bevölkerung unterhalb der Meeresspiegelhöhe angesiedelt sind, sowohl technisch als auch wirtschaftlich machbar ist. Eine derartige Vorgehensweise könnte auch für andere tief gelegene Gebiete nützliche Elemente enthalten.

1 Einführung

Die Niederlande sind ein dicht besiedeltes Land mit einer prosperierenden, offenen Wirtschaft, die zum großen Teil in tief liegenden Küstengebieten angesiedelt ist. Die niederländische Nordseeküste ist etwa 350 km lang. Der

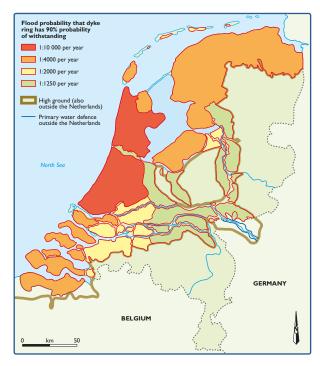


Abb. 1. Sichereitsstandards nach gültigem Recht (1995, Gesetz zur Wassersicherstellung); Bemerkung: diese Standards beziehen sich auf eine 90%ige Wahrscheinlichkeit, dass die Deichringe einer 1 in x Wahrscheinlichkeit des Entwurfswasserspiegels widerstehen können (siehe Kasten 1 für weitere Informationen)

größte Teil der Bevölkerung lebt direkt an der Küste, in den tief gelegenen Gebieten der Niederlande unterhalb des Meeresspiegels. Diese Region ist das wirtschaftliche Zentrum des Landes. Fast 9 Millionen Menschen leben in diesem Teil der Niederlande, im Schutz von Deichen und Dünen entlang der Küste, der wichtigsten Flüsse und der Seen. Rund 65% des Bruttosozialprodukts, etwa 350 Milliarden Euro pro Jahr, werden hier generiert. Die bedeutendsten Häfen und Flughäfen an oder nahe der Nordsee sind lebenswichtige Knotenpunkte im internationalen Verkehrsnetz und wichtige Standorte für die Güter- und Dienstleistungsindustrie. Schätzungen des möglichen gegenwärtigen und zukünftigen wirtschaftlichen Schadenspotenziales durch Überflutungen in den tief liegenden Gebieten sind im Kasten 1 enthalten.

Kasten 1: Mögliche gegenwärtige und zukünftige wirtschaftliche Schadenspotenziale durch Überflutungen

Das Zentrale Statistische Büro der Niederlande schätzt das nationale Vermögen auf das Fünffache des nationalen Einkommens, ohne Berücksichtigung der ökologischen, landschaftlichen und kulturellen Werte (Van Tongeren & Van de Veen 1997). Auf der Grundlage dieser Annahme betrug das nationale Vermögen im Jahr 2007 etwa 2.750 Milliarden Euro. Da geschätzte 65% dieses Vermögens in Gebieten liegt, in denen es zu Überflutungen kommen kann, beträgt das Gesamtvermögen, das potentiell von Überflutungen bedroht ist, um die 1.800 Milliarden Euro. Der tatsächliche oder reale wirtschaftliche Schaden durch Überflutung, falls ein Überflutungsschutzsystem (oder ein Teil davon) ausfallen würde, wurde mit zwischen 10 und 50 Milliarden Euro für jeden einzelnen, durch einen Deich geschützten Bereich geschätzt; diese Bereiche werden als Deichringe bezeichnet. Es gibt 53 Deichringe in den Niederlanden und ihre Schutzniveaus basieren auf einer 90%igen Wahrscheinlichkeit, den jeweiligen Bemessungswasserständen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 1:10.000 bis 1:1.250 pro Jahr stand zu halten (siehe Abb. 1). Dies bedeutet, dass die Überflutungswahrscheinlichkeit zwischen 1:100.000 und 1:12.500 pro Jahr variiert. Mit der Identifizierung anderer Schadensmechanismen als Wellenüberschlag und/oder Überlaufen, insbesondere z. B. Röhrenbildung (z. B. New Orleans) wird jetzt heftig darüber diskutiert, wie realistisch diese Zahlen einer Überflutungswahrscheinlichkeit wirklich sind. Aus diesem Grund schlägt das Delta-Komitee (2008) vor, die Wahrscheinlichkeiten der Bemessungswasserstände für den gegenwärtigen Zeitpunkt als Überflutungswahrscheinlichkeiten zu interpretieren. Diese Interpretation ist durch die Tatsache motiviert, dass es in der Praxis und auf der Grundlage neuer Erkenntnisse über Überflutungs-

szenarien (Jonkman 2007; 2008) höchst unwahrscheinlich ist, dass die (größten) eingedeichten Bereiche vollständig überflutet werden. Der Ort an dem und die physischen Umstände, unter denen ein Deich bricht, stellen einen merklichen Unterschied beim daraus resultierenden wirtschaftlichen Schaden dar. Außerdem hängt der von einer Überflutung verursachte Schaden von der Größe des überfluteten Gebiets, der Wassertiefe in diesem Bereich und der Dauer der Überflutung ab. AERTS et al. (2008) schätzten, dass der wirtschaftliche Schaden durch Überflutung aller Deichringe etwa 190 Milliarden Euro betragen würde, beruhend auf der Differenzierung je nach Wassertiefe je eingedeichtem Bereich. Das betrifft sowohl direkten als auch indirekten Schaden. Der geschätzte potentielle zukünftige Schaden würde, falls überhaupt keine Maßnahmen ergriffen würden, im Jahr 2040 auf 400 bis 800 Milliarden Euro anwachsen und auf 3.700 Milliarden Euro im Jahr 2100 bei einem Anstieg des Meeresspiegels von 24 bis 60 cm im Jahr 2040 und von 150 cm im Jahr 2100. Die Einflussfaktoren, welche die Berechnungen des geschätzten potentiellen zukünftigen Schadens bestimmen, sind Wirtschaftswachstum kombiniert mit einem indirekten Schaden. Vor der Katastrophe des Orkans Katrina wurde der potentielle Schaden in New Orleans auf 16,8 Milliarden US Dollar oder 12,3 Milliarden Euro geschätzt. Nach der Katastrophe stellte sich heraus, dass alleine der direkte Schaden an Wohnhäusern, Regierungsgebäuden und öffentlicher Infrastruktur 27 Milliarden US Dollar oder 19,7 Milliarden Euro betrug (IPET 2008), was beweist, dass es von wesentlicher Bedeutung ist, die Zahlen für wirtschaftliches Wachstum und indirekte Schäden regelmäßig zu aktualisieren.

Die Niederlande haben eine lange und abwechslungsreiche Geschichte des Hochwassermanagements an Küsten und Flüssen. Die Erwartung eines beschleunigten Klimawandels während des 21. Jahrhunderts hat die Nachfrage nach nachhaltigen Lösungen für die Verwundbarkeit der Küsten wieder erneuert. Im September 2008 hat ein staatliches Komitee (Delta-Komitee 2008), das von der Regierung im September 2007 einberufen wurde, eine Reihe von Empfehlungen ausgesprochen, durch die die Niederlande für das nächste Jahrhundert überflutungssicher gemacht werden sollten. Neben dem Thema Überflutung wurden auch niedrige Wasserstände der Flüsse und die Verfügbarkeit von Süßwasser angesprochen. Dieser Beitrag stellt einige der Erkenntnisse vor und erläutert sie. Zuvor aber weisen wir auf den Paradigmenwechsel hin, der für die Durchführung weitreichender Empfehlungen zur Überflutungssicherheit vor dem Hintergrund eines möglichen beschleunigten Klimawandels in der modernen, kritisch reflektierenden Gesellschaft erforderlich ist.

2 Paradigmenwechsel

Der Paradigmenwechsel im Ansatz des Wasser- und Küstenmanagements, der in den vergangenen Jahrzehnten erkennbar wurde, stellt eine große Herausforderung für das kommende Jahrhundert dar. Wurde in der Vergangenheit die Herausforderung als "Kampf" mit den Naturgewalten verstanden, so verfolgt der heutige Ansatz die vielen anderen Themen neben dem Küstenund Hochwasserschutz, insbesondere die vielfachen ökologischen Kräfte, die berücksichtigt werden müssen und zur Unterstützung der Schutzprozesse beitragen können. Während diesem Thema in der westlichen Welt bereits seit etwa zwei Jahrzehnten Aufmerksamkeit geschenkt wurde, wird es nun zunehmend auch in der nichtwestlichen Welt erkannt, insbesondere in den Wachstumsländern. Das bedeutet, dass Wasser- und Küstenmanagement sowohl inter- als auch trans-disziplinär geworden sind (WATERMAN 2008).

3 Das staatliche Komitee zur nachhaltigen Entwicklung der niederländischen Küstenregion

Das staatliche Komitee (auch als 2. Delta-Komitee bekannt, nach dem 1. Delta-Komitee, das nach dem Hochwasser von 1953 eingerichtet wurde, oder Komitee Veerman, nach dem Vorsitzenden des Komitees, dem früheren Minister Veerman) legte weitreichende Empfehlungen (siehe Kasten 2) darüber vor, wie der niederländische Hochwasserschutz über das nächste Jahrhundert oder sogar darüber hinaus angesichts eines möglichen Klimawandels, der zu einem schnelleren Anstieg des Meeresspiegels und zu wachsenden Abflüssen führen kann. aufrecht erhalten werden soll. Das Komitee wurde nicht als Reaktion auf eine Überflutungskatastrophe eingerichtet, im Gegensatz zu allen früheren staatlichen Komitees, die nur eingerichtet wurden, nach dem das Land von mehreren schweren Überschwemmungen in den Jahren 1916 und 1953 betroffen worden war. Zweifellos gab es Auslöser, zum Beispiel die Debatte in den Niederlanden über die Verzögerung bei der Erhöhung der Sicherheitsstandards wie sie im Wasserschutzgesetz von 1955 festgelegt wurden, oder die Überflutung von New Orleans (2005) und die Debatte über den Klimawandel. Die Arbeit des Komitees zeigt die Bedeutung eines weitreichenden und langfristigen vorbeugenden Ansatzes. Die Empfehlungen des Komitees beruhen auf der Notwendigkeit, die Sicherheitsstandards unter Berücksichtigung von Wirtschaftswachstum und Gruppenunfallrisiko zu erhöhen, denn das bedeutet, dass das Land "mehr zu verlieren hat". Das Komitee unterstützte die grundlegende Prämisse des 1. Delta-Komitees (1953), dass die Risikoanalyse die Grundlage ist. Die wichtigste Schlussfolgerung besteht darin, dass der Schutz der Niederlande, wo zwei Drittel des wirtschaftlichen Wertes und die Hälfte der Bevölkerung unter Meeresspiegelhöhe angesiedelt sind, sowohl technisch als auch wirtschaftlich machbar ist, wenn er langfristig und flexibel geplant wird. Ein derartiges Vorgehen könnte auch für andere tief gelegene Gebiete nützliche Elemente enthalten.

Kasten 2: Insgesamt 12 konkrete Empfehlungen werden ausgesprochen (3 nationale und 9 regionale, siehe Abb. 2 und 3; Quelle: Delta-Komitee 2008)

Empfehlung 1: Die Standards des Überflutungsschutzes

Bis 2050 müssen die gegenwärtigen Überflutungsschutzstandards aller eingedeichten Bereiche um den Faktor 10 verbessert werden. Zu diesem Zweck müssen die neuen Standards so bald wie möglich festgelegt werden (etwa 2013). In einigen Gebieten, in denen ein noch besserer Schutz erforderlich ist, ist ein sogenanntes Delta-Deich-Konzept vielversprechend (diese Deiche sind entweder so hoch oder so breit und massiv, dass die Wahrscheinlichkeit eines plötzlichen und unkontrollierbaren Deichbruchs praktisch gleich Null ist). Im Hinblick auf spezifische oder örtliche Bedingungen wird dies einen maßgeschneiderten Ansatz erfordern. Alle Maßnahmen zur Verbesserung der Überflutungsschutz-Standards müssen vor 2050 durchgeführt werden.

Nach 2050 müssen die Überflutungsschutz-Standards regelmäßig aktualisiert werden.

Empfehlung 2: Neue Stadtentwicklungspläne

Die Entscheidung, ob in tief gelegenen, überflutungsgefährdeten Orten gebaut werden kann, muss auf der Grundlage einer Kosten-Nutzen-Analyse erfolgen. Sie muss die gegenwärtigen und zukünftigen Kosten aller Beteiligten berücksichtigen. Kosten, die aus lokalen Entscheidungen resultieren, dürfen nicht an eine andere Verwaltungsebene weitergegeben werden und auch nicht an die Gesellschaft als Ganzes. Sie müssen von denen getragen werden, die Vorteile von diesen Plänen haben.

Empfehlung 3: Gebiete außerhalb der Deiche

Neue Entwicklungen in ungeschützten Gebieten, die außerhalb der Deiche liegen, dürfen die Abflusskapazität eines Flusses oder die zukünftigen Wasserspiegel in Seen nicht beeinträchtigen. Die Anwohner/Nutzer selbst sind für die Maßnahmen verantwortlich, die notwendig sind, um nachteilige Konsequenzen zu vermeiden. Die Regierung spielt in diesen Gebieten eine unterstützende Rolle durch Verbreitung öffentlicher Informationen, Festlegung von Baustandards und Hochwasserwarnungen.

Empfehlung 4: Die Nordseeküste

Bis 2050: Bauen mit der Natur. Vor den Küsten von Zeeland, Holland und den Inseln des Wattenmeeres wird der Hochwasserschutz durch Strandaufspülungen (siehe Abb. 4) aufrechterhalten, möglicherweise mit der Verlagerung von Prielen. Strandaufspülungen müssen so ausgeführt werden, dass sich die Küste im nächsten Jahrhundert ins Meer hinein erweitern kann (effektiv bedeutet das Landgewinnung an der Nordsee). Das wird einen erheblichen Mehrwert für die Gesellschaft erbringen. Sandgewinnungsgebiete in der Nordsee müssen in naher Zukunft reserviert werden. Die ökologischen, wirtschaftlichen und energetischen Anforderungen, die für die Aufspülung so großer Volumina erfüllt werden müssen, sind zu untersuchen.

Nach 2050: Die Strandaufspülungen werden fortgesetzt – entweder mehr oder weniger Sand wird benötigt, abhängig vom Anstieg des Meeresspiegels.

Empfehlung 5: Bereich des Wattenmeeres

Die Strandaufschüttungen entlang der Nordseeküste können dazu führen, dass sich das Wattenmeer an den Anstieg des Meeresspiegels anpasst. Das Bestehen des Wattenmeeres wie wir es zurzeit kennen ist jedoch keineswegs sicher und hängt vom tatsächlichen Anstieg des Meeresspiegels in den kommenden 50 bis 100 Jahren ab. Die Entwicklun-

gen werden im internationalen Rahmen überwacht und analysiert werden müssen.

Der Schutz der Inselpolder und von Nordholland muss sichergestellt bleiben.

Empfehlung 6: Südwestdelta: Ostschelde

Bis 2050: Die Sturmflutsperre der Ostschelde behält ihre Funktion. Der Nachteil der Sperre ist ihre Beschränkung der Tidebewegung und folglich der Verlust intertidaler Gebiete. Dies muss durch zusätzliche Strandaufspülungen von außen (d. h. vom äußeren Delta) ausgeglichen werden.

Nach 2050: Die Lebensdauer der Sturmflutsperre der Ostschelde wird durch technische Maßnahmen verlängert. Dies kann bis zu einem Anstieg des Meeresspiegels um etwa 1 m (frühestens im Jahr 2075) geschehen. Wenn die Sturmflutsperre der Ostschelde nicht mehr ausreicht, wird nach einer Lösung gesucht, die auf umfassende Weise die Gezeitendynamik mit ihrem natürlichen Ästuarsystem wiederherstellt und gleichzeitig Hochwasserschutz bietet.

Empfehlung 7: Südwestdelta: Westschelde

Die Westschelde muss ein offenes Gezeitensystem bleiben, um das wertvolle Mündungsgebiet und den Schifffahrtsweg nach Antwerpen aufrecht zu erhalten. Der Hochwasserschutz muss durch Verstärkung der Deiche aufrechterhalten werden.

Empfehlung 8: Südwestdelta: Krammer-Volkerak Zoommeer

Bis 2050: Es muss sichergestellt werden, dass das Krammer-Volkerak Zoommeer, zusammen mit Grevelingen und möglicherweise auch Ostschelde zeitweilig überschüssiges Wasser aus Rhein und Maas speichern können, wenn der Abfluss zum Meer durch geschlossene Sturmflutsperren blockiert ist.

Ein Salzgradient (ein natürlicher Übergang zwischen Süß- und Salzwasser) in diesem Bereich ist eine zufriedenstellende Lösung für das Problem der

Wasserqualität und kann neue ökologische Möglichkeiten eröffnen. In diesem Fall muss ein alternatives Süßwasser-Versorgungssystem entwickelt werden.

Empfehlung 9: Das Gebiet der größten Flüsse

Bis 2050: Die Programme Room for the River (siehe Abb. 5) und Maaswerken (Maasarbeiten) müssen unverzüglich durchgeführt werden. Vorbehaltlich einer Kosteneffizienz müssen bereits jetzt Maßnahmen zur Bewältigung von Abflüssen von 18.000 m³/s von Rhein und 4.600 m³/s von der Maas getroffen werden. In diesem Zusammenhang wird es notwendig sein, Verhandlungen mit Nachbarstaaten unter der Europäische Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken zu führen, um die Maßnahmen zu harmonisieren. Außerdem muss Platz reserviert und, wenn nötig, Land erworben werden, damit es für das Flusssystem möglich wird, sichere Abflüsse für 18.000 m³/s Rheinwasser und 4.600 m³/s Maaswasser zu schaffen.

2050–2100: Abschluss der Maßnahmen zur Bewältigung von Abflüssen des Rheins von $18.000 \, \text{m}^3/\text{s}$ und der Maas von $4.600 \, \text{m}^3/\text{s}$.

Empfehlung 10: Rijnmond (Mündung des Rheins)

Bis 2050: Für die Rheinmündung bietet ein offenes System, das in Notfällen geschlossen werden kann, gute Aussichten dafür, Hochwasserschutz, die Versorgung mit Süßwasser, Stadtentwicklung und die Entwicklung der Natur in dieser Region miteinander verbinden zu können. Die extremen Abflüsse von Rhein und Maas müssen dann über das südwestliche Delta umgeleitet werden (siehe Abb. 6).

Die Versorgung mit Süßwasser für die westlichen Niederlande wird vom Ijsselmeer erfolgen müssen. Die erforderliche Infrastruktur muss gebaut werden. Es muss Platz für die lokale Speicherung in tiefen Poldern geschaffen werden. Weitere Forschungsarbeiten für das "schließbare – offene" Rijnmond-System müssen durchgeführt werden.

Empfehlung 11: Bereich des Ijsselmeers

Der Wasserspiegel des Ijsselmeers wird um maximal 1,5 m angehoben. Dadurch wird die natürliche Vorflut vom Ijsselmeer ins Wattenmeer über 2100 hinaus ermöglicht. Der Wasserspiegel des Markermeers wird nicht angehoben. Das Ijsselmeer behält seine strategische Funktion als Süßwasserreservoir für die nördlichen Niederlande, Nordholland und, angesichts des Fortschreitens der Salzzunge im Nieuwe Waterweg, für die westlichen Niederlande.

Bis 2050: Durchführung von Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserspiegels, was schrittweise erfolgen kann. Das Ziel muss darin bestehen, etwa um 2050 das größtmögliche Süßwasserreservoir zu erreichen. Die Maßnahmen, die erforderlich sind, um die niedrigeren Wasserstände des Flusses Ijssel und des Zwarte Water an einen um 1,5 m höheren Wasserstand im Ijsselmeer anzupassen, sind zu untersuchen.

Nach 2050: Abhängig von dem angewandten schrittweisen Vorgehen könnten Nachfolgemaßnahmen erforderlich sein, um einen maximalen Anstieg des Wasserspiegels um 1,5 m durchzuführen.

Empfehlung 12: Politisch-administrativ, gesetzlich, finanziell

- 1. Die politisch-administrative Organisation unserer Wassersicherheit sollte folgendermaßen gestärkt werden:
- Übernahme einer zusammenhängenden nationalen Ausrichtung und regionalen Verantwortung für die Ausführung (ministerieller Lenkungsausschuss unter Vorsitz des Premierministers, politische Verantwortung beim Minister für Verkehr, öffentliche Arbeiten und Wassermanagement, Delta-Direktor für Kohäsion und Fortschritt, regionale Verwalter für die Interpre-

- tation und Durchführung der (jeweiligen) regionalen Kompetenzen);
- Einrichtung eines ständigen Parlamentsausschusses für den Bereich.
- 2. Garantierte Finanzierung durch:
- die Schaffung eines Delta-Fonds, der vom Finanzminister verwaltet wird;
- Einzahlungen in den Delta-Fonds durch eine Kombination aus Anleihen und dem Transfer (eines Teils) der Erlöse für Erdgas;
- Verfügbarmachung von nationalen Finanzmitteln und Schaffung von Regeln für Entnahmen aus dem Fonds.
- 3. Ein *Delta-Gesetz* wird die politisch-administrative Organisation und die Finanzmittel im gegenwärtigen politischen System und im gegenwärtigen gesetzlichen Rahmen verankern. Dies muss in jedem Fall den Delta-Fonds und seine Versorgung beinhalten sowie die Aufgaben und die Autorität des Direktors, die Bestimmung, dass das *Delta-Programm* erstellt werden muss, Regelungen für den strategischen Landerwerb und einen Ausgleich für Schäden oder den allmählichen Verlust von Vergünstigungen aufgrund der Durchführung von Maßnahmen unter dem *Delta-Programm*.

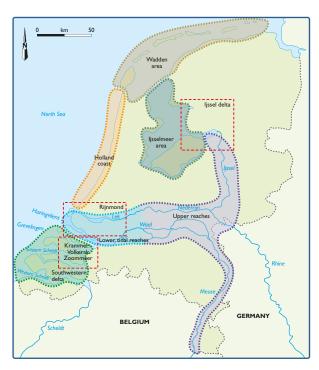


Abb.2: Herausforderungen in den verschiedenen Regionen

Risiko-basierter Ansatz

Die Großbauwerke, wie die vom 1. Delta-Komitee eingeführten Sturmflutsperrwerke, waren neuartig und eindrucksvoll, aber was sich als visionärster Aspekt der Delta-Arbeiten erweisen könnte, ist der statistische Ansatz, der dem Entwurf zugrunde lag. Wie hoch sollten die Deiche gebaut werden? Wie stark sollte ein Sturmflut-Sperrwerk sein? Die Niederländer beschlossen, dass ihre Antworten auf diese Fragen nicht nur auf der Tatsache beruhen sollten, dass Stürme zerstörerisch sind und die Niederlande tief gelegen, sondern auch auf quantitativen Wirtschaftswissenschaften. Mit der Hilfe des renommierten niederländischen Mathematikers David van Dantzig (Van Dantzig 1956) berechnete die Arbeitsgruppe von 1953 Sicherheitsniveaus unter Verwendung einer Gleichung, die inzwischen von den meisten Ingenieuren angewandt wird:

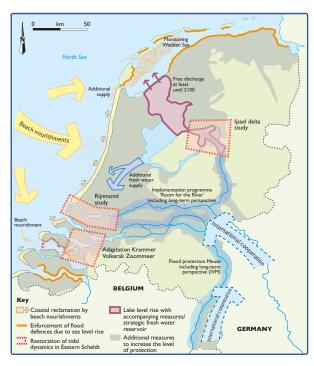


Abb. 3: Ein Eindruck von den Empfehlungen des Delta-Komitees

Risiko = (Wahrscheinlichkeit des Versagens) ×(prognostizierte Schadenskosten)

Diese Art der Risikoanalyse ist heute üblich auf Gebieten wie Atomkraft, Luft- und Raumfahrt und chemische Industrie. Aber damals in den 50er Jahren war die Berechnung der prognostizierten Schadenskosten bei der Entwicklung des Hochwasserschutzes etwas Neues. Die Stärke dieser einfachen Formel liegt darin, dass sie zu wirtschaftlich vernünftigen Entscheidungen für die öffentliche Sicherheit führt: Geringerer Wert, geringerer Schutz (wobei bisher die Kosten von Personenschäden nicht direkt berücksichtigt werden). Das niederländische Recht schreibt jetzt vor, dass dieses Prinzip zur Bestimmung der Stärke von Hochwasserschutzanlagen im ganzen Land angewandt wird. Seitdem wird für den Deichring, der die wirtschaftlich dynamische Provinz Süd-Holland gegen Überflutung aufgrund extremer Sturmfluten und/oder extremer Abflüsse schützt, ein Sicher-



32

Abb.4: Die Küstenerweiterung bei Rotterdam

heitsniveau von 1:10.000 gefordert. Für eher ländliche Bereiche der Niederlande werden Sicherheitsniveaus von nur 1:1.250 oder darunter gefordert (siehe Abb. 1). Das Grundprinzip, das zu den variablen Schutzniveaus führt, ist van Dantzigs (1956) Kriterium der wirtschaftlichen Optimierung: Erstreben der geringsten gesellschaftlichen Kosten durch Summierung der Investitionen und der potentiellen geschätzten Schäden.

Die Folge davon ist – obwohl sich nicht alle niederländischen Bürger darüber im Klaren sein mögen – dass ihre Regierung ungleiche Schutzgrade akzeptiert und sogar gesetzlich festgelegt hat, was Ingenieure euphemistisch als "Differenzierung" bezeichnen. Dies geschieht auf Grundlage der Tatsache, dass nicht alle Orte nach demselben Standard geschützt werden können und dass individuelle Kosten gegen kollektive Kosten abgewogen werden müssen.

Sicherlich haben die USA unterschiedliche Schutzniveaus im ganzen Land, aber es gibt einen Unterschied zwischen einer Disparität de facto und einer ausdrücklich von der Regierung festgelegten Politik der Ungleichheit. Stellen Sie sich vor, der US-Kongress oder das Army Corps of Engineers würde empfehlen, das French Quarter und die Innenstadt von New Orleans mit Niveau 10.000-Jahre zu schützen, aber die wirtschaftlich weniger produktive Gemeinde St. Bernard nur mit Schutzniveau 100-Jahre. Die Anwendung des niederländischen, auf Risiko beruhenden Modells wäre politisch chancenlos, wenn

nicht sogar verfassungswidrig, und die Bemühungen des Army Corps of Engineers würden nach kürzester Zeit von einer Armee von Rechtsanwälten gestoppt.

Aktualisierung der Standards

Die Sicherheitsstandards gegen Überflutung auf der Grundlage des Risiko-Ansatzes müssen aber überdacht werden, weil sowohl das individuelle als auch das Gruppenrisiko von Personenschäden (Todesfällen) bei Überflutung viel höher ist als das aufgrund anderer externer Risiken (Jonkman 2007, 2008). Aus diesem Grund empfiehlt das 2. Delta-Komitee eine Entscheidung für eine Erhöhung des Schutzniveaus um einen Faktor 10; es wird geschätzt, dass dies das Mindest-"No-regret"-Niveau zur Verringerung des erwähnten Personenschaden-Risikos ist. Konkret bedeutet das, dass bei der Interpretation der gegenwärtigen legalen Risikoniveaus die Überflutungswahrscheinlichkeiten auf Grundlage eines vollen Risiko-Ansatzes (siehe auch Kasten 1) von 1:100.000 bis zu 1:12.500 pro Jahr variieren sollten.

Klimawandel

Um eine gewisse Vorausschau auf langfristige Entwicklungen zu haben, war das Delta-Komitee bestrebt, auf der Grundlage jüngster wissenschaftlicher Erkenntnisse zu arbeiten. Daher beauftragte das Komitee ein Team namhafter nationaler und internationaler Klimaexper-



Abb. 5: Raum für den Fluss Ijssel

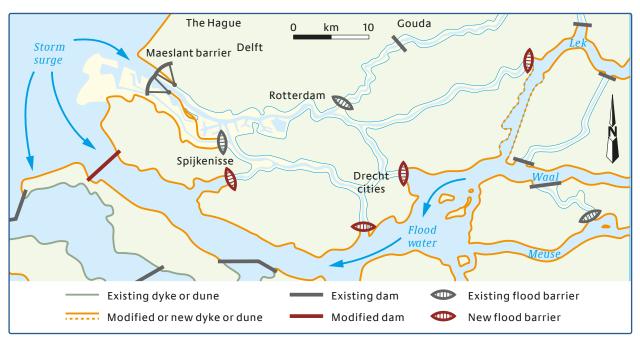


Abb.6: Rijnmond Sturmflutsperren

ten, unter ihnen IPCC-Verfasser, die zum neuen Vierten Sachstandsbericht (Fourth Assessment Report) beigetragen haben (KATSMAN et al. 2011, Kok et al. 2008 und VEL-LINGA et al. 2008), die bestmögliche Schätzung des erwarteten globalen und regionalen (z. B. Nordatlantik) Anstiegs des Meeresspiegels und der Niederschlagsintensitäten vorzulegen, wobei letzteres zu einem Anstieg der Abflüsse führen könnte. Ihre aktualisierten Ergebnisse der Klimamodellierung zeigen ein wahrscheinliches Spektrum von Obergrenzen für die erwarteten Klimaveränderungen: der Anstieg des Meeresspiegels an unserer Küste bis zum Jahr 2100 könnte, im Vergleich zu 1990, 65 bis 130 cm erreichen, einschließlich isostatischer Bewegungen und Senkungen. Es ist klar, dass diese Obergrenzen nicht die wahrscheinlichste Situation im Jahr 2100 darstellen, wie auch vom Königlichen Meteorologischen Institut der Niederlande erklärt wurde. Diese Zahl ist dennoch relevant, da sie einen Extremfall darstellt, für den das Komitee dann versucht, eine Antwort zum wichtigsten Thema zu finden, nämlich: Können die Niederlande im Fall des extremsten Szenarios überflutungssicher gehalten werden? Deshalb wurden in der Beratung des Komitees die Szenarios von höchster Qualität in Erwägung gezogen, so dass eine überzeugende positive Antwort ("ja") auf wissenschaftlicher Grundlage gegeben werden konnte.

Kosten

- Die Durchführung des gesamten, vom Delta-Komitee vorgeschlagenen Maßnahmenpakets des Delta-Programms wird bis zum Jahr 2050 jährlich 1,2 bis 1,6 Milliarden Euro kosten und im Zeitraum 2050 bis 2100 jährlich 0,9 bis 1,5 Milliarden Euro.
- Diese Summe beinhaltet nicht die jährlichen Beträge für Unterhaltung und Management im Zusammenhang mit Hochwasserschutz und Süßwasserversorgung. Zurzeit summiert sich dies auf etwa 1,2 Milliarden Euro pro Jahr für die Zentralregierung, die Wasserwirtschaft und die Provinzen. Die Gesamtkosten,

die mit der Anpassung an den Klimawandel und der Sicherung eines verbesserten Schutzes ansteigen, betragen bis 2050 2,4 bis 2,8 Milliarden Euro jährlich.

■ Zusätzliche 0,1 bis 0,3 Milliarden Euro jährlich werden erforderlich, wenn die Strandaufspülung des Delta-Programms für den Hochwasserschutz erweitert wird, so dass in hundert Jahren die Nordseeküste von Holland und Zeeland zum Beispiel um 1km ins Meer hinein verlängert wird, um neues Land zu Erholungszwecken, für die Natur und für andere Funktionen zu schaffen. Das resultiert in Kosten für das Delta-Programm für den Zeitraum 2010 bis 2050 von 1.3 bis 1,9 Milliarden Euro pro Jahr, und für den Zeitraum 2050 bis 2100 von 1,2 bis 1,8 Milliarden Euro jährlich. Einschließlich Management und Unterhaltung betragen damit die Gesamtkosten, die mit der Anpassung an den Klimawandel und der Sicherung eines verbesserten Schutzes ansteigen, bis 2050 2,5 bis 3,1 Milliarden Euro jährlich.

In absoluten Zahlen stellt das eine riesige finanzielle Investition dar, aber sie beläuft sich auf nur etwa 0,5 % des gegenwärtigen jährlichen Bruttosozialprodukts der Niederlande. Die Kosten einer integrierten Wassersicherheit für die Zukunft der Niederlande sind also weit davon entfernt, nicht tragbar zu sein.

Die zentrale Botschaft des Komitees ist, dass die Niederlande selbst mit den extremsten Schätzungen des Anstiegs des Meeresspiegels und der Abflüsse fertig werden können, die von der wissenschaftlichen Gemeinschaft auf der Grundlage gegenwärtigen Wissens als möglich eingeschätzt werden. Die Empfehlungen des Komitees sind machbar, was Zeit, Wissen und wirtschaftliche Mittel angeht. Außerdem führen die Maßnahmen zu mehr als nur zu Sicherheit, d. h., wenn sie auf vernünftige Weise durchgeführt werden, führen sie zu mehr räumlicher Qualität, einer vielfältigeren Natur und einem Zugewinn an anderen sozio-ökonomischen Werten wie einer ausgeglichenen Entwicklung der Städte und der Erholungsräume, der Landwirtschaft, der Süßwasserversorgung und möglicherweise sogar

der Energiegewinnung. Und, falls der Meeresspiegel weniger schnell steigt als erwartet, gestattet diese Vorgehensweise, Maßnahmen zu verzögern oder abzumildern und daher die Ausgaben anzupassen.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Empfehlungen des Delta-Komitees wurden zum Gegenstand aktiver und oft hitziger öffentlicher, politischer und akademischer Debatten. Spiegeln diese Empfehlungen in ausreichendem Maße die großen Unsicherheiten über zukünftige Änderungen wider, insbesondere was das Klima und die Erhöhung des Meeresspiegels betrifft? Das Delta-Komitee führt ein Konzept plausibler Szenarien eines sehr hohen Meeresspiegelanstiegs ein, und testet dabei die Machbarkeit der Aufrechterhaltung der Verteidigungsstrategie der 53 Deichringe, die sich sowohl technisch als auch wirtschaftlich als positiv erwiesen hat. Sie gehen Hand-in-Hand mit No-regret-Maßnahmen, die flexibel und der Situation angepasst sind: Schrittweise Maßnahmen zur Anpassung des Hochwasserschutzes, die jetzt ergriffen werden können und die robust genug sind, um zukünftige neue Erkenntnisse über den Klimawandel zu berücksichtigen. Ein Beispiel für diese Maßnahmen sind die Sandaufspülungen entlang der Küstenlinie, um sie vor Erhöhungen des Meeresspiegels zu schützen. Das Wichtigste ist, nicht abzuwarten, sondern jetzt zu beginnen, sowohl mit der Einrichtung des Fonds und einer Durchführungsstelle, aber das kann - auf langsamere oder schnellere Weise - über viele Jahre hinweg geschehen, zusammen mit einer sorgfältigen Überwachung des tatsächlichen Grades der Erhöhung des Meeresspiegels und unter Berücksichtigung der jeweils neuesten Szenarien der Erhöhung des Meeresspiegels und der Abflüsse. Die Unsicherheit, mit der die Klimaszenarien behaftet sind, ist kein Grund, überhaupt nichts zu tun.

Der Fall der Niederlande zeigt ganz klar, dass auch mit der bestehenden Unsicherheit, was das Klima der Zukunft betrifft, wirtschaftlich tragfähige und vernünftige Investitionen in Anpassungsmaßnahmen im Gewässerbereich und darüber hinaus getätigt werden können, wenn diese vorausschauenden Interventionen flexibel und nach und nach durchführbar sind und wenn sie die Aussicht bieten, dass kurzfristig etwas in der Regionalplanung und -entwicklung getan werden kann. Das Ergebnis ist, dass das Thema Klima allmählich nicht mehr nur als Bedrohung sondern als Chance betrachtet wird. Zusammen mit innovativen Lösungen, Technologien und Übergängen auf der Grundlage "Bauen mit der Natur", die sich zusehends gemeinsam mit diesem Paradigma entwickeln, stellt dies eine wichtige Gelegenheit zu einem schnelleren Übergang für unser wertvolles und sehr empfindliches Delta in eine nachhaltigere Zukunft dar.

Wie David Wolman in der Illustrierten Wired (WOLMAN 2008) sagte: "Inzwischen kommt das Wasser. Die Niederländer stellen sich der Bedrohung der globalen Erwärmung, bevor irgendjemand nasse Füße bekommt. Sie zeigen der Welt, dass man, um sich auf die Erhöhung des Meeresspiegels und andere Auswirkungen des Klimawandels vorzubereiten, paradoxerweise kein Natur-beherrschendes Draufgängertum braucht, sondern Geduld, gute Daten und – vor allem – eine langfristige Perspektive."

Literatur

- AERTS, J., SPRONG, T. & B. BANNINK (EDS.) (2008): Aandacht voor veiligheid (in Dutch: Attention for Safety). BSIK Klimaat voor Ruimte, DG Water, The Hague, 2008, Report 009/2008, 200p; (http://www.klimaatvoorruimte. nl and http://www.deltacommissie.com/doc/Aandacht% 20voor%20veiligheid%20.pdf).
- Delta Committee (2008): Working together with Water, Findings of the Deltacommissie, Secretariat Delta Committee, The Hague, 2008; 135 p; (http://www.deltacommissie.com/doc/deltareport_full.pdf).
- HOPPE, R. & S. HUIJS (2003): Werk op de grens tussen wetenschap en beleid: paradoxen en dilemma's (in Dutch: Working on the edge between science and policy: paradoxes and dilemmas). RMNO, The Hague, 2003; (http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:doc. utwente.nl:46243).

- INTERAGENCY PERFORMANCE EVALUATION TASKFORCE (IPET 2008): Peformance Evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System. Army Corps of Engineers, Maryland/West Virginia, 2008, Vol. 1: Executive summary and Overview, 282 p; (https://ipet.wes.army.mil/).
- JONKMAN, S. N., STIVE, M. J. F. & J. K. VRIJLING (2005): New Orleans is a lesson to the Dutch, Editorial. Journal of Coastal Research, 21(6) November 2005; xi–xii.
- JONKMAN, S. N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment theory and applications. PhD thesis, Delft, 2007, 354 p; (http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3Abc4fb94555ef-4079-a606-ac4fa8009426/).
- JONKMAN, S. N. (2008): Schattingen Groepsrisico t.b.v. advies Deltacommissie (in Dutch: Group risk estimates commissioned by the Delta Committee). Report 9T6387. A0/NN0001/902968/, Rotterdam, 2008.
- KAMPHUIS, J. W. (2006): Beyond the limits of coastal engineering. Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering. Ed J. Smith, World Scientific, San Diego, pp 1938-1950; (http://civil.queensu.ca/people/faculty/kamphuis/publications/documents/Limits04.pdf).
- KATSMAN, C. A., STERL, A., BEERSMA, J., VAN DEN BRINK, H. W., CHURCH, J. A., HAZELEGER, W., KOPP, R. E., KROON, D., KWADIJK, J., LAMMERSEN, R., LOWE, J., OPPENHEIMER, M., PLAG, H.-P, RIDLEY, J., VON STORCH, H., VAUGHAN, D. G., VELLINGA, P., VERMEERSEN, L. L. A, VAN DE WAL, R. S. W., WEISSE, R. (2011): Exploring highend scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta the Netherlands as an example, accepted for publication Climatic Change, 2011.
- KOK, M., JONKMAN, B., KANNING, W., RIJCKEN, T. & J. STIJNEN (2008): Toekomst voor het Nederlandse polderconcept. Technische en financiële houdbaarheid (in Dutch: Future for the Dutch polder concept. Technical and financial sustainability). TU Delft, HKV-Lijn

in Water, Royal Haskoning. Studie commissioned by the Deltacommissie, 2008; (http://www.deltacommissie.com/doc/Toekomst%20voor%20het%20Nederlandse%20 Polderconcept.pdf).

- PEREIRA, A. G. & S. FUNTOWICZ (2005): Quality assurance by extended peer review: tools to inform debates, dialogues & deliberations. Technikfolgenabschätzung Theorie und Praxis 14(2): 74–79.
- SAEIJS, H. L. F., SMITS, A. J. M., OVERMARS, W. & D. WILLEMS (EDS) (2004): Changing Estuaries, Changing Views. Erasmus University Rotterdam, Radboud University, Nijmegen, 2004, 53 p.; (http://repub.eur.nl/res/pub/1850/ESM-2004-005.pdf).
- TEN BRINKE, W. B. M. & B. A. BANNINK (2004): Risico's in bedijkte termen, een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen (In Dutch: Dutch dikes and risk hikes. A thematic policy evaluation of risks of flooding in the Netherlands). RIVM rapport 500799002; Beleidsmonitor Water, 242 p. (In Dutch) (http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500799002.html).
- VAN TONGEREN, D. & P. VAN DE VEEN (1997): De Nationale Balans en de Overheidsbalans (in Dutch: The National Balance and the Government Balance), Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen,1997, Report P-32,

M & O.006, 27 p; (http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/ F7AEA517-5B8D-4EA5-8946-C48426F3F9E7/0/mo006.pdf).

- VAN DANTZIG, D. (1956): Economic decision problems for flood prevention, Econometrica, 24, 276–287.
- VELLINGA, P., KATSMAN, C. A., STERL, A., BEERSMA, J. J., CHURCH, J. A., HAZELEGER, W., KOPP, R. E., KROON, D., KWADIJK, J., LAMMERSEN, R., LOWE, J., MARINOVA, N., OPPENHEIMER, M., PLAG, H. P., RAHMSTORF, S., RIDLEY, J., VON STORCH, H., VAUGHAN, D. G., VAN DER WAL, R. S. W. & R. WEISSE (2008): Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands. International Scientific Assessment carried out at request of the Delta Committee, 2008, Scientific Report WR-2009-

- 05, KNMI/Alterra, the Netherlands; (http://www.knmi. nl/bibliotheek/knmipubWR/WR2009-05.pdf).
- WATERMAN, R. E. (2008): Integrated Coastal Policy via Building with Nature. 2nd edn. The Hague, 2008, 449 p; (www.ronaldwaterman.com).
- WOLMAN, DAVID (2008): Before the levees break: A plan to save the Netherlands. Wired Magazine, issue 17-01, 2008; (http://www.wired.com/wired/issue/17-01).

Klimawandel regional betrachtet – Förderaktivitäten des BMBF im Kontext zu KLIWAS-Aktivitäten

Katrin Ellwardt (BMBF) & Paul Dostal (DLR)

1 Einleitung

Der Klimawandel und die anthropogen verursachten Umweltveränderungen veranlassen die Bundesregierung globale Verantwortung zum Schutz unserer Umwelt zu übernehmen und die Zukunft aktiv mit zu gestalten. Im Kontext der Hightech-Strategie 2020 (BMBF 2010), der Deutschen Anpassungsstrategie (Bundesregie-RUNG 2008) und des Aktionsplanes Anpassung (BUNDES-REGIERUNG 2011) setzt das BMBF gezielt Förderschwerpunkte. Hier stehen der Klimawandel und seine Auswirkungen auf nationaler und regionaler Ebene in Zentraleuropa im Mittelpunkt. Zu diesen Förderschwerpunkten gehören die beiden Fördermaßnahmen KLIMZUG (Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten) und MiKlip (Mittelfristige Klimaprognosen). Eine vergleichbare Rolle wie die o.g. Fördermaßnahmen nimmt das BMVBS mit dem Forschungsprogramm KLIWAS (Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen) ein. Die sich daraus ergebenden Schnittpunkte, die durch eine engere inhaltliche Verknüpfung dieser Forschungsprogramme einen Synergieeffekt darstellen können, werden im vorliegenden Artikel dargestellt.

2 Fördermaßnahmen des BMBF im Bereich von Klimaanpassungsstrategien und Klimaforschung seit 2008

Gesellschaftliche, ökonomische und technische Entwicklungen führen weltweit zu Veränderungen in Klima und Umwelt. Damit verändern sich die Lebensbedingungen auf der Erde, die zu weitreichenden Problemen führen können – z. B. die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen wie Luft, Wasser, Nahrung, Lebensgrundlagen. Es verändern sich aber auch die sozialen und ökonomischen

Lebensgrundlagen. Diesen Veränderungen steht Deutschland als Betroffener, Mitverursacher und Problemlöser gegenüber. Im Zuge der Hightech Strategie 2020, der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) und dem Aktionsplan Anpassung (APA) kommt das BMBF dieser Aufgabe nach und hat dazu speziell Fördermaßnahmen ins Leben gerufen, die sich mit der Forschung zu Klimaanpassungsstrategien und Klimawandel im Allgemeinen befassen. Die aktuellen Forschungsprojekte sind die Fördermaßnahmen KLIMZUG (www.klimzug.de 2008) und MiKlip (www.fona-miklip.de 2011). Diese Fördermaßnahmen haben einen starken regionalen Bezug und liefern Ergebnisse, die von hohem Interesse für ähnlich gelagerte Forschungsprojekte sind. Dies trifft im Besonderen auf das vom BMVBS geförderte Forschungsprogramm KLIWAS (KLIWAS 2009a) zu. Im vorliegenden Artikel werden die BMBF-Fördermaßnahmen und ihre Schnittpunkte zu KLIWAS vorgestellt.

3 Die Fördermaßnahme KLIMZUG

KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten:

Ziel ist es, für sieben ausgewählte Modellregionen in Deutschland innovative Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu entwickeln. Der Förderzeitraum beträgt fünf Jahre (2008–2014, einige Projekte starteten dabei erst 2009). Diese orientieren sich individuell an den konkreten lokalen Anforderungen der jeweiligen Modellregionen. In regionalen Planungs- und Entwicklungsprozessen sollen die erwarteten Klimaänderungen rechtzeitig und adäquat berücksichtigt werden. In Abbildung 1 sind die sieben KLIMZUG-Verbundprojekte aufgelistet und verortet. Die Projekte, die eine hohe Relevanz für das KLIWAS-Programm darstellen, werden unten ausführlicher beschrieben.

KLIMZUG-nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten:

nordwest 2050 entwickelt Innovationspfade, um den Nordwesten Deutschlands robuster gegenüber dem Klimawandel zu gestalten. Auf Basis einer regionalen

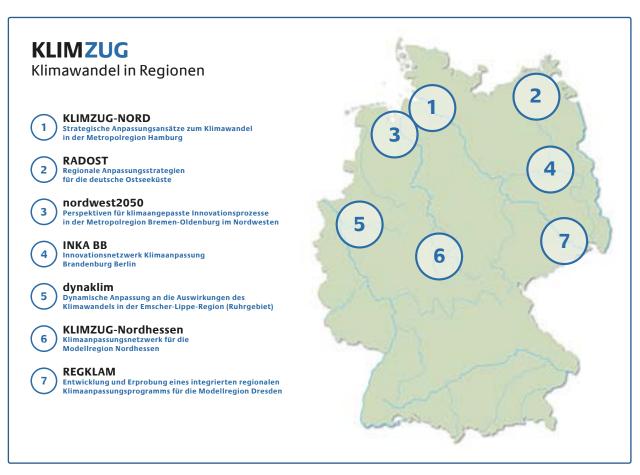


Abb. 1: Die sieben KLIMZUG-Verbünde und ihre lokale Verortung in Deutschland

Vulnerabilitäts- und Innovationspotenzialanalyse werden exemplarisch in den für die Region wesentlichen Wirtschaftsbereichen (Ernährung, Energie, Hafen/Logistik) Innovationsprozesse angestoßen und in eine "Roadmap of Change" für die gesamte Region mit Zeithorizont 2050 überführt. www.nordwest2050.de.

KLIMZUG-RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste:

RADOST befasst sich mit den Veränderungen und den daraus entstehenden Problemen an Küsten und im Meer, die durch den Klimawandel hervorgerufen werden. Die Forschungsthemen umfassen: Küstenschutz,

Tourismus und Strandmanagement, Gewässermanagement und Landwirtschaft, Häfen und maritime Wirtschaft, Naturschutz im Zusammenhang mit Nutzungen sowie erneuerbare Energien. Gemeinsam mit den Praxispartnern umgesetzte Anwendungsprojekte dienen zur beispielhaften Realisierung von Anpassungsmaßnahmen und zeigen zudem ökonomische Chancen innovativer Antworten auf den Klimawandel auf. www.klimzug-radost.de.

KLIMZUG-NORD – Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg:

In diesem Verbundprojekt arbeiten Partner aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Behörden und Unternehmen an der Entwicklung abgestimmter Handlungskonzepte zur Minderung der Klimafolgen, die in einem Masterplan Klimafolgen-Management für den Zeithorizont 2050 gebündelt werden. Die Forschungsschwerpunkte in der dynamischen Metropolregion Hamburg mit über vier Millionen Einwohnern liegen in den Bereichen Wasserhaushalt, Hochwasserschutz, Stadtplanung, Landwirtschaft, Naturschutz und Ökonomie. www.klimzug-nord.de.

4 Schnittpunkte zwischen KLIMZUG und KLIWAS

Die drei oben beschriebenen KLIMZUG-Verbünde untersuchen innerhalb ihrer Forschungsprojekte Teilaspekte, die eine gute thematische Übereinstimmung mit Projekten des KLIWAS-Programmes aufweisen.

RADOST – KLIWAS-Vorhaben 5 Gewässerzustand Binnen

Der Verbund RADOST untersucht in einem Teilprojekt die Gewässerqualität unter dem Gesichtspunkt landwirtschaftlicher Prozesse. Im Anwendungsprojekt "Minderung von Nährstoffen in Retentionsbecken" werden Nährstoffe (auch Dränabflüsse genannt), die aus der Landwirtschaft in Flusssysteme eingetragen werden, durch Retentionsbecken abgefangen. Dadurch wird nährstoffärmeres und damit Wasser mit besserer Güte in ein Flusssystem geleitet.

Einen ähnlichen thematischen Schwerpunkt setzt das Vorhaben 5 im KLIWAS-Programm. Hier werden ebenfalls Monitoringuntersuchungen vorgenommen, um klimawandelbedingte Gewässerbelastungen nachvollziehen zu können. Daraus sollen dann entsprechende Anpassungsmaßnahmen abgeleitet werden. Durch einen Austausch der ersten Ergebnisse zwischen den beiden Projekten ergeben sich für den Erhalt der Wassergüte in betroffenen Flusssystemen potentielle Synergieeffekte.

Nordwest2050 - KLIWAS-Projekt 3.01 Schifffahrt

Das Forschungsziel von KLIWAS ist, mögliche Klima bedingte Änderungen der Abflüsse und Wasserstände für Binnenwasserstraßen abzuschätzen. Im Projekt Schifffahrt (3.01) (KLIWAS 2009e) werden mit Hilfe von Klimamodellstudien die marinen und atmosphärischen Veränderungen bestimmt und ihre Konsequenzen besonders für die Schifffahrt untersucht. Hier können die Untersuchungen des KLIMZUG-Vorhabens nordwest 2050 von großem Nutzen sein. Nordwest2050 führt sogenannte Vulnerabilitätsstudien durch, um in speziell ausgesuchten Wirtschaftskreisläufen die Schwachstellen zu identifizieren die durch den Klimawandel auftreten können. Hier steht u. a. die Hafen- und Logistikwirtschaft im Fokus der Untersuchungen. Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung von geeigneten Anpassungsmaßnahmen um die Auswirkungen des Klimawandels zu mitigieren oder gänzlich zu vermeiden. Zum Beispiel können durch Extremereignisse (Hochwasser aber auch Niedrigwasser durch Dürre wie im Herbst 2011 in Deutschland) die Logistikprozesse in einem Industriehafen vollständig zum Erliegen kommen. Auf solche Situationen muss die Hafenwirtschaft vorbereitet sein. Die Untersuchungen im Projekt 3.01 von KLIWAS können die Studien von nordwest 2050 sehr gut ergänzen. Besonderes Augenmerk wird im Vorhaben "Schifffahrt" auf extreme Seegangsereignisse gerichtet, da diese erhebliche Schäden in der Schifffahrt und an Offshore-Bauwerken verursachen können, aber bislang von der operationellen Vorhersage nicht erfasst werden. Von diesen operationellen Vorhersagen kann auch die Hafen- und Logistikwirtschaft profitieren und bei Extremereignissen rechtzeitig mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen reagieren.

KLIMZUG Nord – KLIWAS-Vorhaben 2 und 3

Die Nutzung der norddeutschen Küstenregionen wird sich in den nächsten Jahrzehnten weiter intensivieren. Der Bevölkerungsanteil dieser Regionen wird zunehmen und die ökonomische Bedeutung weiter steigen. Einhergehend mit diesem Wachstum werden sich auch die Anforderungen an den Küstenschutz erhöhen. Mit einer



Abb. 2: Thematische Schnittpunkte zwischen den Fördermaßnahmen KLIMZUG und KLIWAS

sich verändernden Tidedynamik der Elbe und der zunehmenden Verschlickung von Hafenflächen tritt der Bedarf eines angepassten und nachhaltigen Ästuarmanagements in das Blickfeld wissenschaftlicher Aktivitäten. Besonders unter der Berücksichtigung diverser Szenarien des klimatischen Wandels mit höheren Wasserständen und stärkeren Windgeschwindigkeiten müssen der regionalen Entwicklung angepasste, flexible Hochwasserschutzmaßnahmen für Küstenregionen sowie umweltverträgliche strömungsbeeinflussende Maßnahmen entwickelt werden (KLIMZUG-Nord, Teilprojekt 1.3). Einen ähnlichen Schwerpunkt setzen die Projekte Wasserbau (2.04) und Anpassungsoptionen (3.02) des KLIWAS-Programmes (KLIWAS 2009b,c). Zusammen mit Projekt 3.02 verfolgt das Projekt Wasserbau das Ziel, eine für Wasserstraßen, Häfen und Küstenschutz optimierte Datenbasis von Klimaänderungsinformationen zu schaffen. Daraus sollen Methoden entwickelt werden, die das Erproben von Anpassungsoptionen ermöglichen.

Bei der Entwicklung von Anpassungsoptionen setzen KLIMZUG Nord sowie KLIWAS auf eine verbesserte Datenbasis, um die ausgewählten Anpassungsoptionen einer belastbaren Überprüfung unterziehen bzw. anhand dieser Grundlage die beste Anpassungsmaßnahme treffen zu können.

Ein Kooperationsschwerpunkt zwischen KLIMZUG Nord und KLIWAS könnte sein, die gewählten Anpassungsoptionen gegenüberzustellen und einer entsprechenden vergleichenden Evaluation zu unterziehen. Hier ergibt sich ein hohes Synergiepotential bei der Verknüpfung dieser Vorhaben.

In Abbildung 2 sind in einer Graphik die Schnittpunkte zwischen KLIMZUG und KLIWAS übersichtlich dargestellt.

5 Die Fördermaßnahme MiKlip

Der Bedarf an verlässlichen Aussagen zu Klimaentwicklungen im Bereich von Jahren bis hin zu Dekaden wächst ständig, da Planungshorizonte vor allem in der Wirtschaft, aber auch in Politik und Gesellschaft, in der Regel in der Größenordnung von 10 Jahren angesiedelt sind. Sie sind wesentliche Voraussetzung für eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Industrie und Gesellschaft an das zukünftige Klima.

Im Rahmen der Fördermaßnahme "Mittelfristige Klimaprognosen", kurz MIKLIP, soll ein Modellsystem geschaffen werden, um zu diesen Zeithorizonten verlässliche Aussagen zur Klimaentwicklung, der zu erwartenden Änderungen im Klima und seinen extremen Wetterausprägungen, zu gewinnen (www.fona-miklip.de).

Das Modul C (Regionalisierung) als verbesserte Datengrundlage für das KLIWAS-Programm

Der innovative Ansatz bei MiKlip ist der vernetzte modulare Aufbau dieses Vorhabens. Die verbesserten Daten aus der globalen Klimamodellierung werden an das Modul C, der Regionalisierung übergeben. Hier werden die Daten aus den Modelläufen auf eine regionale Skala heruntergerechnet. Diese hochaufgelösten Daten werden interessierten Forschungsgruppen und Forschungsprojekten zur Verfügung gestellt. In diesem Zusammenhang kann das KLIWAS-Programm von den regionalen dekadischen Klimaszenarien aus MiKlip profitieren. Besonders die Betrachtung auf Flusseinzugsgebiete wird dadurch möglich und damit auch eine Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Schifffahrt. Die Ergebnisse bezüglich der zu erwartenden Änderungen innerhalb der nächsten 10-15 Jahre können damit geschärft und verbessert werden. Dies war in dieser Form bisher nicht möglich und kann dadurch einen neuen Blick auf künftige Anpassungsmaßnahmen im KLIWAS-Programm werfen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der zu erwartende Klimawandel wird in Zukunft eine Reihe von Problemen für Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft darstellen. Um den möglichen negativen Auswirkungen zu begegnen hat die Bundesregierung eine Reihe von Fördermaßnahmen ins Leben gerufen, die sich intensiv mit der Untersuchung geeigneter Anpassungsmaßnahmen beschäftigen. Dazu gehören die Fördermaßnahmen KLIMZUG und MiKlip des BMBF und KLIWAS des BMVBS. Ein Teil der Forschungen untersucht die Auswirkungen des Klimawandels in gleichen Regionen mit einem ähnlichen thematischen Bezug. dies betrifft besonders auf KLIMZUG und KLIWAS zu und somit ergeben zwischen diesen Projekten Schnittstellen, die es in Zukunft zu nutzen gilt. Ziel sollen Verbesserungen und sinnvollere Erweiterungen in den jeweiligen Forschungsvorhaben sein.

Literatur

- BUNDESREGIERUNG (ED.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 78 S., Bonn, 2008.
- BUNDESREGIERUNG (ED.) (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 93 S., 2011.
- BMBF BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2010): Ideen. Innovation. Wachstum. Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Referat Innovationspolitische Querschnittsfragen, Rahmenbedingungen, 26 S., Bonn, 2010.
- WWW.FONA-MIKLIP.DE (2011): MiKlip Mittelfristige Klimaprognosen, 2011.
- KLIWAS (2009a): www.kliwas.de: KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt Entwicklung von Anpassungsoptionen, 2009.
- KLIWAS (2009b): www.kliwas.de: Anpassungsoptionen für Wasserstraßen und Häfen an der deutschen

Küste sowie für den Küstenschutz bei Extremereignissen (3.02), 2009.

- KLIWAS (2009c): www.kliwas.de: Betroffenheit wasserbaulicher Anlagen der Nordseeküste und der Ästuare durch Klimaänderungen (2.04), 2009.
- KLIWAS (2009d): www.kliwas.de: Einfluss des Klimawandels auf Struktur, ökologische Integrität und Bewirtschaftung der Binnenwasserstraßen (5), 2009.
- KLIWAS (2009e): www.kliwas.de: Schifffahrt (3.01), 2009.
- KLIMZUG-NORD (2008): www.klimzug-nord.de: Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg, 2008.
- NORDWEST2050 (2008): www.nordwest2050: Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten, 2008.
- RADOST (2008): www.klimzug-radost.de: Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste, 2008.

Klimawandel: Wie sich Regionen und Städte anpassen können – Die Modellvorhaben der Raum- (KlimaMORO) und Stadtentwicklung (StadtKlimaExWoSt)

Gina Siegel (BMVBS) & Fabian Dosch (BBSR)

Im Jahr 2010 ist der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) weltweit gestiegen wie nie zu vor. Grund genug, neben der Minderung der Emissionen von Treibhausgasen sich auch auf die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels vorzubereiten. Das Bundeskabinett hat im August 2011 einen Aktionsplan zur Deutschen Anpassung (DAS) beschlossen. Dieser Aktionsplan belegt die in der DAS genannten Ziele und Handlungsoptionen mit spezifischen Aktivitäten. Ein wichtiges Querschnittsthema ist die Stadt- und Raumordnung. Durch Modellvorhaben sollen Regionen und Kommunen bei der Anpassung an den Klimawandel unterstützt werden.

1 Klimawandel und seine Wirkungen in Stadtregionen

Der Klimawandel findet bereits statt. Er lässt sich seit Jahrzehnten durch stark steigende Lufttemperaturen, sich ändernde klimatische Kenngrößen wie Zahl der Sommertage und Tropennächte (DWD 2011) sowie eine Häufung von Extremniederschlägen mit höheren Schadwirkungen nachweisen. Überdies gehörte das Jahr 2011 zu den fünf wärmsten Jahren seit 1881 in Deutschland, wie zuletzt bereits 2000 und 2007.

Auch wenn insbesondere auf regionaler Ebene die Projektionen zur künftigen Klimaentwicklung und deren Auswirkungen mit Unsicherheiten behaftet sind, so gilt als richtungssicher, dass sich die Temperatur erhöht, Niederschlags- und Windverteilung verändern, Dürre- und Hitzeperioden häufen, Gletscher abschmelzen, Überschwemmungen zunehmen. Die spezifische Betroffenheit, definiert durch das Auftreten klimatischer Veränderungen und der Prädisposition eines Raumes, wird regional verschieden sein (vgl. BMVBS 2011a, 5ff.; BMVBS

2011b, Kap. 3). Befragt man die regionalen Akteure, so wird ein breites Spektrum raumrelevanter Risiken wahrgenommen, mit Schwerpunkt Hochwasser, Trockenheit, Hitzefolgen, Extremereignisse (BMVBS 2011c). Wie die Betroffenheit in der regionalen Praxis ermittelt wird, wurde in regionalen Modellvorhaben (s. Kap. 3.1) analysiert (BMVBS 2011e).

Gerade Städte werden aufgrund der dichten Bebauung, hohen Versiegelung, des erhöhten Energie- und Wasserumsatzes und der Konzentration von Menschen und materiellen Werten besonders vom Klimawandel betroffen. Schon jetzt zeichnet sich das Stadtklima gegenüber dem Umland durch eine höhere Wärmespeicherung von Bauwerken und Untergrund, die Ausbildung urbaner Wärmeinseln mit vermehrten Hitzetagen und Tropennächten, höherem Feinstaubanteil und Luftschadstoffbelastung bei geringeren Windgeschwindigkeiten, geringerer Globalstrahlung und verstärkten Starkniederschlägen aus (BMVBS 2011d). Die Folge ist ein belastendes Bioklima. So werden in den Stadtzentren deutscher Großstädte zum Ende einer sommerlichen Strahlungsnacht bis zu 10 Grad höhere Temperaturen als im Umland gemessen. Nahezu alle klimatischen Parameter, die bei der Charakterisierung des stadtregionalen Klimas eine Rolle spielen, werden durch den projizierten Klimawandel tendenziell verstärkt. Die Wirkfolgen verstärkter Extremwitterungen können ungleich gravierender als die schleichenden Änderungen ausfallen.

2 Räumliche Anpassung an den Klimawandel

Zum Schutz, zur Sicherung und nachhaltigen Entwicklung der Siedlungs-, Verkehrs- und Freiraumstruktur wie auch der natürlichen Ressourcen hat die Raumordnung eine tragende, koordinierende Rolle, wie sie in den Leitbildern der Raumentwicklung formuliert ist. Anpassungsmaßnahmen erfordern oft überörtliche Koordination im regionalen Gesamtzusammenhang und individuelle Lösungsansätze für regional unterschiedliche Auswirkungen des Klimawandels. Die regionale Ebene ist für Anpassungsmaßnahmen an den

Klimawandel prädestiniert. Dort können die überörtlich erforderlichen Schutz- und Anpassungsmaßnahmen fachübergreifend und gesamträumlich ergriffen und koordiniert werden. Dabei sind die mittel- bis langfristigen Veränderungen des Klimas wie auch Extremwetterereignisse vor dem Hintergrund der spezifischen Vulnerabilität (= Exposition + Empfindlichkeit + Anpassungskapazität) zu berücksichtigen.

Die Regionalplanung wirkt bei der Klimaanpassung durch informelle Aktivitäten, wozu insbesondere Information, Beratung und Moderation, Entwicklung von Ziel- und Leitbildstrategien und regionale Selbststeuerung (regional governance) zählen. Abwägungsfest werden Festlegungen erst durch formelle Prozesse und Instrumente, etwa Vorrang- und abgestuft auch Vorbehalts- oder Eignungsgebiete im Regionalplan, aber auch durch Raumordnungsverfahren sowie die strategische Umweltprüfung.

Räumliche Anpassung an den Klimawandel ist ein zyklischer und flexibler Kommunikations-, Planungs-, Umsetzungsprozess und muss von vielen Akteuren, Institutionen und Fachplanungen getragen werden. Er dient dazu, die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber bereits eingetretenen oder erwarteten Folgen und Auswirkungen des unvermeidbaren Klimawandels zu verringern. Räumliche Anpassung setzt voraus, dass

- Beteiligte und Betroffene sensibilisiert, relevante Akteure motiviert und Netzwerke in der Region aktiviert werden,
- die Informationsgrundlagen und erforderlichen Daten aufbereitet und bereitgestellt sowie die Wirkfolgen für die verschiedenen Handlungsfelder abgeschätzt und bewertet werden,
- Vorsorgemaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden,
- die Ausweisungen im Regionalplan oder etwa in regionalen Entwicklungskonzepten und anderen Plänen klimawandelangepasst gestaltet sowie

 die geänderten Ansprüche an den Raum koordiniert und für die Raumnutzer rechtlich verbindlich geregelt werden (vgl. ADW 2010).

Auf kommunaler Ebene ist die **Stadtentwicklung** prädestiniert, Vorsorge insbesondere vor bioklimatischen Belastungen durch den Klimawandel zu treffen und sektorale Aufgaben wie klimawandelbedingte Überflutungsvorsorge und Stadtentwässerung zu koordinieren und zu verbessern. So sorgen bauliche Maßnahmen einer klimagerechten Stadtentwicklung wie Entsiegelung und helle Oberflächen, Grün- und Wasserflächen sowie Frischluftschneisen innerhalb der Siedlungsgebiete für ein erträgliches Klima zum Beispiel bei starken Hitzeperioden. Bei diesen **Maßnahmen** handelt es sich meist um

- die räumliche Steuerung der Siedlungsflächen- und Infrastrukturentwicklung mittels Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, Freihaltung von Hochwasser gefährdeten Bereichen und Sicherung von klimarelevanten Freiräumen und Grünverbindungen, z. B. als Kalt- und Frischluftschneisen, Kaltluftentstehungsgebiete,
- die Begrünung von Baukörpern und Gestaltung von Freiflächen zur Verminderung der Wärmespeicherung im Stadtkörper und deren Vernetzung,
- die flächenhafte Regenwasserversickerung und die Freihaltung möglicher Abflussmöglichkeiten in versiegelten Gebieten und/oder eine emissionsarme Siedlungsentwicklung.

In der Praxis ist Anpassung allerdings immer noch ein relativ neues Handlungsfeld. Dies liegt u. a. in Unsicherheiten bei der Klimafolgenbewertung, in langfristigen Planungszeiträumen, aber auch in der fehlenden Bündelung von Handlungskompetenz in Regionen und Kommunen. Planerisches Handeln ist zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Regionen und Städten gegenüber Klimawirkfolgen (Resilienz), Reduzierung der Betroffenheit sowie den gezielten Aufbau von Klimaschutz- und Anpassungskapazitäten gegenüber den Ein-

wirkungen des Klimawandels jedoch von zentraler Bedeutung. Dies dient der Vermeidung von Klimarisiken, Erhöhung der Investitionssicherheit und letztlich auch der Lebensqualität.

Leitlinien und rechtliche Vorgaben zur Klimaanpassung in Raum und Stadt

Bereits mit der Novellierung des Raumordnungsgesetzes 2008 wurde die Anpassung an den Klimawandel in die Grundsätze der Raumordnung aufgenommen (§ 2 Abs. 2 Nr. 6). Damit wird als ein Grundsatz der Raumordnung vorgegeben, dass "den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes Rechnung zu tragen ist, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen".

Die Erprobung von regionalen Strategien in Modellvorhaben wurde auch im Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien im Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels der 36. Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) vom Juni 2009 beauftragt. Dieses Konzept bildet mit seinen 3 Handlungsfeldern im Klimaschutz und 7 Handlungsfeldern in der Klimaanpassung, insbesondere zum vorbeugenden Hochwasserschutz in Flussgebieten, zum Küstenschutz und zu regionale Wasserknappheiten einen wichtigen Handlungsrahmen für Bundesländer und Regionen, der im Oktober 2011 fortgeschrieben wurde. Das Handlungsfeld "Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)" weist enge Bezüge zur Klimaanpassung in Kommunen. Auf kommunaler Ebene setzt die 116. Bauministerkonferenz im April 2008 auf "Klimaschutz in den Bereichen Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung", und die Fachkommision Stadtentwicklungsplanung des Deutschen Städtetages im Oktober 2011 auf die Schlüsselstrategie "klimagerechter und energieeffizienter Stadtumbau". Einen Schwerpunkt der Nationalen Stadtentwicklungspolitik bildet das Handlungsfeld "Die Stadt von morgen bauen – Klimaschutz und globale Verantwortung".

Das Bauplanungsrecht eröffnet eine Reihe städtebaulicher Gestaltungsmöglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel, etwa durch die Festsetzungsmöglichkeiten des Bebauungsplans (§ 9 Abs. 1 BauGB) zum Maß baulicher Nutzung und den Erhalt und Schaffung von Freiräumen und Grünflächen. Durch das "Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden" vom 30.07.2011 (Klimaschutznovelle) wurden als wesentliche Neuregelungen bzw. Klarstellungen insbesondere zur Anpassung an die Klimafolgen die Festschreibung der klimapolitischen Grundsätze (§ 1 Abs. 5 BauGB und Klimaschutzklausel nach § 1a Abs. 5 BauGB), die Präzisierung des Festsetzungskatalogs in Bebauungsplänen (§ 9 Abs. 1, Nr. 12 und insbes. Nr. 23b BauGB) sowie die Verknüpfung der Vorschriften zum Stadtumbau mit der Anpassung an den Klimawandel (§ 171a BauGB) eingeführt.

3 Erprobung von Handlungsstrategien in Modellvorhaben

Das BMVBS fördert auf kommunaler und stadtregionaler Ebene in Form von Modell- und Demonstrationsvorhaben Projekte, in denen exemplarisch Konzepte und Lösungsansätze zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt und in Modellvorhaben erprobt werden. Aus diesen Projekterfahrungen werden gute Beispiele, Handlungsempfehlungen und Leitlinien generiert, die zugleich in die Weiterentwicklung der DAS einfließen können. So ist Klimawandel u. a. Gegenstand von Modellvorhaben

- im transnationalen Verbund auf der europäischen Ebene: dort befassen sich bis 2013 mehr als 40 Projekte mit Klimaanpassung und noch mehr mit Klimaschutz in den fünf europäischen INTERREG-IV-Programmräumen mit deutscher Beteiligung (vgl. BMVBS 2011a);
- auf der regionalen Ebene: "Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel" (KlimaMORO), deren 8 Modellvorhaben überwiegend in Stadtregionen

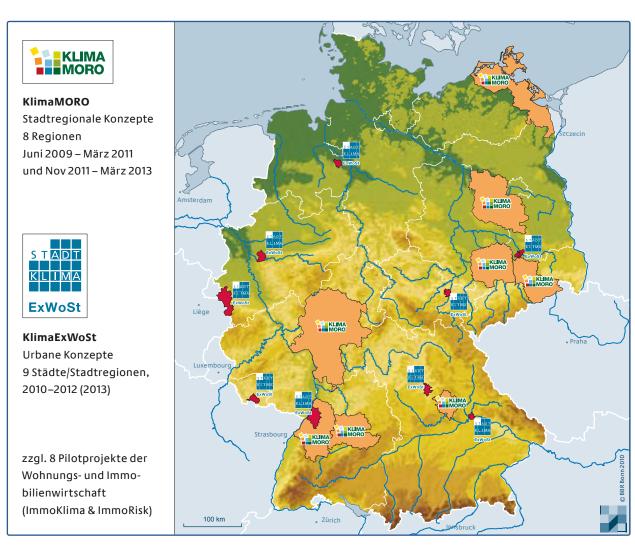
- Lösungsansätze zur Anpassung an den Klimawandel entwickeln;
- des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus (ExWoSt) zu "Urbanen Strategien zum Klimawandel" mit 9 Modellvorhaben auf kommunaler Ebene (StadtKlimaExWoSt) sowie 8 Pilotprojekten der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft (ImmoKlima).

Die Projekte werden vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumentwicklung (BBSR) betreut. Die Abteilung "Klima- und Umweltberatung" des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie externe Klimatologen unterstützen die Modellvorhaben KlimaMORO und StadtKlima-ExWoSt durch Beratung in klimatologischen Fragestellungen, Mitwirkung an Konferenzen und Workshops, Wirkmodellierung und Messungen. Der DWD führt darüber hinaus Pilotprojekte zur Anpassung an den Klimawandel in den bundesdeutschen Großstädten durch. Ziel ist eine dem Klimawandel angemessene und widerstandsfähige, also resiliente Raumstruktur. Die Zwischenergebnisse aus KlimaMORO und StadtKlimaEx-WoSt werden mit anderen Großprojekten der Klimafolgenforschung auf Bundesebene ausgetauscht, insbesondere mit verschiedenen Teilprojekten der 7 Forschungsverbünde im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes KLIMZUG - "Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten".

3.1 Die regionalen Modellvorhaben (KlimaMORO)

2008 startete für die Raumordnung eine Studie mit Handlungsoptionen und möglichen Entwicklungspfaden. Dabei zeigte es sich, dass ein Strategiemix erforderlich ist, der Vermeidungs- und Anpassungsstrategien sinnvoll miteinander in enger Abstimmung mit den Fachpolitiken kombiniert (BMVBS 2011b).

Das Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) "Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel" – kurz **KlimaMORO**, startete im Jahr 2009. In acht Modellregionen Vorpommern, Havelland-Fläming, Westsachsen, Oberes Elbtal / Osterzgebirge, Mittel- Südhessen, Nordschwarzwald / Mittlerer Oberrhein, Regional-



 $\textbf{Abbildung 1:} \ \ \text{Die regionalen (KlimaMORO) und kommunalen Modellvorhaben von BMVBS/BBSR zur Anpassung an den Klimawandel Modellvorhaben von BMVBS/BB$

verband Stuttgart und die Region Neumarkt wurden in knapp zwei Jahren intensiver Arbeit bis März 2011 regionale Klimaanpassungsstrategien entwickelt und erprobt. Intention war dabei, Modellregionen mit hoher Betroffenheit durch den Klimawandel zu beteiligen und gleichzeitig möglichst die meisten für Deutschland typischen Konstellationen abbilden zu können.

Dabei wurden schwerpunktmäßig die **Handlungsfelder** Küstenschutz, vorsorgender Hochwasserschutz, Bioklima/Siedlungsklima und Klimaschutz bearbeitet sowie in allen Regionen Analysen zu den Wirkfolgen des Klimawandels betrieben und Pilotprojekte initiiert. Ganz zentral waren auch die Netzwerke in den Regionen und der Austausch unter den Modellvorhaben.

KlimaMORO wird von den Erkenntnissen aus KLIWAS profitieren, insbesondere was die Validierung und Bewertung der Klimaprojektionen, Ökosystemdienstleistungen in Gewässereinzugsgebieten, die Bewirtschaf-



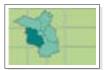
Klimaprojektionen, Vulnerabilitätsanalysen, Fokusgebiete Waldumbau, Bergbaufolge und Klimawandel



Klimarisiken, Bioklima, Hochwasserschutz, Biotopverbund, Planungskategorien



Interkommunale Windenergieparks, Integrierte Strategie



Klimawandelexpertisen, acht Strategiebausteine, Leitfäden Hitze und Sturm



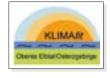
Meeresspiegelanstieg, Vulnerabilität, Bauleitplanung, Küstenschutz



Siedlungsklima, Leitfaden zur Klimaökologie



Vulnerabilität, Wärmebelastung, Klimaatlas KISS, Hochwasserschutz



Hochwasserschutz, Waldmehrung, Wassererosion(sschutz)

 ${\bf Abbildung\,2}\ \ {\bf Die\,Schwerpunktthemen\,in\,den\,KlimaMOROs}$

tung von Binnenwasserstrassen und den Küstenschutz betrifft.

Die bisherigen Arbeiten in den MORO-Modellregionen bestätigen vollinhaltlich die These, dass komplexe raumbedeutsame Herausforderungen nur durch eine Kombination formeller und informeller regionalplanerischer Instrumente erfolgreich zu bearbeiten sind. In allen Modellregionen werden erfolgreich unterschiedliche Akteursgruppen sowohl in die konkrete Arbeitsebene eingebunden als auch in noch breiterem Maße über Themenworkshops sensibilisiert und motiviert. Dahinter steht die Überzeugung, dass ein breites regionales Netzwerk "Klima" die Akzeptanz und Durchsetzungsfähigkeit regionalplanerischer Vorgaben maßgeblich unterstützt.

1) Analysen: Zum einen ist eine umfassende Analyse der bestehenden und künftigen Klimaänderungen erforderlich. In allen Regionen wurden die klimawandelrelevanten Analysegrundlagen und Methoden der Klimafolgenbewertung verbessert. Wichtige Produkte sind hier insbesondere sektorspezifische Vulnerabilitätsanalysen (BMVBS 2011e), d. h. Untersuchungen zu Wirkfolgen und Anpassungskapazitäten.

2) Instrumente: Für viele Handlungsbereiche der Raumordnung sind Vorschläge zur Weiterentwicklung des raumplanerischen Instrumentariums in den Modellvorhaben erarbeitet worden, schwerpunktmäßig für den vorsorgenden Hochwasser- und den Siedlungsklimaschutz, z. B. über den im KlimaMORO Mittel- und Südhessen (klamis) erarbeiteten kommunalen Handlungsleitfaden zur Klimaanpassung im Rhein-Main-Raum (RV 2011). Überdies sind komplexe raumbedeutsame Herausforderungen nur durch eine Kombination formeller und informeller regionalplanerischer Instrumente erfolgreich zu bearbeiten (BMVBS 2011b).
3) Governance: Deshalb werden auch in allen Modellregionen – unter Federführung der Regionalplanungen – eine Vielzahl betroffener Akteure in den dialogo-

Mittel- und Südhessen:

Sind Sturzfluten regional-planerisch relevant?

- Kennzeichnung von abflusssensiblen Bereichen
- Darstellung von Gefahr plötzlichen Hochwassers

Vorpommern:

Veränderung des Wasserhaushalts im Küstensaum durch den steigenden Meeresspiegel

- Küstenschutzstrategie
- Anpassung der Landnutzung
 (z. B. Überflutungsflächen und Moorflächen)
- Sicherung von Grundwasserressourcen





Abbildung 3: KlimaMORO-Fallbeispiele Sturzfluten und Küstenschutz

rientierten Arbeitsprozess eingebunden. Dahinter steht die Überzeugung, dass ein breites regionales Netzwerk "Klima" die Akzeptanz und Durchsetzungsfähigkeit regionalplanerischer Vorgaben maßgeblich unterstützt. Die Ergebnisse der Phase I wurden bereits im Juni 2011 mit Experten auf einem Bilanzworkshop erörtert und auf einer Ergebniskonferenz im November 2011 vorgestellt (vgl. BMVBS 2011f). Daraus resultierten drei zentrale Forderungen. Erstens braucht es als Handlungsvoraussetzungen fundierte und praxisnahe Analysen zur Klimabetroffenheit. Zweitens sind Raumplanungsinstrumente zielgerichteter und abwägungsfester anzuwenden. Drittens müssen erfolgreiche Einzelfalllösungen und innovative Raumentwicklungsstrategien weiterentwickelt werden und zudem sollen politische Bindungen beschlossen werden. Diese Forderungen

werden in der Vertiefungsphase von KlimaMORO bis April 2013 erarbeitet.

3.2 Die kommunalen Modellvorhaben (KlimaExWoSt)

Im Forschungsfeld "Urbane Strategien zum Klimawandel" (BMVBS 2010), Forschungsschwerpunkt Stadtklima, werden seit 2010 bis Mitte 2012 in neun Modellvorhaben kommunale Strategien zum Klimawandel in der Praxis erprobt und bis Mitte 2013 ausgewertet. Beteiligte Modellvorhaben sind die Städteregion Aachen, der Nachbarschaftsverband Karlsruhe und die Städte Bad Liebenwerda, Essen, Jena, Nürnberg, Regensburg Saarbrücken und Syke.

Ziel sind Strategien, Maßnahmen und Pilotprojekte einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung. Neben der Ermittlung von Klimarisiken und der Klimafolgen-



Abbildung 4: www.stadtklimalotse.de (Screenshot)

bewertung werden Strategien zur Hochwasservorsorge, dem Schutz vor Extremwitterungen, zum Siedlungsklimaschutz und der Verbesserung des Bioklimas entwickelt. Die Kommunen untersuchen dabei unterschiedliche thematische Schwerpunkte in den Bereichen Stadtumbau, Stadtgestaltung und Denkmalpflege, Grün- und Freiflächenplanung, klimaangepasste Siedlungsentwicklung und Gewerbeplanung. Dies erfolgt auf verschiedenen räumlichen Ebenen vom Quartier bis zur Stadtregion, durch Verknüpfung der Sektoren, Zusammenarbeit breiter Akteursbündnisse, Forschungsvernetzung und Einbindung der Öffentlichkeit. Generell steht die Verbesserung des Bioklimas im

Fokus, denn hier ist die Stadtentwicklung zentraler Akteur etwa beim klimagerechten Stadtumbau und der Freihaltung oder der Schaffung von grünen und blauen Strukturen.

Dieses Modellvorhaben wurde durch eine Vorstudie "Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen" vorbereitet (BMVBS 2011d). Daneben wurden Handlungskonzepte und Maßnahmen u. a. zur Anpassung technischer Ver- und Entsorgungsinfrastruktur, zum Wasserhaushalt und Hochwasserschutz, Katastrophen- und Bevölkerungsschutz, demographischer

Wandel / Gesundheitsvorsorge, Naturschutz und Bodenschutz und baulich-technischen Klimaschutz erarbeitet.
Als derzeitige **Meilensteine** von StadtKlimaExWoSt können angesehen werden:

- Initiierung und Durchführung von Modellvorhaben mit breiter Akteursbeteiligung und Rückkoppelung in die Stadtpolitik;
- Analysen und Strategien zu einem kommunalen Klimaanpassungsprozess, von der Klimafolgenbewertung über Anpassungsoptionen bis zur Priorisierung von Maßnahmen;
- Planerisch-bauliche Ansätze mit städtebaulichen Entwurfsvarianten und konkrete Maßnahmen etwa zur Grünvernetzung und Schaffung sog. Klimakomfortinseln, zur Hinterhof- und Freiflächenbegrünung, zur Schaffung von wassergebundenen Strukturen, zur klimagerechten Überflutungsvorsorge, zum klimagerechten Stadtumbau auch in denkmalgeschützten Quartieren;
- Siedlungsstruktur-spezifische Strategien zur Klimaanpassung, etwa für historische Altstädte, Stadtumbaugebiete, Gewerbegebiete, Freiräume und Siedlungsränder;
- analytisch-technische Ansätze zur Überflutungsvorsorge, Regenwasserrückhaltung und Hitzeminderung, bautechnischen Anpassung;
- Strategische Ansätze: Berücksichtigung der Grundlagen einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung in der Klimaschutznovelle des BauGB und im Aktionsplan der Anpassungsstrategie;
- Angewandte Forschung mittels verschiedener Expertisen u. a. zu qualitativer Klimafolgenbewertung, zum klimagerechten Stadtumbau, zu flexibler Planung, und zu Rentabilität von Anpassungsmaßnahmen.

Das Wissen aus StadtKlimaExWoSt wird sukzessive im **Stadtklimalotsen,** einem eigenständig anwendbaren Beratungsinstrument zur Auswahl von geeigneten

Klimaanpassungsmaßnahmen für kommunale Akteure, gebündelt. Der Lotse greift auf eine Datenbank mit rund 140 Maßnahmen und guten Beispielen zurück und hilft durch verschiedene Abfragemöglichkeiten die potenziell interessanten Maßnahmen für den lokalen Kontext auszuwählen. Zudem bietet ein Modul zur Abschätzung der kommunalen Betroffenheit durch den Klimawandel eine kostengünstige Alternative zu umfassenden Klimaanalysen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Bundeskabinett hat im August 2011 einen Aktionsplan zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) beschlossen. Unter anderem sollen durch Modellvorhaben Regionen und Kommunen bei der Anpassung an den Klimawandel unterstützt werden. Dazu fördert das BMVBS auf kommunaler und stadtregionaler Ebene in Form von Modell- und Demonstrationsvorhaben Projekte, in denen exemplarisch Konzepte und Lösungsansätze zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt und in der regionalen und kommunalen Praxis erprobt werden.

In den regionalen Modellvorhaben KlimaMORO werden schwerpunktmäßig die Handlungsfelder Küstenschutz, vorsorgender Hochwasserschutz, Bio-Siedlungsklima und Klimaschutz bearbeitet sowie in allen Regionen Analysen zu den Wirkfolgen des Klimawandels betrieben und Pilotprojekte initiiert. Als Bilanz der ersten Phase zeigt sich, dass neben einer umfassenden Analyse der bestehenden und künftigen Klimaänderungen die raumbedeutsamen Herausforderungen durch eine regionsspezifische Kombination formeller und informeller regionalplanerischer Instrumente erfolgreich zu bearbeiten sind. Die Modellvorhaben werden mit spezifischen Fragestellungen wie auch übergreifenden Aufgaben in einer zweiten Phase hinsichtlich einer Systematisierung der Klimafolgenbewertung und eines raumordnerischen Instrumentenbaukastens bis April 2013 weiterentwickelt.

Dann liegen auch die Ergebnisse der Modellvorhaben von StadtKlimaExWoSt vor, den Modellvorhaben auf

kommunaler Ebene im Forschungsfeld "Urbane Konzepte zum Klimawandel", in denen Strategien, Maßnahmen und Pilotprojekte einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung entwickelt werden. Das Wissen aus StadtKlimaExWoSt wird sukzessive im Stadtklimalotsen, einem eigenständig anwendbaren Beratungsinstrument zur Auswahl von geeigneten Klimaanpassungsmaßnahmen für kommunale Akteure, gebündelt.

Im Frühjahr 2013 werden die Gesamtergebnisse auf einer Konferenz "Klimawandel in Stadt und Region" vorgestellt und diskutiert werden. Damit bilden die Modellvorhaben der Stadt- und Raumentwicklung einen zentralen Baustein zur konkreten Umsetzung der Ergebnisse der Klimafolgenforschung des BMVBS und Bundes.

Literatur und Weblinks

- BERLIN-BRANDENBURGISCHE AKADEMIE DER WISSEN-SCHAFTEN (ADW 2010): Planungs- und Steuerungsinstrumente zum Umgang mit dem Klimawandel. Bearb.: Arbeitskreis Klimawandel und Raumplanung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Diskussionspapier 8, Berlin 2010.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2010): Urbane Strategien zum Klimawandel. Dokumentation der Auftaktkonferenz 2010 zum ExWoSt-Forschungsfeld. Sonderveröffentlichung Berlin 2010, 82 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2011a): Wie bereiten sich Regionen auf den Klimawandel vor? Sonderveröffentlichung, Berlin 2011, 84 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2011b): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung, Heft Forschungen 144, Berlin 2011, 121 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2011c): Querschnittsauswertung von Status-quo Aktivitäten der Länder und Regionen

zum Klimawandel. Online-Publikation Heft 17, Bonn/Berlin 2011.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2011d): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung, Heft Forschungen 149, Berlin 2011, 100 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2011e): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis. Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten, BMVBS-Online-Publikation 21/11, Bonn/Berlin 2011.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADT-ENTWICKLUNG (BMVBS 2011f): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel – MORO Informationen Heft 7/4, Bonn/Berlin 2011.
- DWD DEUTSCHER WETTERDIENST (2011): Die Auswirkungen des Klimawandels auf Frankfurt am Main. Offenbach 2011.
- RV REGIONALVERBAND FRANKFURTRHEINMAIN (2011): Kommunen im Klimawandel Wege zur Anpassung. Darmstadt.
- KLIMAMORO-INFOS im Internet unter www.klimamoro.de.
- STADTKLIMAEXWOST-INFOS im Internet unter www.klimaexwost.de, www.stadtklimalotse.de.

Anpassung der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel

Markus Auerbach, Carina Herrmann & Beata Krieger (alle BASt)

1 Einleitung

Die Straßenverkehrsinfrastruktur hat eine enorme gesamtwirtschaftliche Bedeutung. Derzeit werden ca. 70% der Güter auf der Straße transportiert und die Tendenz ist steigend.

Dies ist aber nicht die einzige Herausforderung, der sich die Straßenverkehrsinfrastruktur und der Straßenverkehr stellen müssen. Wir leben in einer Zeit des Wandels: Globalisierung, Nachhaltigkeit, Technologischer Wandel, Demographischer Wandel, der Anstieg des Güterverkehrs und der Klimawandel. Die Straßenverkehrsinfrastruktur muss sich diesen Veränderungen anpassen. Der Straßengüterverkehr wird bis 2050 weiterhin drei Viertel des gesamten Güterverkehrs ausmachen und zwischen den Jahren 2005 bis 2025 um 84% zunehmen. Bis 2050 wird ein ebenso starker Zuwachs prognostiziert. Diesen Anstieg des Güterverkehrs muss die Straßenverkehrsinfrastruktur bewältigen.

2 Voraussetzungen

Das deutsche Straßennetz umfasst ca. 12.000 km Bundesautobahnen und 41.000 km Bundesstraßen, die ein Bundesvermögen von 120 Mrd. Euro darstellen. Diese Straßen führen über mehr als 38.000 Brücken und durch ca. 220 Tunnel, welche ebenfalls ein Vermögen von insgesamt 50 Mrd. Euro darstellen. Da Straßen eine geplante Nutzungsdauer von 30 bis 50 Jahren haben und Brückenund Tunnelbauwerke 80 bis 100 Jahre bestehen sollen, ist es wichtig schon heute die Richtlinien für den Straßenund Brückenbau so anzupassen, dass sie den Folgen des projizierten Klimawandels standhalten.

Erste Auswirkungen des Klimawandels lassen sich bereits erkennen. So kommt es in heißen Sommern vermehrt zu Spurrinnenbildungen auf Asphaltdecken und zu "Blow ups" auf Betonfahrbahnen. Des Weiteren können Rahmenbrücken aus Spannbeton, welche vor 1981 gebaut wurden, besonders von den Hitzeeinwirkungen beeinträchtigt werden.

Auch extreme Niederschläge können zu Überschwemmungen der Straßen, Überflutungen von Tunneln und hierdurch zu vermehrten Unfällen führen.

3 Strategie

Um Straßen und Ingenieurbauwerke an die Folgen des Klimawandels anzupassen wurde in der Bundesanstalt für Straßenwesen eine Strategie entwickelt, welche schematisch in Abbildung 1 dargestellt ist.

Ziel ist es, diese Anpassungsstrategie in ein ganzheitliches und nachhaltiges Erhaltungsmanagement (Asset-Management) zu integrieren.

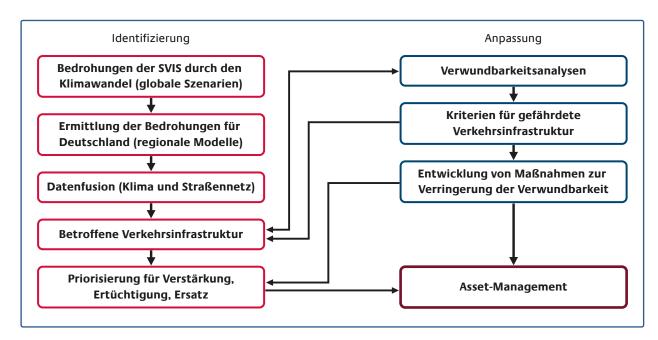
Ausgehend von der Identifizierung der Bedrohungen und der Fusion der klima- und straßennetzbezogenen Daten soll die betroffene Straßenverkehrsinfrastruktur ermittelt werden. Hierzu müssen zunächst Verwundbarkeitsanalysen durchgeführt werden und die Kriterien für gefährdete Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur ermittelt werden. Gleichzeitig werden mögliche Anpassungsmaßnahmen entwickelt und ihre Wirksamkeit ganzheitlich bewertet. Anschließend kann eine Priorisierung für die Durchführung der Anpassungsmaßnahmen auf Netzebene vorgenommen werden.

Diese Strategie wird sowohl in europäischen als auch in nationalen Projekten umgesetzt.

4 Europäische Perspektive

Die Bundesanstalt für Straßenwesen engagiert sich auf europäischer Ebene im Programm "Forever Open Road" von FEHRL (Forum of European National Highway Research Labarotories). Ziel dieses Programmes ist es die Straße der Zukunft zu entwickeln, welche anpassungsfähig (adaptable), automatisiert (automated) und widerstandsfähig bezüglich Klimaänderungen (climate change resilient) ist.

Die anpassungsfähige Straße basiert auf einem modularen, vorgefertigten System. Sie soll sich veränder-



 $\textbf{Abb.1:} \ \ \textbf{Schematische Darstellung der Anpassungsstrategie} \ (\textbf{SVIS} = \textbf{Stra} \\ \textbf{Benverkehrsinfrastruktur}) \ \ \textbf{Abb.1:} \ \ \textbf{Schematische Darstellung der Anpassungsstrategie} \ \ \textbf{Abb.1:} \ \ \textbf{Stra} \ \ \textbf{Benverkehrsinfrastruktur}) \ \ \ \ \textbf{Abb.1:} \$

ten Verkehrsvolumen und Veränderungen der Nachfrage für den öffentlichen Verkehr anpassen. Außerdem soll sie zum Antrieb von Fahrzeugen, zur Gewinnung von Strom aus Solarenergie und sogar zur Eigenreparatur in der Lage sein. Ziel ist es, schnell und kostengünstig zu planen, zu bauen und ganzjährig Wartungsarbeiten durchzuführen, sowie die lokalen und globalen Umweltauswirkungen des Straßenverkehrs zu minimieren.

Die automatisierte Straße soll ein voll integriertes Informations-, Überwachungs- und Kontrollsystem enthalten, welches die Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern, Fahrzeugen und der Straße erlaubt. Es sollen Informationen über das Wetter, den Straßenzustand und den Verkehrsfluss gemessen und selbständig darauf reagiert werden sowie diese Informationen an den Verkehrsteilnehmer weitergegeben werden.

Die bezüglich Klimaänderungen widerstandsfähige Straße soll den Auswirkungen von extremen Wetterbedingungen standhalten und sich dem Klimawandel anpassen können. Die Straße soll Überflutungen, Schnee, Eis, Wind und Temperaturänderungen überwachen, und ihre Folgen beispielsweise durch integrierte Entwässerungssysteme, automatisches Heizen und Kühlen minimieren. Diese Daten sollen durch das integrierte Informationssystem an die Fahrzeugführer weitergegeben werden.

Der zeitliche Ablauf dieses Programmteils ist in Abbildung 2 dargestellt.

5 Nationale Perspektive

Die vollständige Umsetzung der oben beschrieben Strategie stellt eine sehr komplexe Aufgabe dar. Aus diesem Grund wurde zunächst eine Reihe von offenen Fragen zusammengestellt, die prioritär zu behandeln sind. Daraus ist das Forschungsprojekt "Anpassung der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel (AdSVIS)" entstanden. Es wurden insgesamt 13 Teilprojekte ausformuliert, die zum Teil Anfang 2012 gestartet sind. Einige ausgewählte Projekte werden im Folgenden beschrieben.

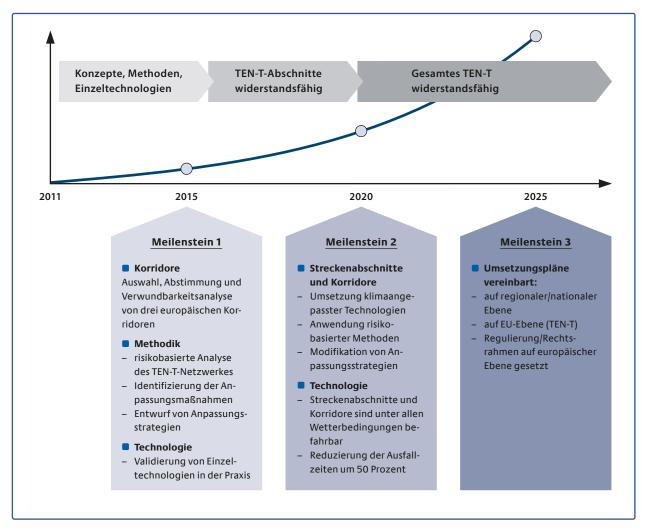


Abb. 2: Zeitlicher Ablauf des Programmteils "Climate Change Resilient Road"

Risikoanalyse wichtiger Güter- und Transitverkehrsachsen unter Einbeziehung von Seehäfen

Das Ziel dieses Projektes ist die Darstellung der Risiken aus den projizierten Klimaänderungen für ausgewählte Streckenabschnitte im deutschen Teil des TEN (Transeuropäisches Netz) in Anlehnung an die im ERA-NET-ROAD-Projekt RIMAROCC entwickelte Methodik. Für die identifizierten Risikobereiche sollen Anpassungsmaßnahmen identifiziert und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit be-

wertet werden. Das Projekt stellt eine erste Annäherung an den Aufbau eines Risikomanagements dar. Die hierbei verwendete RIMAROCC-Methodik muss dazu erweitert und weiterentwickelt werden. In einem derzeit geplanten 2. Teil des Projektes wird es darum gehen, ein Risikomanagement-Tool zu konzipieren und zu realisieren. In einen angedachten 3. Teil des Projektes könnte die Risikoanalyse auf Netzebene mit dem modifizierten Risikomanagement-Tool durchgeführt werden.

Verwendung relevanter Klimadaten aus KLIWAS

Ziel dieses Projektes ist es, die für die Straßenverkehrsinfrastruktur relevanten Klimadaten (Globalstrahlung, Luftfeuchte, Niederschlag, Temperatur und abgeleitete Parameter) für weitere Untersuchungen bereit zu stellen. Angestrebt wird eine Auflösung in einem Gitter von $5\times 5\,\mathrm{km^2}$. Für einzelne relevante Objekte der Straßenverkehrsinfrastruktur können höher aufgelöste Wirkmodellsimulationen bereitgestellt werden.

Anpassung der Dimensionierung von Straßenbefestigungen aus Asphalt und Beton

Heute angewandte Methoden zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen bei der Dimensionierung von Straßenbefestigungen (im Neubau- wie Erhaltungsfall) basieren auf langjährigen meteorologischen Beobachtungsreihen. In diesem Projekt soll untersucht werden, inwieweit der Klimawandel die witterungsabhängigen Eingangsparameter verändert. Hierbei geht es um die Parameter, die sowohl in die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO) als auch in die rechnerische Dimensionierung (RDO-Asphalt und RDO-Beton) eingehen. Es sollen entsprechende Anpassungsvorschläge für die Dimensionierung (in der Regel 30 Jahre) formuliert werden.

Überprüfung standardisierter Asphaltbefestigungen unter geänderten Temperatur-Randbedingungen

Asphalt zeigt ein stark temperaturabhängiges elastischplastisch-viskoses Verhalten mit einer möglichen Rissbildung im Winter und bleibenden Spurrinnen im Sommer.

In diesem Projekt soll mittels der Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO-Asphalt) untersucht werden, bis zu welchem Anstieg der Jahresmitteltemperatur und Verkehrseinwirkungen ein Einsatz von Standard-Asphaltbauweisen/Dimensionierung zum Erreichen üblicher Nutzungszeiträume möglich ist. Bei Unterschreitung der Nutzungszeiträume müssen Vor-

gaben zur Materialanpassung gegeben werden bzw. alternative Bindemittelkonzepte entwickelt werden.

Temperaturresistente alternative Bindemittelkonzepte

In Laborversuchen konnte bereits nachgewiesen werden, dass die Modifikation von Asphalten bzw. Bitumen mit z. B. Epoxidharz eine große Verformungsresistenz unter steigender Verkehrsbelastung und höheren Temperaturspannungen erwarten lässt. Im hier beschriebenen Projekt wird eine Pilotanwendung auf dem Gelände der Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzstrecke im Autobahnkreuz Köln-Ost realisiert werden. Hierdurch kann der Nachweis der Anwendbarkeit in der Straßenbaupraxis erbracht werden (Herstellung, Transport, Einbau) und das Verhalten unter realen Klimabedingungen, vor allem unter Kälteeinwirkung erfolgen.

Beurteilung der Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen

In diesem Projekt sollen die derzeitigen Dimensionierungsansätze von Entwässerungseinrichtungen nach den Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung (RAS-Ew) und nach den Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag) im Hinblick:

- auf hydraulische Leistungsfähigkeit bei Wahrung des Boden- und Gewässerschutzes und
- auf konstruktive Ausführungen

überprüft werden. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes sollen als Grundlage bei der Überarbeitung der Regelwerke dienen.

Entwicklung von Einwirkungsmodellen und Bemessungsgrößen für Brücken und Tunnelbauwerke

Im Pilotprojekt "Auswirkungen des Klimawandels auf bestehende Spannbetonbrückenbauwerke" wurde festgestellt, dass sich insbesondere für Rahmenbrücken aus Spannbeton, die vor 1981 gebaut wurden, Anpassungsbedarf ergibt.

Das geplante Projekt "Entwicklung von Einwirkungsmodellen und Bemessungsgrößen für Brücken und Tunnelbauwerke" hat eine Ermittlung von standortbezogenen und bemessungsrelevanten Klimaparametern zum Ziel um somit eine möglichst reale Abbildung der Klimabelastung für Bauwerke in besonders stark vom Klimawandel betroffenen Regionen zu ermöglichen.

Verwundbarkeitsanalyse der Brückenund Tunnelbauwerke

In diesem Projekt sollen kritische Bauwerke identifiziert werden, so dass entsprechende Maßnahmen zur Verringerung der Verwundbarkeit am Bauwerk durchgeführt werden können. Hierdurch können Kosten für Instandsetzung oder Neubau eines geschädigten oder zerstörten Bauwerks gemindert werden.

In Abbildung 3 sind alle Teilprojekte tabellarisch dargestellt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Derzeit werden 70% der Güter auf der Straße transportiert und die Tendenz ist steigend. Neben dieser Zunahme des Straßenverkehrs kommt es infolge des Klimawandels zu vermehrten Extremwetterereignissen (Stürme, Starkniederschlagsereignisse, Hitzeperioden) an welche die Straßenverkehrsinfrastruktur angepasst werden muss. Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat deshalb eine Strategie entwickelt, die sie auf europäischer Ebene im Projekt "For-ever Open Road (FOR)" und auf nationaler Ebene im Projekt "Anpassung der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel (AdSVIS)" umsetzt.

Im Rahmen von FOR leitet sie den Projektteil "Climate Change Resilient Road". Es wurde ein Konzept entwickelt, das vorsieht bis 2015 drei europäische Korridore auszuwählen und Verwundbarkeitsanalysen und eine risikobasierte Analyse des TEN-T-Netzwerkes durchzuführen sowie geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln. Außerdem sollen Einzeltechnologien in der Praxis validiert werden. In einem 2. Meilenstein bis 2020 sollen die klimaangepassten Technologien in einzelnen Streckenabschnitten des TEN-T umgesetzt werden, risikobasierte

Projektname

Risikoanalyse wichtiger Güter- und Transitverkehrsachsen

Verwendung relevanter Klimadaten aus KLIWAS

Anpassung der Dimensionierung von Straßenbefestigungen aus Asphalt und Beton

Überprüfung standardisierter Asphaltbefestigungen unter geänderten Temperatur-Randbedingungen

Temperaturresistente alternative Bindemittelkonzepte

Auswirkungen von Witterungsextremen auf Betonfahrbahnen

Beurteilung der Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen

Entwicklung von Einwirkungsmodellen und Bemessungsgrößen für Brücken und Tunnelbauwerke

Verwundbarkeitsanalyse der Brückenund Tunnelbauwerke

Maßnahmenanalyse zur Verringerung der Verwundbarkeit von Brücken- und Tunnelbauwerken

Abschätzung von Böschungsrutschungen und Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte

Abgleich meteorologischer Messgrößen mit Rasterdaten klimatologischer Prognosemodelle

Auswirkungen des Klimawandels auf den Betriebsdienst

Abb. 3: Liste aller AdSVIS-Teilprojekte (Stand: Januar 2012)

Methoden angewandt werden und die Anpassungsstrategie modifiziert werden. Ziel ist es die Streckenabschnitte und Korridore unter allen Wetterbedingungen befahrbar zu halten und so die Ausfallzeiten um 50% zu reduzieren. Im 3. Meilenstein bis 2025 sollen Umsetzungspläne auf europäischer und nationaler Ebene ver-

einbart sein und ein Rechtsrahmen auf europäischer Ebene geschaffen werden (siehe Abbildung 2).

Von den in Abbildung 3 aufgelisteten AdSVIS-Projekten sind sechs Projekte Anfang des Jahres 2012 gestartet (Risikoanalyse wichtiger Güter- und Transitverkehrsachsen, Anpassung der Dimensionierung von Straßenbefestigungen aus Asphalt und Beton, Überprüfung standardisierter Asphaltbefestigungen unter geänderten Temperatur-Randbedingungen, Beurteilung der Bemessung von Straßenentwässerungseinrichtungen, Abschätzung von Böschungsrutschungen und Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte, Abgleich meteorologischer Messgrößen mit Rasterdaten klimatologischer Prognosemodelle). Die anderen Projekte befinden sich der Ausschreibung oder zum Teil noch in der Planungsphase.

Der Folgen des Klimawandel sind weitreichend und werden in nationalen und europäischen Projekten weiterhin von der Bundesanstalt für Straßenwesen verfolgt werden.

Literatur

- TEGETHOF, U. (2011): Anpassung der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel (AdSVIS), Bergisch Gladbach, 2011.
- EUROPEAN ROAD TRANSPORT RESEARCH ADVISORY COUNCIL (2011): Climate Resilient Road Transport, 20. 05. 2011.
- LAMB, M. J. & R. COLLIS (2011): The Forever Open Road – Defining the Next Generation Road, UK, 2011.
- TEGETHOF, U. (2011): Klimawandel Anpassungsstrategien für die Straßenverkehrsinfrastruktur, Straße und Verkehr Nr. 5, Mai 2011.
- ProgTrans. (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050, Basel, 2007.

Auswirkungen des Klimawandels am Rhein

Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein

Enno Nilson, Maria Carambia, Peter Krahe, Maria Larina, Jörg Uwe Belz & Markus Promny (alle BfG)

1 Einleitung

Dem Rhein, als der wirtschaftlich wichtigsten Wasserstraße in Europa, widmet das Forschungsprogramm KLIWAS besondere Aufmerksamkeit. Die Arbeiten wurden hier durch das Projekt "Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität" (KLIWAS 4.01) bereits im Sommer 2007 begonnen. Nachdem im Rahmen der ersten KLIWAS-Statuskonferenz im Jahr 2009 grundlegende Konzepte (NILSON 2009, KRAHE & NILSON 2009) und erste Ergebnisse (Bülow et al. 2009, CARAMBIA & FRINGS 2009) präsentiert wurden, liegt mittlerweile ein belastbarer Bearbeitungsstand vor.

Dieser wurde in wissenschaftlichen Forschungsgruppen auf nationaler und internationaler Ebene zur Diskussion gestellt und gemeinsam publiziert. Dabei wurden spezifische methodische Fragestellungen wie die Thematik der Bias-Korrektur regionaler Klimamodelle oder der Unsicherheitsanalyse komplexer Modellketten behandelt (Krahe et al. 2009, Nilson et al. 2010a, Mudelsee et al. 2010), aber auch umfassend über die angewendeten Daten und Methoden sowie die Interpretation der Ergebnisse berichtet (Görgen et al. 2010).

Der vorliegende Beitrag zur zweiten KLIWAS-Statuskonferenz berichtet über die weitere Konsolidierung der Ergebnisse (siehe Abschnitt 2) und über ausgewählte Anwendungsbeispiele der Abflussszenarien (siehe Abschnitte 3 und 4).

2 Datengrundlagen

Das Ensemble der Abflussprojektionen umfasst mittlerweile 26 Simulationen für den Zeitraum 2021-2050 (nachfolgend "nahe Zukunft") und 21 Simulationen für den Zeitraum 2071-2100 (nachfolgend "ferne Zukunft"). Die Simulationen basieren auf einer entsprechenden Anzahl von regionalen Klimaprojektionen, die durch nationale und internationale Forschungsinitiativen mit verschiedenen Klimamodellen erstellt wurden (VAN DER LINDEN & MITCHELL 2009¹, ENKE & KREIENKAMP 2006, GERSTENGARBE 2009, HOLLWEG et al. 2008, JACOB 2006, JACOB et al. 2009). Das auf diese Daten angewendete Bewertungs- und Prozessierungsverfahren erfolgte wie bei NILSON et al. (2010b) beschrieben. Die Abflussmodellierung wurde in Kontinuität mit CARAMBIA & FRINGS (2009) mit dem semidistributiv-konzeptionellen hydrologischen Modell HBV134 (EBERLE et al. 2005) durchgeführt.

Abbildung 1 zeigt die Bandbreite der Ergebnisse exemplarisch für den vieljährigen mittleren Monatsabfluss am Pegel Köln. Zum Vergleich ist der Referenzlauf des hydrologischen Modells dargestellt, der mit beobachteten meteorologischen Daten im Zeitraum 1961–1990 angetrieben wurde.

Robuste Aussagen sind demnach:

- "Nahe Zukunft": keine deutliche Änderung des Abflussregimes
- "Ferne Zukunft": Anstieg des mittleren Abflusses im Winter, Vorverlegung und Absenkung des niedrigsten Monatsabflusses

Mit Bezug auf den gesamten Rhein (hier nicht dargestellt) zeigen die vorliegenden Simulationen eine Tendenz zu einer stärkeren Regenlastigkeit (Pluvialisierung) der Abflussregime; d. h. für die heute Schnee-geprägten (nivalen) Regime wird ein ausgeglichenerer Jahresgang simuliert, während sich in den bereits heute pluvial ge-

^{1 &}quot;The ENSEMBLES data used in this work was funded by the EU FP6 Integrated Project ENSEMBLES (Contract number 505539) whose support is gratefully acknowledged."

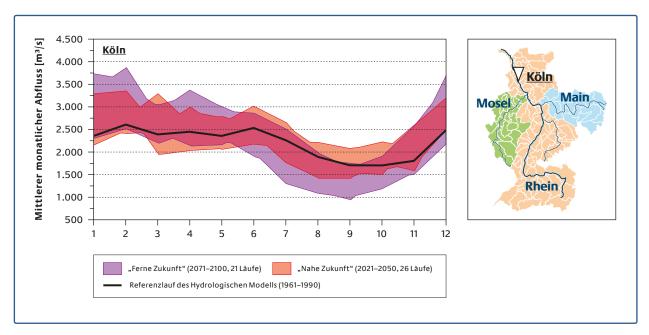


Abb.1: Mittlerer monatlicher Abfluss am Pegel Köln für drei Zeitscheiben. Die Hüllkurven umspannen die durch die einzelnen Projektionen abgedeckte Bandbreite. Je Simulation wurden monatliche Änderungssignale [%] ermittelt und mit dem Referenzlauf verrechnet.

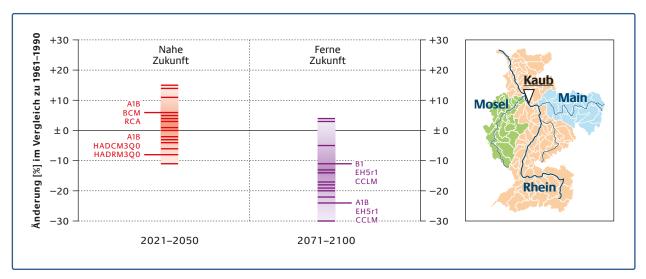


Abb. 2: Mittlere Änderungen des Niedrigwasserkennwertes NM7Q (niedrigstes 7-Tagesmittel) am Pegel Kaub während des hydrologischen Sommerhalbjahres (Mai–Oktober). Ensemble von ca. 20 Abflussprojektionen (kurze Striche) sowie Grenzen der Szenariokorridore (längere Striche) und entsprechende repräsentative Simulationen.

prägten bzw. den kombinierten Regimes die Saisonalität verstärkt.

3 Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien

Der Weltklimarat (IPCC 2007) definiert ein "Szenario" als ein plausibles Bild über die mögliche zukünftige Entwicklung. Projektionen können dabei als Rohmaterial dienen. Um den Unsicherheiten in Projektionen Rechnung zu tragen, wird nach IPCC (2007) oft eine Mehrzahl von Szenarien verwendet.

In Anlehnung an diese Definition wurden im Rahmen von KLIWAS sog. Szenarienkorridore für unterschiedliche Abflusskennwerte ausgewiesen. Ein Szenarienkorridor wird als Bereich innerhalb des Ensembles von Abflussprojektionen festgelegt, in dem besonders viele Simulationen ähnliche Ergebnisse liefern. Die Projektionen, die die Ränder eines Szenarienkorridors repräsentieren (sog. repräsentative Simulationen) können als Zeitreihendaten für die weitere Auswertung oder in weiteren Modellen verwendet werden.

Abbildung 2 veranschaulicht dies für einen Niedrigwasserkennwert (Beispiel: Pegel Kaub), der Hinweise auf für die Schifffahrt verfügbare Fahrrinnentiefen gibt. Mit Blick auf die ferne Zukunft gibt das gesamte Ensemble eine Spannweite der Änderungen von +5% bis −30% vor, jedoch sind die Randbereiche des Ensembles nur durch wenige Modellketten besetzt. Die meisten Projektionen fallen in den Bereich zwischen -10% und -25%. Dieser Bereich wird somit als Szenarienkorridor ausgewiesen. Als "optimistisches" Szenario kann somit eine Abnahme des NM7Q von 10% angenommen werden, als "pessimistisches" Szenario eine Abnahme von 25%. Das "optimistische" Szenario wird durch die Simulation mit der Modellkette B1 EH5r1 CCLM repräsentiert, das "pessimistische" Szenario ergibt sich aus der Modellkette A1B EH5r1 CCLM.

Mit den Szenarienkorridoren werden wesentliche Charakteristika des Ensembles erfasst. Ferner bieten sie die Möglichkeit, eine begründete Auswahl einzelner Simulationen aus einem Ensemble zu treffen. Dies ist z. B. immer dann erforderlich, wenn Modelle, die in der Modellkette folgen, aufgrund rechentechnischer Kapazitätsbeschränkungen nicht alle Simulationen verarbeiten können. Wesentliche Bedingung für die Auswahl ist, dass möglichst ein einzelner Abflusskennwert identifiziert werden kann, auf dessen Änderung das betreffende Modell besonders sensitiv reagiert.

Im vorliegenden Beispiel wurden die repräsentativen Simulationen in Bezug auf die Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse während des hydrologischen Sommerhalbjahres der "Fernen Zukunft" identifiziert. Die zu diesen Modellläufen gehörenden Abflusszeitreihen (jeweils simuliert mit HBV134) wurden zunächst mit dem 1D-hydrodynamischen Modell SOBEK (Meissner 2008, Meijer 2008) in Wassertiefen- und Fließgeschwindigkeitsdaten umgesetzt und anschließend in aggregierter Form in schifffahrtsbezogenen Modellen weiter verarbeitet (vgl. Beitrag Holtmann et al. 2012 in diesem Band).

4 Anwendung der KLIWAS-Szenarien in der Politikberatung – Fazit

Es ist ersichtlich, dass das Konzept der Szenarienkorridore keinesfalls eine optimale Lösung darstellt. Jedoch mangelt es auch in Anbetracht der zahlreichen in KLIWAS verarbeiteten Projektionen an einer ausreichenden statistischen Basis für eine "vollwertige" Ensemble-Statistik im Sinne einer probabilistischen Analyse.

Das Konzept der "Szenarienkorridore" hat sich insbesondere aufgrund seiner Transparenz als geeignetes Vehikel herausgestellt, um die Thematik der Unsicherheiten in den administrativ-politischen Diskurs zur Klimaanpassung einzubringen. Szenarienkorridore wurden unter Koordination der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes mit Vertretern verschiedener gewässerkundlicher Institutionen aus dem internationalen Rheineinzugsgebiet (Schweiz, Frankreich, dt. Bundesländer, BfG, Niederlande) für Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserkennwerte an ausgewählten Pegeln im Rheineinzugsgebiet abgestimmt (GÖRGEN et al. 2010). Auf dieser Basis wurde in einer Expertengruppe "KLIMA" der Arbeitsgruppe "Hochwasser" unter

Tab 1: Szenarienkorridore für Mittel- und Niedrigwasserkennwerte (MQ und NM7Q) an ausgewählten Pegeln im Rheineinzugsgebiet basierend auf einem Ensemble von 20 (2021–2050) bzw. 17 (2071–2100) Projektionen. Eine blaue Färbung verweist auf eine mehrheitlich (~80%) zunehmende Tendenz der Projektionen; eine orange Färbung auf eine mehrheitlich abnehmende Tendenz; eine graue Färbung zeigt ein uneinheitliches Änderungssignal der Projektionen an (vgl. NILSON et al. 2010c, DE KEIZER et al. 2010).

Kennwert	Pegel	2021-2050	2071-2100
Mittlerer Abfluss (MQ) im hydrologischen Sommer (Mai-Okt)	Basel	-10 bis +5%	−25 bis −10%
	Maxau	-10 bis +5%	−25 bis −10%
	Worms	-10 bis +5%	-25 bis -10%
	Kaub	-10 bis +10%	−25 bis −10%
	Köln	-10 bis +10%	−25 bis −10%
	Lobith	-10 bis +10%	−25 bis −5%
	Raunheim	0 bis +25%	-20 bis +10%
	Trier	-15 bis +10%	-30 bis -10%
Mittlerer Abfluss (MQ) im hydrologischen Winter (Nov-Apr)	Basel	0 bis +20%	+5 bis +25%
	Maxau	+5 bis +20%	+5 bis +25%
	Worms	+5 bis +20%	+5 bis +30%
	Kaub	+5 bis +20%	+10 bis +30%
	Köln	+5 bis +20%	+10 bis +30%
erer olo: (Î	Lobith	+5 bis +15%	+10 bis +30%
Mittle	Raunheim	+5 bis +25%	+10 bis +40%
	Trier	0 bis +15%	+5 bis +25%
Niedrigwasserabfluss (NM7Q) im hydrologi- schen Sommer Mai–Okt)	Basel	±10%	-20 bis -10%
	Maxau	±10%	-20 bis -10%
	Worms	±10%	−25 bis −10%
	Kaub	±10%	−25 bis −10%
	Köln	±10%	-30 bis -10%
	Lobith	±10%	-30 bis -10%
	Raunheim	0 bis +20%	-20 bis 0%
	Trier	±20%	-50 bis -20%
Niedrigwasserabfluss (NM7Q) im hydrologi- schen Winter (Nov–Apr)	Basel	+5 bis +15%	0 bis +15%
	Maxau	0 bis +10%	-5 bis +15%
	Worms	+5 bis 15%	-5 bis +15%
	Kaub	0 bis +15%	-5 bis +15%
	Köln	0 bis +15%	0 bis +20%
	Lobith	0 bis +15%	−5 bis +15%
	Raunheim	+5 bis 15%	0 bis +20%
	Trier	±15%	0 bis +20%

dem Dach der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) inzwischen ein Bericht vorgelegt (IKSR 2011), der nun für die weitere Anpassungsdiskussion zunächst richtungsweisend ist. Auch die Zentralkommission für Rheinschifffahrt (ZKR) greift auf diese Daten zurück.

In Tabelle 1 sind die entsprechenden Szenarienkorridore für Mittel- und Niedrigwasserkennwerte (MQ bzw. NM7Q) für ausgewählte Pegel im Rheineinzugsgebiet zusammengefasst. Für die "nahe Zukunft" kann im hydrologischen Sommer keine Tendenz des MQ bzw. NM7Q für die Rhein-Pegel festgestellt werden. Hingegen zeigen sich für die Rhein-Pegel im hydrologischen Winter der nahen Zukunft zunehmende Tendenzen des MQ und NM7Q. Die Änderungssignale des MQ zeigen für die ferne Zukunft eine Verstärkung der winterlichen Zunahmen und für den Sommer deutliche Abnahmen.

Die winterliche Zunahme des NM7Q in der fernen Zukunft entspricht für die Rhein-Pegel etwa den Tendenzen für die nahe Zukunft. Im hydrologischen Sommer der fernen Zukunft zeigen sich für den NM7Q deutliche Abnahmen.

Literatur

- BÜLOW, K., JACOB, D. & L. TOMASSINI (2009): Vergleichende Analysen regionaler Klimamodelle für das heutige und zukünftige Klima. In: BMVBS (2009): KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. S. 96–104.
- CARAMBIA, M. & R. FRINGS (2009): Abflussszenarien für den Rhein des 21. Jahrhunderts. In: BMVBS (2009): KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. S. 105–108.
- DE KEIZER, O., CARAMBIA, M. & E. NILSON (2010): Changes in mean flow in the Rhine River Basin. In: Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammer-

sen, R., Perrin, C. & D. Volken (2010): Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 109–114.

- EBERLE, M., H. BUITEFELD, K. WILKE & P. KRAHE (2005): Hydrological Modelling in the River Rhine Basin, Part III – Daily HBV Model for the Rhine Basin – Bericht BfG-1451, Koblenz.
- ENKE, W. & F. KREIENKAMP (2006): WETTREG, UBA project. World Data Center for Climate. CERA-DB.
- GERSTENGARBE, F. W. (2009): PIK-STAR II run 2007–2060. World Data Center for Climate. CERA-DB.
- GÖRGEN, K., BEERSMA, J., BRAHMER, G., BUITE-VELD, H., CARAMBIA, M., DE KEIZER, O., KRAHE, P., NIL-SON, E., LAMMERSEN, R., PERRIN, C. & D. VOLKEN (2010): Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. KHR Bericht No. I-23. S. 19–50.
- HOLLWEG, H-D., BÖHM, U., FAST, I., HENNEMUTH, B., KEULER, K., KEUP-THIEL, E., LAUTENSCHLAGER, M., LEGUTKE, S., RADTKE, K., ROCKEL, B., SCHUBERT, M., WILL, A., WOLDT, M. & C. WUNRAM (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. 150 S.
- HOLTMANN, B., SCHOLTEN, A., RENNER, V., GRÜNDER, D., NILSON, E., BAUMHAUER, R. & B. ROTHSTEIN (2012): Analysen zur Betroffenheit der Binnenschifffahrt und der Wirtschaft am Rhein, in diesem Band.
- IPCC (2011): Definition of terms used within the IPCC data distribution pages. http://www.ipcc-data.org/ddc_definitions.html.
- JACOB, D. (2006): REMO climate of the 20th century run and A1B scenario run, UBA project, 0.088 degree resolution, 1h data. World Data Center for Climate. CERA-DB.
- JACOB, D., NILSON, E., TOMASSINI, L. & K. BÜLOW (2009): REMO climate of the 20th century run and A1B

scenario run, BfG project, 0.088 degree resolution, 1h data. World Data Center for Climate. CERA-DB.

- KRAHE, P., NILSON, E., CARAMBIA, M., MAURER, T., TO-MASSINI, L., BÜLOW, K., JACOB, D. & H. MOSER (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 5/2009. S. 316–331.
- KRAHE, P. & E. NILSON (2009): Von der Klimaprojektion zum hydrologischen Szenario: Methodische Aspekte. In: BMVBS (2009): KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. S. 109–114.
- MEIJER, D. G. (2009): Aktualisierung des SOBEK-Modells Iffezheim/Maxau-Andernach. Interner Bericht, BfG. 76 S.
- MEISSNER, D. (2008): Erstellung, Kalibrierung und Validierung des SOBEK-Modells für die Rheinstrecke zwischen den Pegeln Andernach und Lobith. BfG-Bericht 1593. 100 S.
- MUDELSEE, M., CHIRILA, D., DEUTSCHLÄNDER, T., DÖRING, C., HAERTER, J., HAGEMANN, S., HOFFMANN, H., JACOB, D., KRAHE, P., LOHMANN, G., MOSELEY, C., NILSON, E., PANFEROV, O., RATH, T. & B. TINZ (2010): Climate Model Bias Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie. Mitteilungen Deutsche Meteorologische Gesellschaft 03/2010.
- NILSON, E. (2009): Das KLIWAS-Pilotprojekt 4.01 "Hydrologie und Binnenschifffahrt" Ziele und Untersuchungsrahmen. In: BMVBS (2009): KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. S. 69–74.
- NILSON, E., CARAMBIA, M., KRAHE, P., RACHIMOW, C. & J. BEERSMA (2010a): Bias-Korrekturmodelle im Vergleich: Eine Bewertung im Kontext der hydrologischen

Klimafolgenforschung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 29. S. 111–118.

- NILSON, E., PERRIN, C., BEERSMA, J., CARAMBIA, M., KRAHE, P., DE KEIZER, O. & K. GÖRGEN (2010b): Evaluation of data and processing procedures. In: Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & D. Volken (2010): Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 51–95.
- NILSON, E., CARAMBIA, M. & P. KRAHE (2010c): Low flow changes in the Rhine River basin. In: Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & D. Volken (2010): Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 115–119.
- VAN DER LINDEN, P. & J. F. B. MITCHELL (2009): ENSEMBLES Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 S.

Analysen zur Betroffenheit der Binnenschifffahrt und der Wirtschaft am Rhein

Berthold Holtmann (DST), Anja Scholten (Univ. Würzburg), Roland Baumhauer (Univ. Würzburg), Benno Rothstein (HFR), Dieter Gründer (DST), Volker Renner (DST) & Enno Nilson (BfG)

1 Einleitung

Unternehmen der verladenden Wirtschaft sind auf kostengünstige und zuverlässige Gütertransporte angewiesen. Dies gilt sowohl für massengutaffine Branchen wie z. B. Energiewirtschaft, Montan- und chemische Industrie als auch für den Transport von Containern. Diese Transportnachfrage wird im Rheinkorridor zu großen Teilen durch die Binnenschifffahrt abgedeckt, die auf dem Rhein aufgrund der dortigen guten Infrastrukturbedingungen durch eine hohe Kostengunst und große Leistungsfähigkeit gekennzeichnet ist.

Der Einfluss des Klimawandels auf das Wasserdargebot, den Abfluss und die Wassertiefen (vgl. Beitrag NILSON et al. in diesem Band) kann sich in diesem Kontext auf verschiedene Aspekte erstrecken wie z.B. auf Kostenstrukturen, Transportkapazitäten und Zuverlässigkeit der Binnenschifffahrt sowie in Abhängigkeit davon auf die Unternehmen der verladenden Wirtschaft. Im Rahmen des Projektes KLIWAS - "Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität" (KLIWAS 4.01) beschäftigt sich der vorliegende Beitrag mit den Auswirkungen eines möglichen Klimawandels auf Kostenstrukturen und Transportkapazitäten der Binnenschifffahrt auf dem Rhein sowie mit der Betroffenheit der Verlader am Beispiel ausgewählter Unternehmen verschiedener Branchen. Er setzt die bei HOLTMANN & BIALONSKI (2009) und Scholten & Rothstein (2009) im Rahmen der ersten KLIWAS-Statuskonferenz vorgestellten Konzepte um und entwickelt diese fort.

2 Auswirkungen auf die Kostenstrukturen der Binnenschifffahrt

2.1 Konzept

Der Einfluss des Klimawandels auf die Kostenstrukturen der Binnenschifffahrt ergibt sich primär über die verfügbaren Wassertiefen in Verbindung mit den entsprechenden Fließgeschwindigkeiten bzw. deren mögliche Änderungen. Dabei beeinflusst zunächst die Wassertiefe des flachsten Wasserstraßensegmentes den möglichen Tiefgang und damit die maximale Zuladung und Auslastung des Schiffes (sog. abladerelevante Wassertiefe). Gleichzeitig wirken sich geringe Wassertiefen und hohe Fließgeschwindigkeiten ungünstig auf den Leistungsbedarf und die mögliche Geschwindigkeit und damit auf die Umlaufzeit aus (sog. vortriebsrelevante Wassertiefe). Hier ist die kleinräumig sehr variable Topographie des Flussbettes zu berücksichtigen.

Diese Zusammenhänge gelten für jede Schiffsklasse, jede (tagesaktuelle) Wassertiefe und jeden Tiefgang jeweils individuell. Sie werden im Rahmen des Projektes anhand eines hierfür entwickelten Modells in der genannten Differenzierung analysiert. Dabei werden die verschiedenen Schiffstypen mit ihren unterschiedlichen Tiefgängen bzw. ihrer unterschiedlichen "Sensibilität" gegenüber Niedrigwassersituationen entsprechend berücksichtigt.

Der für die Zukunft projizierte Klimaeinfluss wird anhand unterschiedlicher Abflussszenarien erfasst, die von der Bundesanstalt für Gewässerkunde generiert werden. Dabei werden die derzeit vorhandenen Unsicherheiten der Klimamodellierung berücksichtigt. Bereitgestellt werden letztlich 150 Jahre täglicher Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für 15 Rheinsegmente, wobei je ein "optimistisches" und ein "pessimistisches" Abflusssenario mit Blick auf die Entwicklung der Niedrigwasserbedingungen zugrunde liegt. Die zugehörigen Modellketten, mit denen die Daten erarbeitet wurden, lauten "B1-EH5r1-CCLM-LS-HBV-SOBEK" bzw. "A1B-EH5r1-CCLM-LS-HBV-SOBEK". Einzelheiten hierzu finden sich bei NILSON et al. (in diesem Band) sowie in der dort zitierten Literatur.

Da die Ermittlung der Auswirkungen veränderlicher Fahrwasserbedingungen im Fokus der Studie steht, werden weitere Parameter, wie z. B. die Preise für Treibstoff oder die Kosten für Kapitaldienst und Personal bewusst konstant gehalten. Die entsprechenden Informationen basieren auf Expertengesprächen und eigenen Rechnungen und Recherchen bzw. werden der Literatur entnommen (Planco & BFG 2007 in Bezug auf Personalkostenstrukturen).

2.2 Bisherige Ergebnisse

Die Modellrechnungen werden zunächst für den Referenzlauf durchgeführt und validiert. Dabei wird der Zeitraum von 1980 bis 2007 betrachtet (und die Wassertiefen der "Ist"-Simulation auf Basis beobachteter Abflüsse zugrunde gelegt).

Bei der Analyse der Ergebnisse werden erwartungsgemäß und in Übereinstimmung mit HOLTMANN & BIALONSKI (2009) verschiedene Tendenzen deutlich:

- (1) Bei günstigen (höheren) Wasserständen verzeichnen größere Schiffe aufgrund guter Auslastung und hoher Geschwindigkeit niedrigere Stückkosten als kleinere Schiffe; hier kommen so genannte Größeneffekte (Economies of Scale) zum Tragen.
- (2) Bei niedrigen Wasserständen steigen die Stückkosten aufgrund sinkender Auslastung und Geschwindigkeit, bei großen Schiffen jedoch stärker als bei kleineren Schiffen. Bei weiter sinkenden Wasserständen kommen größere Schiffe eher in den Bereich, in dem ein Einsatz gar nicht mehr möglich ist; die Stückkosten können dann zeitweise höher als bei kleinen Schiffen sein.

Im Weiteren werden die Wirkungen der beiden vorgenannten Abflussszenarien bis in das Jahr 2100 untersucht. Um die langjährigen Trends und Entwicklungen besser erkennen und auswerten zu können, werden die sehr differenziert vorliegenden Einzelergebnisse in aggregierter Form betrachtet: Konkret wird jeweils ein 30-Jahreszeitraum der "nahen Zukunft" (2021 bis 2050)

und der "fernen Zukunft" (2071 bis 2100) mit einem 30-Jahreszeitraum der Vergangenheit (1961 bis 1990) verglichen. Exemplarisch werden hier drei Schiffstypen (Johann Welker, GMS und Koppelverband) auf der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, betrachtet

Für die "nahe Zukunft" zeigt sich ein uneinheitliches Bild (Abb. 1): Es wird deutlich, dass im "optimistischen" Szenario aufgrund im Mittel steigender Wasserstände die Stückkosten im Durchschnitt sinken, während im "pessimistischen" Szenario im Durchschnitt leicht steigende Stückkosten zu erwarten sind. Demgegenüber ist für die "ferne Zukunft" in beiden Szenarien ein deutlicher Trend in Richtung steigende Stückkosten zu erkennen; dieser ist im "pessimistischen" Szenario mit

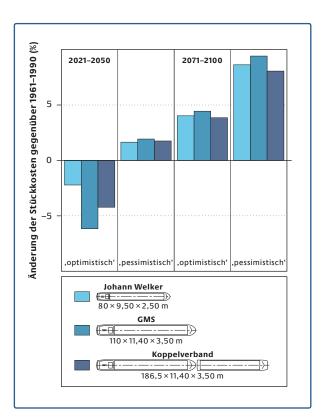


Abb. 1: Änderung der Stückkosten (vieljähriges Jahresmittel) auf der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der Kostenstrukturen

einer Zunahme der durchschnittlichen Stückkosten um ca. 8–10% etwa doppelt so stark ausgeprägt, wie im "optimistischen" Szenario, bei dem die Zunahme der durchschnittlichen Stückkosten unter 5% bleibt.

3 Auswirkungen auf die Transportkapazitäten der Wasserstraße Rhein

3.1 Konzept

Neben den Kostenstrukturen werden auch die Kapazitätswirkungen näher analysiert. Hierbei steht die Fragestellung im Mittelpunkt, ob bzw. inwiefern die Transportkapazität des Rheins als Wasserstraße durch Folgen des Klimawandels beeinträchtigt wird. Zur Klärung dieser Frage wird insbesondere der Zusammenhang zwischen den Fahrwasserbedingungen und den möglichen Auslastungen der verschiedenen Schiffsgrößenklassen hergestellt und analysiert.

Dabei wird in der Modellierung unterstellt, dass die Schiffe entsprechend der Wassertiefen jeweils maximal beladen werden. Somit wird hier eine wasserstandsabhängige rechnerische Maximalkapazität betrachtet.

Wie schon bei den Kostenstrukturen wird auch hier gemäß den Abflussszenarien (NILSON et al., in diesem Band) jeweils eine "optimistische" und eine "pessimistische" Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse in den Zeiträumen bis 2100 zugrunde gelegt. Darüber hinaus werden drei verschiedene Flottenszenarien betrachtet, anhand derer mögliche Flottenentwicklungen bis 2100 berücksichtigt werden:

- "Status quo" (Flotte wie im Jahr 2010),
- "Trend: große Schiffe",
- "Anpassung: kleine Schiffe".

Im Szenario "Status quo" wird angenommen, dass sich die Flottenzusammensetzung im 21. Jahrhundert gegenüber der aktuellen Situation (2010) nicht verändert. Das Szenario "Trend: große Schiffe" geht davon aus, dass sich der aktuelle Trend hin zu größeren Schiffen fortsetzen wird. Demgegenüber unterstellt das Szenario "Anpassung:

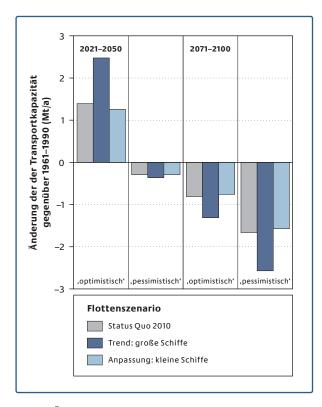


Abb. 2: Änderung der Transportkapazität (vieljährige mittlere Jahressumme) auf der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, 2 Abflussszenarien, 3 Flottenszenarien, beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der Kapazitäten

kleine Schiffe", dass sich der Trend zu großen Schiffen in den kommenden Jahrzehnten abschwächt und ab Mitte des Jahrhunderts aufgrund erwarteter Klimawirkungen umkehrt in einen Trend hin zu kleineren Schiffen.

Alle anderen Parameter werden wiederum konstant gehalten, um den Effekt der veränderlichen Fahrwasserbedingungen zu isolieren.

3.2 Bisherige Ergebnisse

Exemplarisch wird nachfolgend die Änderung der Transportkapazität (vieljährige Jahressumme) am Beispiel der Relation Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, in Form von 2 Abflussszenarien und 3 Flottenszenarien vorgestellt.

Wie bereits bei den Kostenstrukturen zeigt sich auch bei der Transportkapazität für die "nahe Zukunft" ein uneinheitliches Bild: Während die Transportkapazität im "optimistischen" Abflussszenario aufgrund im Mittel steigender Wasserstände signifikant zunimmt, ist im "pessimistischen" Szenario eine leichte Abnahme der Transportkapazität gegenüber 1961–1990 zu erwarten. In der "fernen Zukunft" werden in Analogie zu den Kostenstrukturen in beiden Abflussszenarien sinkende Transportkapazitäten, die mit im Mittel sinkenden Wasserständen und steigenden Stückkosten korrelieren, erwartet (Abb. 2).

Die genannten Trends sind jeweils für alle 3 Flottenszenarien zu erkennen, jedoch mit deutlich unterschiedlichem Gewicht. Im Vergleich zum Szenario "Status quo" führt das Szenario "Trend: Große Schiffe" aufgrund der im Durchschnitt größeren Tragfähigkeiten bei günstigen (höheren) Wasserständen zu größeren Kapazitätsgewinnen und bei ungünstigen (niedrigeren) Wasserständen zu größeren Kapazitätsverlusten. Demgegenüber ist im Szenario "Anpassung: Kleine Schiffe" erwartungsgemäß die entgegen gesetzte Entwicklung zu erkennen, nämlich eine geringere Ausprägung der gleichen Trends gegenüber dem "Status quo".

4 Auswirkungen auf die verladende Wirtschaft

4.1 Konzept

Neben der Betroffenheit der Binnenschifffahrt auf dem Rhein wird auch untersucht, inwieweit die verladenden Unternehmen entlang des Rheins betroffen sind und inwieweit sich eine mögliche Betroffenheit auf das Unternehmerverhalten auswirkt. Hierbei wurde bewusst nicht versucht, "top-down" von der gesamtökonomischen Entwicklung auf das Verhalten des einzelnen Unternehmens zu schließen, sondern "bottom-up" beim einzelnen Unternehmen anzusetzen und dessen spezifische Rahmenbedingungen und Verhaltensweisen zu berücksichtigen.

Die wesentlichen Methoden der Datenerhebung sowie das resultierende Datenkollektiv sind bei Scholten &

ROTHSTEIN (2009) beschrieben. Auf dieser Grundlage wurde ein Index abgeleitet, mit dessen Hilfe sich die Vulnerabilität unterschiedlicher Unternehmensgruppen gegenüber Niedrigwassersituationen quantitativ darstellen und vergleichen lässt. Eine ausführliche Beschreibung findet sich bei Scholten & ROTHSTEIN (2012).

Als Maßzahl der Betroffenheit der verladenden Wirtschaft wird die prozentuale Abweichung von der optimalen (d. h. unter gegenwärtigen Bedingungen realisierten) Lagerhaltung verwendet. Der Grad, in dem die optimale Lagerhaltung unter Niedrigwasserbedingungen mit Fahrwassereinschränkungen erreicht werden kann, hängt wesentlich von der jeweils gewählten Schiffsgrößenklasse (unter 1.350 t, zwischen 1.400 t und 3.000 t, 3.700 t oder größer; vgl. oben) sowie dem Anteil des Binnenschiffstransport am Transportmix eines Unternehmens (unter 20%, zwischen 20 und 40%, über 50%) ab. Diese Informationen wurden durch eine Unternehmensbefragung beigebracht.

Ebenfalls auf Grundlage der Befragung werden verschiedene Anpassungsszenarien generiert. Beispiels-

weise umfasst das "Anpassungsszenario 2003" die Anpassungsmaßnahmen, die von den Verladern während des Niedrigwassers 2003 bereits erfolgreich angewendet wurden. Hierzu gehören die Vergrößerung des Lagers (manchmal auch kurzfristig möglich, beispielsweise durch die Zwischenlagerung fertiger Produkte auf Wiesen oder in Häfen), die Verlagerung von Transportmengen auf andere Verkehrsträger, der Einsatz von zusätzlichen Schiffen und der Umstieg auf kleinere Schiffsgrößen, die Niedrigwasser gegenüber weniger anfällig sind, um nur einige zu nennen. Dabei sind bei allen Anpassungsmaßnahmen natürlich auch die entsprechenden Nachteile für den Verlader mitzudenken. So ergeben sich beispielsweise bei der Verlagerung des Transports auf andere Verkehrsträger nicht nur höhere Kosten und kleinere Packungsgrößen, sondern es besteht auch das Problem der geringen freien Kapazitäten auf Straße und Schiene.

Daten zu den zukünftigen Niedrigwasserbedingungen werden wie oben beschrieben ausgehend von "optimistischen" bzw. "pessimistischen" Abflussszenarien,

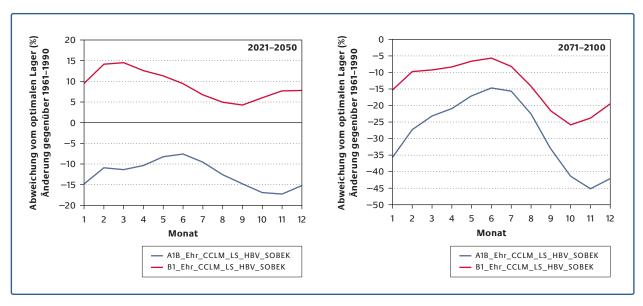


Abb 3: Abweichung von der optimalen Lagerhaltung: Änderungen gegenüber 1961–1990 basierend auf zwei Abflussszenarien gemittelt für Unternehmen mit Bevorzugung der Schiffsgröße 3.000 t. Szenario "Keine Anpassung"; Quelle: eigene Berechnungen basierend auf den Unternehmensdaten und Fahrrinnentiefendaten der BfG

bzw. den entsprechenden Fahrrinnentiefen gewonnen. Weitere Zukunftsentwicklungen (z. B. weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen) werden bewusst auf heutigem Niveau konstant gehalten, da der Fokus auf der Sensitivität gegenüber möglichen zukünftig auftretenden Niedrigwasserereignissen liegt.

4.2 Betroffenheit einer Verlader-Gruppe unter Klimawandel-Bedingungen

In Abbildung 3 ist die prozentuale Abweichung von der optimalen Lagerhaltung als Änderung gegenüber der Referenzperiode 1961-1990 exemplarisch für die Verladergruppe mit einer bevorzugten Schiffsgröße über 3.000 t dargestellt. Die Änderungen sind konsistent mit den in Abschnitt 2 und 3 genannten, sowie den Änderungen des Abflussregimes (vgl. Nilson et al, in diesem Band): Für die "nahe Zukunft" (2021–2050) scheint die Abweichung von der optimalen Lagerhaltung moderat. Die beiden Abflussszenarien führen hier zu einer Spanne von ±15% mit leichten Schwankungen im mittleren Jahresgang. Für die "ferne Zukunft" hingegen zeigt die Bandbreite der Szenarien eine Abweichung in negativer Richtung zwischen -5 und -45%, wobei die Abweichungen in der ersten Jahreshälfte bzw. der Mitte des Jahres am geringsten sind und die deutlichsten Abweichungen im Herbst auftreten.

In weiteren Auswertungen (hier nicht dargestellt) wird die Wirkung von Anpassungsszenarien in die Betrachtung einbezogen. Aufgrund der begrenzten Datenlage ist dies nur für einzelne Unternehmen möglich. Die Berechnungen zeigen, dass Maßnahmen wie sie etwa im Jahr 2003 getroffen wurden, die Betroffenheit der jeweiligen Unternehmen deutlich abdämpfen, sie jedoch, je nach Szenario, nicht vollständig kompensieren können. Hierzu sind sowohl kombinierte Maßnahmen als auch weitere Innovationen in Form von operativen und investiven Maßnahmen (Ausstattung von Schiffen, Continue-Betrieb) nötig, die im weiteren Verlauf von KLIWAS untersucht werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Wirkungsgefüge von der Treibhausgasemission über das globale und regionale Klima hin zu den Wirkungen auf den hydrologischen Wasserhaushalt, die Hydrodynamik (s. Nilson et al., in diesem Band) auf die Wasserstraße Rhein und die Wasserstraßennutzer wurde im Rahmen des KLIWAS-Projektes 4.01 modellhaft implementiert. Validierungsexperimente zeigen ein plausibles Gesamtverhalten der Modellkette für relevante verkehrswasserwirtschaftliche Kennwerte.

Die bisher vorgestellten Änderungen der Kennwerte (hier: jährliche Mittel der schiffsseitigen Kostenstrukturen und Transportkapazitäten sowie der verladerseitigen Abweichungen von der optimalen Lagerhaltung) für die Mitte und das Ende des 21. Jahrhunderts folgen im wesentlichen den projizierten Entwicklungen der Abflussverhältnisse, d. h. moderate Änderungen (±10%) für die "nahe Zukunft" (Jahre 2021–2050) und deutliche Änderungen mit einer potentiell höheren Betroffenheit der Binnenschifffahrt und verladenden Wirtschaft in der "fernen Zukunft" (Jahre 2071–2100).

Mit der Modellkette kann nun die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen geprüft werden. Durchgeführt wurde dies für angepasste Flottenzusammensetzungen und ein angepasstes Verladerverhalten (z. B. Nutzung anderer Schiffsgrößen). Es zeigt sich, dass die aus den projizierten Änderungen der Fahrwasserverhältnisse resultierenden Wirkungen teilweise kompensiert werden können.

Zukünftige Arbeiten werden neben weiteren Varianten bzw. Szenarien zusätzliche Anpassungsoptionen (z. B. innovative Schiffskonzepte) analysieren.

Literatur

- DIN-TASCHENBUCH 211 (1996): Wasserwesen Begriffe, Berlin, Wien, Zürich, 1996.
- HOLTMANN, B., & W. BIALONSKI (2009): Einfluss von Extremwasserständen auf die Kostenstruktur und Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt. In: BMVBS

(2009): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. 80–82.

- NILSON, E., CARAMBIA, M., KRAHE, P., LARINA, M., BELZ, J. U. & M. PROMNY (2012): Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein. In diesem Band.
- PLANCO & BFG (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. Essen, Koblenz, 2007.
- SCHOLTEN, A. & B. ROTHSTEIN (2009): Kritische Einflussgrößen für die massengutaffine Wirtschaft, In: BMVBS (2009): KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 1. Statuskonferenz. 83–87.
- SCHOLTEN, A. & B. ROTHSTEIN (2012): Auswirkungen von Niedrigwasser und Klimawandel auf die verladende Wirtschaft, Binnenschifffahrt und Häfen entlang des Rheins Untersuchungen zur gegenwärtigen und zukünftigen Vulnerabilität durch Niedrigwasser, Würzburger Geographische Arbeiten, Heft 107, Würzburg.

Untersuchungen zu verkehrswasserbaulichen Anpassungsoptionen an extreme Niedrigwassersituationen

Sven Wurms (BAW) & Michael Schröder (BAW)

1 Einleitung

Für die Schifffahrt ist von wesentlicher Bedeutung, welche potenziellen Auswirkungen durch den Klimawandel auf die Nutzung der Wasserstraßen zu erwarten sind. Abflussprojektionen für den Rhein als wichtigste Wasserstraße Europas, welche aus dem Forschungsprogramm "Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt" (KLIWAS) resultieren, deuten auf eine mögliche Verschärfung der Niedrigwasserabflüsse in der fernen Zukunft (Jahre 2071-2100) hin (NILSON et al. 2010). Durch häufigere und länger anhaltende Niedrigwasserperioden würde einerseits die maximal mögliche Abladetiefe reduziert, was unmittelbare Folgen für die Wirtschaftlichkeit des Transports per Schiff hätte. Andererseits käme es bei Wasserständen unter dem heutigen Gleichwertigen Wasserstand (GlW₂₀₀₂) zu Breiteneinschränkungen in der Fahrrinne, wodurch die Leichtigkeit und Sicherheit beeinträchtigt würde, mit der ein Binnenschiff in Engpassstellen zu navigieren vermag. Im Rahmen des KLIWAS-Projekts 4.03 "Verkehrswasserbauliche Regelungs- und Anpassungsoptionen an Klima bedingte Veränderungen des Abflussregimes" werden daher die Eignung und Wirksamkeit verkehrswasserbaulicher Anpassungsmaßnahmen als Reaktion auf mögliche Klima bedingte hydrologische und morphologische Änderungen untersucht (Heinzelmann & Schmidt 2010).

2 Analyse des heutigen Niedrigwasserausbaus unter veränderten hydrologischen Randbedingungen

Als Grundlage für mögliche Anpassungsoptionen an die Folgen des Klimawandels wird zunächst das Ausmaß der Betroffenheit der Binnenschifffahrt durch zukünftig möglicherweise verschärfte Niedrigwasserabflüsse exemplarisch für den Rheinabschnitt zwischen Mainz und St. Goar (Rhein-km 493,0–557,5) untersucht. Hierfür wird der heutige Zustand der Wasserstraße mit Hilfe eines hochaufgelösten, 2D-hydrodynamisch numerischen Modells unter Verwendung des Verfahrens TELEMAC-2D (HERVOUET & BATES 2000) unter veränderten hydrologischen Randbedingungen betrachtet, um so auf potenzielle zukünftige Tiefenengpässe schließen zu können.

2.1 Pilotstrecke Mainz-St. Goar

Innerhalb der Pilotstrecke befindet sich zwischen Rheinkm 508,0 und 557,0 der Abschnitt mit der geringsten im frei fließenden Rhein freigegebenen Fahrrinnentiefe. Diese beträgt 1,90 m unter dem GlW₂₀₀₂ und ist damit um 0,2 m geringer als in den angrenzenden ober- bzw. unterstromigen Abschnitten. Bei niedrigen und mittleren Wasserständen werden die mögliche Abladetiefe und damit die Wirtschaftlichkeit für die durchgehende Binnenschifffahrt maßgeblich durch diesen Stromabschnitt eingeschränkt. Auf einer Länge von ca. 65 km ist der Rhein in dieser Strecke durch sehr unterschiedliche Charakteristika geprägt. Während das Bild im Rheingau von Mainz bis Bingen von einem äußerst geringen Gefälle, sehr breiten Fließquerschnitten und einer Vielzahl von Stromverzweigungen dominiert wird, schließt zwischen Bingen und St. Goar der steilste Abschnitt des frei fließenden Rheins an. Die kompakten Fließquerschnitte in dieser Teilstrecke gehen überwiegend mit steilen Uferberandungen und einer felsdurchsetzten Sohle einher.

Mögliche Klima bedingte Abflussänderungen innerhalb der Pilotstrecke fließen in Form von Bandbreiten projizierter Änderungen an den Haupt- und Nebenpegeln in die Untersuchungen ein. Um diese Bandbreiten – ein Resultat des in KLIWAS verfolgten Multimodellansatzes und somit einem zentralen methodischen Ansatz von

KLIWAS – weiter prozessieren zu können, erfolgt die Analyse des heutigen Niedrigwasserausbaus in Form einer Sensitivitätsuntersuchung unter Verwendung sukzessive reduzierter, die Bandbreite abdeckender Niedrigwasserabflüsse. So wird für den Pegel Kaub, maßgeblicher Pegel für die Binnenschifffahrt innerhalb der Pilotstrecke, eine Änderung der Niedrigwasserkenngröße NM7Q¹ von +10% bis −10% in der nahen Zukunft (2021-2050) projiziert. Im Gegensatz hierzu zeigen die Projektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) eine eindeutige Tendenz mit Änderungen des NM7Q von -10% bis -25% (NILSON et al. 2010). Die Analyse des heutigen Niedrigwasserausbaus erfolgt jedoch unter Verwendung des im Hinblick auf den Ausbau und die Unterhaltung der Wasserstraße relevanten GlQ anstelle des NM7Q. Bei dem GlQ handelt es sich um einen definierten, rheinspezifischen Niedrigwasserabfluss, welcher am Pegel Kaub mit 750 m³/s nur geringfügig unterhalb des NM7Q liegt. In Anlehnung an die projizierten Abflussänderungen wird die Bandbreite der zu untersuchenden Niedrigwasserabflüsse daher auf GlQ bis GlQ -25% festgelegt.

2.2 Ergebnisse der Analyse

Wesentliche Ergebnisse der hydraulischen Analyse des heutigen Niedrigwasserausbaus sind sowohl die Lage als auch die Volumina potenzieller zukünftiger Fehlstellen, also der Bereiche innerhalb der Fahrrinne, in welchen die Fahrrinnensolltiefe aufgrund zu geringer Wassertiefen unterschritten wird. Obwohl es sich bei den gepeilten Sohllagen, welche die Grundlage der Analyse darstellen, lediglich um Momentaufnahmen des dynamischen Systems Flusssohle handelt, zeigt Abbildung 1 deutlich, dass mit einer Verschärfung der Niedrigwasserabflüsse ein nichtlinearer Anstieg der Gesamtvolumina der Fehlstellen einhergeht. Während eine moderate Reduktion des GlQ noch durch bereichsweise vorhandene Tiefenreserven innerhalb der Fahrrinne gepuf-

¹ NM7Q bezeichnet das niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses an sieben aufeinanderfolgenden Tagen (BELZ et al. 2004)

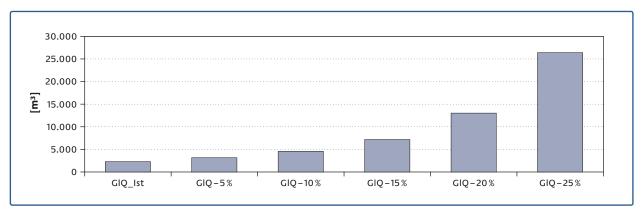


Abb. 1: Gesamtvolumen der Fehlstellen innerhalb der existierenden Fahrrinne infolge reduzierter Niedrigwasserabflüsse (Rhein-km 493,0–557,5; Sohle 2004/2006)

fert wird, treten ab einer Reduktion des GIQ um ca. 15 % eine Vielzahl neuer Fehlstellen innerhalb der Fahrrinne auf (Wurms et al. 2010). Den größten Anteil am Gesamtvolumen der Fehlstellen haben die Mittelgründe, welche in Abhängigkeit der Reduktion der Niedrigwasserabflüsse mitunter über die gesamte Fahrrinnenbreite in den Fahrrinnenkasten ragen und damit eine erhebliche Beeinträchtigung für die Binnenschifffahrt darstellen.

3 Verkehrswasserbauliche Anpassungsoptionen

Wichtige Elemente zur Verbesserung der Befahrbarkeit in extremen Niedrigwasserperioden sind neben einer Anpassung des Schiffbaus und der Flottenstruktur verkehrswasserbauliche Anpassungsmaßnahmen. Generell lässt sich eine Erhöhung der Fahrwassertiefe durch unterschiedliche Maßnahmen erreichen. Eine Option stellt die Modifikation der Fahrrinne in ihrer Lage und Geometrie dar. Weiterhin lässt sich eine Verbesserung der Befahrbarkeit über den Einsatz von Regelungselementen erzielen, wobei diese entweder für eine Stützung des Wasserspiegels oder aber für die Reduzierung vorhandener Anlandungstendenzen ausgelegt werden können. Interessant sind in diesem Zusammenhang flexible, nur bei niedrigen Abflüssen wirksam werdende Regelungsmaßnahmen, da sie neben ihrer Wirkung in-

nerhalb eines definierten Abflussspektrums deutlich geringere Auswirkungen auf das Gesamtsystem Wasserstraße aufweisen als konventionelle Regelungsmaßnahmen wie z. B. Buhnen oder Leitwerke.

3.1 Anpassung der Fahrrinne

Eine Option, die Leistungsfähigkeit der Binnenschifffahrt auch bei extremen Niedrigwasserabflüssen aufrecht zu erhalten, stellt die Vertiefung der Fahrrinne auf eingeschränkter Breite unter Ausnutzung von Übertiefen dar. Hieraus resultiert auch in Niedrigwasserphasen ein durchgehendes Fahrwasser mit ausreichender Tiefe, welches zusätzlich zur existierenden Fahrrinne unterhalten wird. Lage und Mindestbreite der Vertiefung resultieren aus dem KLIWAS-Projekt 4.04 "Ermittlung von Mindestfahrrinnenbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt" (WASSERMANN et al. 2010). Vorteil dieser abgestuften Vertiefung gegenüber einer Vertiefung der Fahrrinne über deren gesamte Breite ist unter anderem der zu erwartende reduzierte Unterhaltungsaufwand. Dies gilt es im Rahmen weiterer Untersuchungen unter Verwendung eines morphodynamischen Modells zu bestätigen.

Hydrodynamische Untersuchungen belegen die positive Wirkung der Vertiefung der Fahrrinne auf einge-

schränkter Breite auf eine Solltiefe von 2,10 m unter dem Wasserspiegel, welcher sich bei GlQ -25% einstellt, zuzüglich 0,1 m Baggertoleranz. Hierdurch kann im gesamten Untersuchungsbereich die Fahrwassertiefe von 2,10 m bei GlQ -25% erreicht werden, da lokal auftretende Absenkungen der Wasserspiegellagen bei genanntem Abfluss im Maximum 0,02 m betragen. In den unmittelbaren Vertiefungsbereichen treten leicht reduzierte Schubspannungen auf, wodurch die Anlandungstendenz in den zur Umsetzung der abgestuften Vertiefung erforderlichen Baggerbereichen etwas erhöht wird. Langfristig ist jedoch eine Minimierung des Unterhaltungsaufwandes anzustreben. Ergänzend zur Vertiefung der Fahrrinne, sofern diese in dynamischen Bereichen wiederkehrender Anlandungen erfolgt, ist daher unter wirtschaftlichen Aspekten der Einsatz von Regelungsbauwerken zur Erhöhung der Schubspannungen in den Vertiefungsbereichen zu untersuchen.

3.2 Regelungsmaßnahmen zur Reduzierung von Anlandungstendenzen in Tiefenengstellen

Im Falle reduzierter Niedrigwasserabflüsse sind es insbesondere die Bereiche der bereits unter heutigen Abflussbedingungen wiederkehrenden Anlandungen, in welchen Beeinträchtigungen der Schifffahrt auftreten. Zur Verbesserung dieses Umstands können entweder als alleinige Maßnahme innerhalb solcher Bereiche oder in Ergänzung zur abgestuft vertieften Fahrrinne jene Regelungsmaßnahmen beitragen, die auf eine Erhöhung der Schubspannung innerhalb der maßgeblichen Anlandungsbereiche abzielen und somit die Anlandungsraten verringern. In welchen Bereichen der Fahrrinne vor dem Hintergrund der Verkehrssicherung relevante, wiederkehrende Anlandungen auftreten, kann der Baggerhistorie eines jeden Streckenabschnitts entnommen werden. Abbildung 2 zeigt den Einsatz einer Regelungsmaßnahme zur Reduzierung der Anlandungstendenz, welche hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Fließtiefen

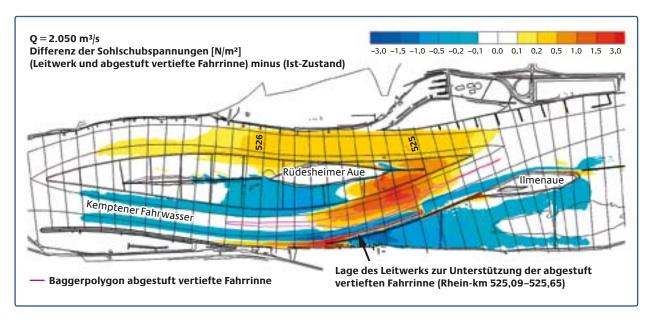


Abb. 2: Auswirkungen eines Leitwerks zur Unterstützung der abgestuft vertieften Fahrrinne auf die Sohlschubspannungen bei bettbildendem Abfluss im Bereich Rüdesheimer Aue

hochwasserneutral ausgeführt werden muss, exemplarisch für den Bereich des Kemptener Fahrwassers.

Als wesentliche Ursache für die Entstehung der wiederkehrenden Anlandungen zwischen Rhein-km 524,6 und 526,1 wurde die Querströmung identifiziert, welche bei Abflüssen größer als Mittelwasser bei der Überströmung des mit der Ilmenaue verbundenen Längswerkes im Kemptener Fahrwasser auftritt. Durch die Querströmung wird ein Energieverlust im Kemptener Fahrwasser und dadurch ein die Sedimentationstendenz begünstigender Rückstau oberstrom der Einmündung induziert. Die Regelungsmaßnahme zur Verminderung des Querströmungseinflusses und damit einhergehend der Erhöhung der Schubspannungen im Anlandungsbereich besteht aus einem linksseitig angeordneten Leitwerk im Kemptener Fahrwasser zwischen Rhein-km 525,09 und 525,65 mit einer Kronenhöhe auf Mittelwasser-Niveau plus 0,4 m, welches dem bestehenden Leitwerk um 30 m vorgelagert ist. Eine Optimierung der Regelungsmaßnahme hinsichtlich ihrer morphologischen Auswirkungen hat im Rahmen anschließender morphodynamischer Simulationen zu erfolgen.

3.3 Flexible, temporär wirkende Regelungsmaßnahmen zur Stützung des Wasserspiegels

Fahrwassertiefe lässt sich weiterhin über den Einbau von Regelungsmaßnahmen gewinnen. Konventionelle, statische Regelungsbauwerke wie Buhnen oder Leitwerke kommen dann in Frage, wenn durch sie weder eine Erhöhung der Wasserspiegellagen bei Hochwasserabflüssen induziert, noch die Schifffahrt behindert wird. Sollte dies nicht der Fall sein, so könnten flexible Regelungselemente in den genannten Situationen Abhilfe schaffen. Deren Wirkung entfaltet sich lediglich in einem begrenzten Abflussspektrum, im konkreten Fall z. B. während der temporären Stützung des Wasserspiegels in Niedrigwasserperioden. Ein deutlicher Vorteil flexibler, temporär wirkender gegenüber statischer Regelungsmaßnahmen wäre, dass die Morphodynamik im Umfeld der Regelungsmaßnahme durch die auf Niedrigwasserabflüsse begrenzte Wirkung nur geringfügig beeinflusst würde. Nachfolgend soll exemplarisch das Regelungspotential einer auf spezifische Abflussbedingungen zielenden Regelungsmaßnahme aufgezeigt werden, ohne jedoch genauer auf deren konstruktive Umsetzung einzugehen.

Sind Streckenabschnitte, welche unter reduzierten Niedrigwasserabflussbedingungen Fehltiefen innerhalb der Fahrrinne aufweisen, oberstrom einer Stromverzweigung lokalisiert, so bietet sich zur Stützung der Wasserspiegellagen aus hydraulischer Sicht die temporäre Abtrennung des Seitenarmes der Verzweigung an. Abbildung 3 zeigt beispielhaft für den Bereich des Bacharacher Werths den Anstieg des Wasserspiegels infolge einer vollständigen Absperrung des Seitenarmes (Kauber Wasser) bei extremem Niedrigwasserabfluss (GlQ -25%). Durch die Absperrung des Seitenarms könnte ein maximaler Tiefengewinn in der Fahrrinne von bis zu 0,3 m und von etwa 0,14 m noch 1,4 km stromauf, im Bereich eines unter Niedrigwasserverhältnissen maßgeblichen Tiefenengpasses, erzielt werden. Zur Feststellung der konstruktiven Machbarkeit solch eines gegebenenfalls nur bei entsprechenden Niedrigwassersituationen wirksam werdenden Absperrbauwerks bedarf es jedoch weitergehender grundsätzlicher Untersuchungen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegenden Projektionen zur möglichen Abflussentwicklung als Folge klimatischer Veränderungen weisen auf eine potenzielle Verschärfung der Niedrigwassersituationen in der fernen Zukunft (2071–2100) hin. Als Konsequenz hieraus wäre eine verkehrswasserbauliche Anpassung erforderlich, um auch zukünftig die Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt in Niedrigwasserperioden gewährleisten zu können.

Obgleich die Pilotstrecke als Folge mehrerer Ausbauphasen in der Vergangenheit bereits nahezu über die gesamte Länge flussbaulich geregelt ist, besteht dennoch ein wasserbauliches Potenzial zur Anpassung der Schifffahrtsverhältnisse an zukünftige hydrologische und morphologische Änderungen. Unter rein technischen

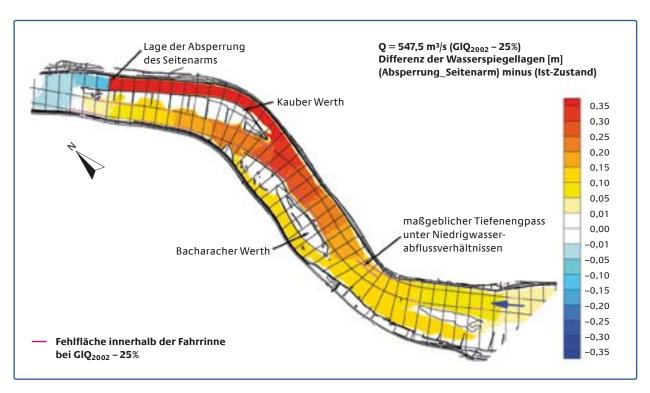


Abb. 3: Wirkung einer vollständigen Absperrung des Seitenarms einer Stromverzweigung auf die Wasserspiegellage bei extremem Niedrigwasserabfluss

Aspekten stellt eine auf reduzierter Breite vertiefte Fahrrinne eine geeignete Maßnahme dar, um ausreichende Fahrwassertiefen zu erzielen. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise gegenüber einer Vertiefung der Fahrrinne auf ihrer gesamten Breite ist der zu erwartende reduzierte Unterhaltungsaufwand.

Eine Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse in Bereichen ständig wiederkehrender Anlandungen kann – mit oder ohne Vertiefung der Fahrrinne auf eingeschränkter Breite – durch Regelungsmaßnahmen erreicht werden, welche auf die Erhöhung der Schubspannungen in den Anlandungsbereichen und damit eine Verringerung der Anlandungsraten abzielen.

Ein nicht zu vernachlässigendes Potenzial zur Erhöhung der Wasserspiegellagen bei Niedrigwasserabflüssen weisen flexible, nur bei diesen Abflüssen wirksam werdende Regelungselemente auf. Insbesondere unter

konstruktiven Aspekten besteht in diesem Zusammenhang jedoch noch erheblicher Untersuchungsbedarf.

Hinsichtlich der Umsetzung der hier beschriebenen verkehrswasserbaulichen Anpassungsmaßnahmen in anderen Streckenbereichen deutscher Wasserstraßen sind aufgrund der ortsspezifischen Charakteristika der Pilotstrecke sicherlich nicht alle genannten Maßnahmen als grundsätzlich zielführend anzusehen. Hierfür sind weitere, auf die Gegebenheiten der jeweiligen Strecke zugeschnittene Untersuchungen erforderlich, welche in ihrer Gesamtheit jedoch nicht innerhalb der Projektlaufzeit durchführbar sind.

Literatur

- Belz, J. U., Engel, H. & P. Krahe (2004): Das Niedrigwasser 2003 in Deutschlands Stromgebieten. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 48., H. 4., S. 162–169, 2004.
- HEINZELMANN, C. & A. SCHMIDT (2010): Verkehrswasserbau im Zeichen des Klimawandels. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 40, S. 3–13, 2010.
- HERVOUET, J. A. & P. BATES (Ed.) (2000): The Telemac Modelling System. Special Issue of Hydrological Processes, Volume 14, Issue 13, 2207–2363, 2000.
- NILSON, E., CARAMBIA, M. & P. KRAHE (2010): Low Flow Changes in the Rhine River Basin. In: Görgen, K. et al.: Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the Rhein-Blick2050 Project. CHR Report No. I-23, pp. 115–119, 2010 Download: http://www.chr-khr.org/files/CHR_I-23.pdf.
- WASSERMANN, S., SÖHNGEN, B., DETTMANN, T. & C. HEINZELMANN (2010): Investigations to define Minimum Fairway Widths for Inland Navigation Channels. 32. PIANC Congress, Liverpool, Großbritannien, 2010.
- WURMS, S., SCHRÖDER, P. M., WEICHERT, R. B. & S. WASSERMANN (2010): Strategies to Overcome the Possibly Restricted Utilisation of Fairways due to Climate Changes. River Flow 2010, Braunschweig, 2010.

Ermittlung von Fahrrinnenmindestbreiten durch Naturuntersuchungen

Bernhard Söhngen (BAW) & Lucia Hahne (BAW)

1 Einleitung

Jüngste Studien zum Einfluss des Klimawandels auf die zukünftigen Bedingungen für die Schifffahrt auf dem Rhein lassen für die ferne Zukunft (2071 bis 2100) längere und intensivere Phasen mit extremen Niedrigwasser erwarten (siehe Nilson et al. in diesem Band). Eine mögliche Anpassungsmaßnahme, um die durch verringerte Abladetiefen entstehenden wirtschaftlichen Einbußen aufzufangen, könnte eine ca. 2 dm tiefere Unterhaltung der heutigen Fahrrinne im Bereich zwischen Mainz und St. Goar sein. Das vorliegende Projekt untersucht entsprechende Anpassungsoptionen aus fahrdynamischer Sicht. Da deren Grenzen- und Möglichkeiten stark von den Fahrrinnenabmessungen abhängen, ermittelt das vorgestellte Projekt die minimalen Fahrrinnenbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt. Eine der derzeit untersuchten Anpassungsoptionen ist eine abgestufte Fahrrinne mit einer größeren Tiefe auf der ermittelten Mindestbreite. Durch die Ausnutzung der vorhandenen Übertiefen im Rahmen der nautischen Möglichkeiten heutiger Schiffe und durch die Begrenzung auf Mindestbreiten, könnten bei dieser Anpassungsoption die Kosten für die Tiefenunterhaltung gegenüber den Kosten für die Vertiefung auf der heutigen vollen Breite deutlich verringert werden.

Die Mindestbreiten werden mit Hilfe eines fahrdynamischen Modells bestimmt, das zunächst um die Instabilität des Schiffspfades, die verminderte Ruderwirkung bei geringen Wassertiefen, um moderne Steuereinrichtungen, Autopiloten und verbesserte Informationssysteme auf zukünftigen Schiffen ergänzt wurde. Der Einfluss von menschlichen Fähigkeiten und einer evtl. Häufung von Fahrfehlern aufgrund der erhöhten Anforderungen an den Schiffsführer unter Engpassbedingungen soll durch die Implementierung eines "human fac-

tor" in den Autopiloten der fahrdynamischen Modellverfahren erfasst werden. Die um den "human factor" erweiterte Autopilotierung ermöglicht statistisch vergleichbare Simulationen für verschiedene denkbare Zukunftsszenarien und für verschiedene Anpassungsoptionen. Sie soll so eine Entscheidungsgrundlage für die Konzeption zukünftiger Maßnahmen liefern.

2 Methoden

Ein erster Entwurf des Verlaufs und der Breite einer schmaleren und ggf. abgestuften Fahrrinne am Mittelrhein wurde mit Hilfe des hauseigenen zweidimensionalen fahrdynamischen Modells PeTra2D auf Basis von zweidimensionalen Strömungsdaten erstellt. Dieser Entwurf soll mit weiteren Entwicklungsstufen des Modells stetig überarbeitet werden. Die geplanten Modellverbesserungen werden anhand von theoretischen und numerischen Berechnungen, aus Daten von Naturuntersuchungen sowie Schiffsführerbefragung kalibriert und validiert.

Um Untergrenzen der Fahrrinnenbreiten bei nötigenfalls eingeschränkter Leichtigkeit unter Erhaltung der Sicherheit zu erhalten, soll mit Hilfe eines für 2D-Eingangsdaten erweiterten Routenplanungsalgorithmus und des Bahnführungsalgorithmus eines modernen Autopiloten (Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart, ISYS), eingebettet in Standard-Optimierungsverfahren, der Verkehrsflächenbedarf wirklichkeitsnah abgebildet werden. Der so errechnete, optimierte Verkehrsflächenbedarf soll für den menschlichen, unvollkommenen Schiffsführer durch die objektive Bestimmung streckenabhängiger Sicherheitsabstände angepasst werden, indem in Zusammenarbeit mit der Universität Kassel, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, der Einflussfaktor Mensch durch zusätzliche Parameter in den Bahnführungsalgorithmus integriert wird. Basis der Modellierung sind Schiffsführerbefragungen während Fahrversuchen auf dem Rhein mit gleichzeitiger Analyse der gefahrenen Kursachsen.

3 Naturuntersuchungen am Mittelrhein

Im Herbst 2010 wurden fahrdynamische Naturuntersuchungen zwischen den Rhein-km 500 und 530 durchgeführt. Dabei wurde neben einer Referenzmessung in einer weiteren Messphase auf der Strecke von Rhein-km 517–519,6 die Fahrrinne von 120 m auf 90 m eingeengt.

3.1 Fahrdynamische Untersuchungen

Während der fahrdynamischen Naturuntersuchungen wurden bei 70 Schiffen GPS-Empfänger an Bug und Heck montiert, die im sekündlichen Abstand die Position des Schiffes aufnahmen. So erhielt man die Fahrspur der einzelnen Schiffe. Die Untersuchungsergebnisse geben erste Hinweise zur Festlegung einer Mindestbreite der Fahrrinne in Geraden mit signifikanten Querströmungen und damit für Tiefenengstellen im Rheingau. Der Wert wird nach bisherigen Abschätzungen bei ca. 90 m liegen, ist aber noch bei höheren Wasserständen zu verifizieren.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen weiter, dass der Querströmungseinfluss und die zeitverzögerte bis fehlerhafte Reaktion des Schiffsführers, z.B. auf Kursabweichungen oder Instabilitäten des Schiffskurses, einen erheblichen Anteil an der Mindestbreite der Fahrrinne haben und genauer quantifiziert werden müssen. Der hier eingeschlagene Weg über die Interpretation von Naturdaten ermöglicht eine möglichst direkte Bemessung für beobachtete Standardsituationen. Weiterhin ermöglicht eine spektralanalytische Analyse der Schiffsbewegungen nach Anteilen der Kurvenfahrt, der Schlängelfahrt und der "Ruderarbeit" eine zunächst pragmatische Berücksichtigung von human-factor-Effekten.

Die aus Naturuntersuchungen abgeleiteten Daten, insbesondere zu den Zusatzbreiten in engen Kurven und im Querströmungsfeld für verschieden breite, lange und tief gehende Schiffe, ermöglicht weiterhin die Kalibrierung und Verifikation der fahrdynamischen Modellverfahren. Diese Kalibrierung ist notwendig, da das Modellverfahren PeTra2D, bei großen Tiefgang- zu Wassertiefenverhältnissen und bei unsymmetrischen Fahr-

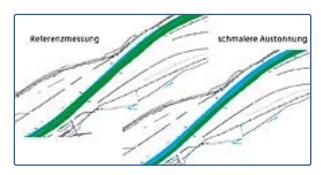


Abb. 1: Fahrspuren aller Bergfahrer (grün) während Messphase I und II, in Blau ist die ursprüngliche Fahrrinne dargestellt.

zeugzusammenstellungen und Fahrzeugen mit großem Verhältnis von Verbandsbreite zu Fahrzeuglänge, an seine Anwendungsgrenzen stößt, sodass die Ansätze zur Kraftberechnung semiempirisch ergänzt und anhand von Natur- und Modelldaten bestimmt werden müssen.

3.2 Durchführung einer Schiffsführerbefragung

In Zusammenarbeit mit der Universität Kassel, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, wurde eine Schiffsführerbefragung während der Fahrversuche auf dem Rhein durchgeführt. Es wurde versucht, die subjektiv empfundene Beanspruchung der Schiffsführer innerhalb der Fahrstrecke Rhein-km 517–519,5 mit normaler und künstlich eingeschränkter Fahrrinne durch Austonnung zu erfassen.

Während der Messphase mit verengter Fahrrinne wurden 28 Schiffsführer befragt. In der Referenzmessung mit bisheriger Fahrrinnenbreite wurden 36 Schiffsführer befragt. Um die subjektiv empfundene Beanspruchung der Schiffsführer in der Teststrecke zu ermitteln, wurde ein gewichtetes Mittel aus 6 verschiedenen Angaben ermittelt: körperliche, zeitliche, geistige Anforderung, erzielter Erfolg, notwendige Anstrengung und empfundene Frustration. Die Wichtung der Angaben erfolgte durch den Schiffsführer selbst.

Bei beiden Messphasen zeigte sich, dass die Beanspruchung unabhängig von der Austonnung innerhalb der Messstrecke (Rhein-km 517–519,6) um 50% größer

war als außerhalb (Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,5%). Dies ist voraussichtlich auf die Querströmungsproblematik zurückzuführen. Es erhöht sich dort für Schubverbände die Fahrspurbreite auf bis zu 27 m. Zum Vergleich: In den Richtlinien für Regelquerschnitte ist ein Wert von 16 Metern genannt. Die Querströmung erhöht somit die notwendige Verkehrsfläche um etwa eine Schiffsbreite bzw. um rund 10% der im ausgetonnten Bereich nutzbaren Fahrrinnenbreite. Hinzu kommt ggf. noch eine Querabdrift, die sich in der Fahrspurbreite nicht widerspiegelt. Diese Anmerkungen mögen verdeutlichen, warum gerade die kurzen Abschnitte zwischen Inseln mit ihren Querströmungen fahrdynamisch problematisch sind. Genau an diesen Stellen weitet sich der Fluss auf und es kommt zu unerwünschten Anlandungen im Bereich der Fahrrinne. Die Bereiche mit Querströmungen fallen somit häufig mit den Tiefenengstellen zusammen, an denen Einschränkungen der Fahrrinnenbreite morphodynamisch und unterhaltungstechnisch einen Sinn ergeben, sodass die Fahrrinnenbemessung insbesondere den Einfluss der Querströmungen erfassen muss.

In der Beanspruchung der Schiffsführer zeigte sich allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen verengter Fahrrinnenbreite und Referenzmessung. Dies lässt den Schluss zu, dass die Querströmungsproblema-

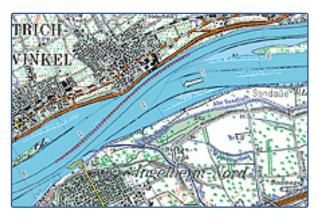


Abb. 2: Messstrecke der Versuchfahrten, rot: Bereich der verengten Fahrrinne, Pfeil: Querströmung von der großen in die kleine Gieß

tik im Bereich der Versuchsstrecke dominiert und die gewählte Breiteneinschränkung auf 90 m im untersuchten Rheinabschnitt noch vertretbar wäre.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe der Ergebnisse der Naturuntersuchungen wird das fahrdynamische Modell mit seinen aufgabenspezifischen Weiterentwicklungen kalibriert und validiert. Außerdem sollen in Zusammenarbeit mit der Universität Kassel, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Parameter für ein Mensch-Modell mit Hilfe von Naturuntersuchungen abgeleitet werden, um den sog. "human factor" abbilden zu können, d. h. die Sicherheitsaspekte bei "menschlicher" oder gar "fehlerbehafteter" im Gegensatz zu einer optimalen Fahrweise. Außerdem wird der Autopilot für die Fast-Time-Simulation mit PeTra2D mit den Optionen optimaler Steuerung, praxisüblicher Steuerung, Steuerung mit Fahrfehlern ausgebaut.

Mit Berücksichtigung von Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Fahrsituationen, wie Begegnungen und Überholmanöver verschieden großer Schiffe in bestimmten Streckenabschnitten mit künftig ggf. nicht auf voller, heutiger Breite vorliegenden, größeren Tiefen, soll im Ergebnis des Vorhabens am Beispiel des Mittelrheins ein Vorschlag für einen optimierten Fahrrinnenverlauf erarbeitet werden.

Zusammen mit den hydraulischen und morphodynamischen Untersuchungen im Vorhaben 4.03, sollen die Möglichkeiten und Grenzen darauf aufbauender Anpassungsoptionen im Hinblick auf die Abminderung der aus dem Klimawandel resultierenden Einschränkungen für die Binnenschifffahrt aus verkehrswasserbaulicher Sicht aufgezeigt werden.

Literatur

■ BAW (2009): Konzept Naturmessungen im Bereich Mariannenaue und Rüdesheimer Aue im Rahmen von KLIWAS, Version 1.05 – Entwurf; derzeit in Überarbeitung.

- BAW (2009): Verkehrswasserbauliche Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS. Flussbauliche Anpassungsoptionen, Mindestbreite der Fahrrinne. Tagungsunterlagen BAW-Kolloquium Verkehrswasserbauliche Untersuchungen am Rhein, 8. Oktober 2009.
- NILSON, E., CARAMBIA, M., KRAHE, P., LARINA, M., BELZ, J. U. & M. PROMNY (2012): Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein. In diesem Band.
- WASSERMANN, S., B. SÖHNGEN, T. DETTMANN & C. HEINZELMANN (2010): Untersuchungen zur Bestimmung von Fahrrinnenmindestbreiten für Binnenwasserstraßen. Proceedings, PIANC Congress 2010.
- WURMS, S., P. M. SCHRÖDER, R. B. WEICHERT & S. WASSERMANN (2010): Strategies to overcome the possibly restricted utilisation of fairways due to climate changes. Proceedings, River Flow Conference 2010, Braunschweig.

Frühere und zukünftige Entwicklung der Schwebstofffrachten im Rhein

Gudrun Hillebrand, Thorsten Pohlert & Stefan Vollmer (alle BfG)

1 Einleitung

Feinsedimente in Bundeswasserstraßen unterliegen einem dynamischen Transportprozess. Sie lagern sich in Bereichen mit reduzierter Fließgeschwindigkeit ab und können auch wieder erodiert werden. Hinzu kommt, dass Feinsedimente häufig Träger von Schadstoffen sind. Unterhaltungsmaßnahmen wie Baggerungen von Feinsedimenten sind deshalb häufig mit sehr hohen Kosten verbunden. Für das Sedimentmanagement stellt sich daher die Frage nach den Herausforderungen durch die projizierte Klimaänderung.

Vor der Analyse von zukünftigen Trends steht die Untersuchung des Ist-Zustandes bzw. der Entwicklung während der vergangenen Jahrzehnte. Zunächst wird betrachtet, ob in der Vergangenheit schon Trends zu beobachten waren, die sich eventuell auch in Zukunft fortsetzen. Dazu ist es notwendig, auch die Ursachen solcher Trends zu hinterfragen. Ein repräsentatives Beispiel wird im Folgenden gezeigt.

Anschließend werden Ergebnisse einer ersten Sensitivitätsstudie zum Einfluss einer Klimaänderung auf die Bodenerosion im Flusseinzugsgebiet und den resultierenden Sedimenteintrag ins Gewässer vorgestellt.

2 Schwebstofffrachten im Rhein 1965–2005

Die Datengrundlage für die Betrachtung der Schwebstofffrachten liefert das Schwebstoffdauermessnetz der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). Das Messnetz existiert seit Mitte der 1960er Jahre und wurde bis Mitte der 1990er Jahre erweitert auf 70 Messstationen. An diesen Stationen wird arbeitstäglich eine 5-l-Schöpfprobe entnommen. Die Probe wird direkt an der Messstelle gravimetrisch filtriert und die Filter werden an-

schließend im Feststofflabor der Bundesanstalt für Gewässerkunde klimatisiert und ausgewogen. Aus der Analyse erhält man als Messwert die Schwebstoffkonzentration am Ort und zum Zeitpunkt der Probenahme.

Die aus dem Schwebstoffdauermessnetz vorliegenden langjährigen Zeitreihen von Tageswerten der Schwebstoffkonzentration eignen sich für die Analyse hinsichtlich zeitlicher Trends. Dies soll an einem Beispiel demonstriert werden. Abbildung 1 zeigt die jährlichen Schwebstofffrachten an der Messstelle Maxau am Rhein bei Rheinkilometer 362,3 in Millionen Tonnen pro Jahr aufgetragen über die Zeitspanne ab Mitte der 1960er Jahre.

Die Grafik zeigt eine signifikante Abnahme (p < 0,05) der Frachten bis zum Ende des Stauhaltungsbaus am Oberrhein, dargestellt durch eine lineare Regression. Die Zeitreihe nach Inbetriebnahme der letzten Stauhaltung Iffezheim im Jahr 1977 hingegen zeigt im statistischen Test keinen signifikanten Trend, was in der Grafik durch den Mittelwert aller Jahresfrachten ab 1977 in Form der blauen gestrichelten Linie symbolisiert ist.

Die Grafik veranschaulicht auch die große natürliche Schwankungsbreite in den Jahresfrachten des Schwebstoffes. In den am Oberrhein abflussreichen Jahren 1995

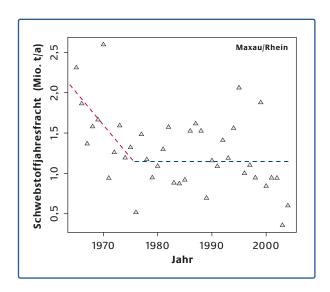


Abb. 1: Schwebstoffjahresfrachten an der Messstelle Maxau (Rhein-km 362,3)

und 1999 liegen überdurchschnittlich hohe Frachten vor, im abflussarmen Jahr 2003 ist eine geringe Jahresfracht zu beobachten (etwa ein Viertel der Jahresfracht von 1999). Innerhalb dieser hohen natürlichen Variabilität lässt sich in den bisherigen Daten noch kein Einfluss des Klimawandels eindeutig identifizieren. Das gezeigte Beispiel der Messstelle Maxau ist in dieser Hinsicht repräsentativ. Auch an anderen Messstellen lassen sich beobachtete Trends auf direkte menschliche Eingriffe wie den Stauhaltungsbau oder Landnutzungsänderungen zurückführen. Es steht zu erwarten, dass solche Einflussfaktoren auch in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen werden.

2 Projektionen der Sedimenteinträge im Rheineinzugsgebiet bis 2100

Für die Projektion von Sedimenteinträgen in großen Flusseinzugsgebieten ist ein Modellsystem aus zwei Komponenten notwendig: Die erste Komponente besteht aus einem Bodenerosionsmodell, die zweite aus einem Sedimenteintragsmodul.

Die mittlere vieljährige Bodenerosion wurde mit dem flächenverteilten Modell PESERA (KIRKBY et al. 2008) einzugsgebietsweit auf einem 500-x-500-m-Gitter berechnet. Die notwendigen Klimaparameter für den Modellantrieb stammten für die Referenzsimulation aus interpolierten Stationsdaten und für die Projektionsrechnungen aus dem Vergleich dreier Klimamodellketten (EH5r3_REMO, EH5r3_RACMO und HADCM3Q0_CLM),

wobei jeweils das A1B-Emissionsszenario zu Grunde gelegt wurde. Flächenverteilte Angaben zu Relief, Bodeneigenschaften, Oberflächenbedeckung und Landnutzung wurden für die deutschen Teile des Rheineinzugsgebiets aus verfügbaren nationalen und für die Teile der Nachbarländer aus frei zugänglichen europäischen Datenbeständen für PESERA abgeleitet. Um die Klimasensitivität der Bodenerosion und des Sedimenteintrags abschätzen zu können, wurden diese abgeleiteten Randbedingungen in sämtlichen Rechenexperimenten konstant gehalten. Der Sedimenteintrag in das Gewässernetz wurde unter Berücksichtigung eines räumlich verteilten Sediment-Delivery-Ratio-Ansatzes (SDR) aus den modellierten flächenverteilten Bodenerosionsbeträgen abgeleitet (ALI & DE BOER 2010).

Im ersten Schritt wurden Angaben über die Bodenerosion in Deutschland aus der Literatur recherchiert, um die PESERA-Modellergebnisse zu validieren. Die mit PESERA berechnete mittlere Bodenerosion pro Landnutzungsklasse für die Periode 1961 bis 1990 stimmt mit den Angaben von Auerswald et al. (2009) gut überein (Tabelle 1). Lediglich für die Landnutzungsklasse Rebflächen unterschätzt PESERA die Bodenerosion im Rheineinzugsgebiet deutlich, was auf Fehlklassifikationen der Landnutzung in der Aufrasterung bei der Datenaufbereitung zurückzuführen ist (Rebflächen wurden als Ackerflächen ausgewiesen). Da der Flächenanteil von Rebflächen im Rheingebiet jedoch nur bei etwa 0,2%

Tabelle 1: Vergleich der gegenwärtigen (1961–1990) mittleren Bodenerosion pro Landnutzungsklasse im Rheingebiet zwischen dem Model PESERA, den Berechnungen von Auerswald et al. (2009) für das Bundesgebiet und vieljährig gemittelten Angaben aus der Literatur zu Bodenerosionsmessungen.

Landnutzung	Bodenerosion (t/ha) nach PESERA	Bodenerosion (t/ha) nach Berechnungen von Auerswald et al. 2009	Bodenerosion (t/ha) nach Messungen (entnommen aus Auerswald et al. 2009)
Acker	8,5	5,7	15,2
Rebflächen	0,0	5,2	5,4
Grünland	0,6	0,5	0,5
Wald	0,3	0,2	0,0

liegt, ist dieser Fehler für die Gesamtbodenerosion des Rheineinzugsgebietes vernachlässigbar.

Im zweiten Schritt wurden für den gegenwärtigen Zustand (1961–1990) die mittels der Sediment-Delivery-Ratio berechneten Sedimenteinträge mit den vieljährig gemittelten spezifischen Schwebstofffrachten aus dem Schwebstoffdauermessnetz der WSV verglichen (Abb. 2). Die Übereinstimmung mit den Messdaten war zufriedenstellend, so dass eine Anwendung für Projektionsrechnungen angebracht schien.

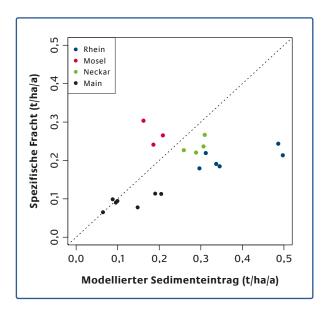


Abb. 2: Streudiagramm zwischen berechnetem Sedimenteintrag und gemessener spezifischer Fracht. Die Winkelhalbierende ist als gestrichelte Linie eingetragen.

Die Projektionsrechnungen ergaben, dass für den Sedimenteintrag in die Mittelgebirgsflüsse Mosel, Main und Neckar angesichts der Modellunsicherheit bisher kein klares Klimaänderungssignal feststellbar ist. Entlang des Rheinhauptstroms ist stattdessen ein deutliches Klimaänderungssignal feststellbar, da 3 von 3 Rechnungen eine Zunahme der Sedimenteinträge für die Periode 2021–2050 projizierten (Tabelle 2).

Tabelle 2: Tendenz der Änderung. Hierzu wurde die Anzahl der Projektionsrechnungen mit Zu- oder Abnahme ausgezählt und die relativen Änderungsbeträge in das Verhältnis der Modellunsicherheit gesetzt.

Flussgebiet	2021-2050	2071-2100
Mosel	Indifferent	Indifferent
Main	Indifferent	Indifferent
Neckar	Indifferent	Indifferent
Rhein- hauptstrom	Zunahme (3 von 3)	Zunahme (2 von 3)

Insbesondere der schweizerische Alpenraum wird unter der Annahme gleichbleibender Landnutzung nach den ausgewerteten Projektionsrechnungen verstärkt Sedimente über die Aare in den Rhein liefern. Die Zunahme des Sedimenteintrags am Zusammenfluss von Aare und Rhein bei Albbruck-Dogern für die Periode 2021–2050 beträgt zwischen +20% und +100% bezogen auf den gegenwärtigen (1961–1990) Zustand (Tabelle 3). Dieser erhöhte modellierte Sedimenteintrag bzw. die erhöhte modellierte Bodenerosion ist konsistent mit den Ergebnissen der Klimamodelle, die für den Alpenraum einen Trend zu einer relativen Zunahme des Regens im hydrologischen Winter projizieren.

Tabelle 3: Spannweite der relativen Veränderung des Sedimenteintrags entlang des Rheinhauptstroms berechnet mit PESERA-SDR basierend auf drei Klima-Projektionsrechnungen. Die Reihenfolge der Messstellen entspricht der Fließrichtung.

Messstelle	2021-2050	2071-2100	
Reckingen	+20% bis +30%	0% bis +50%	
Albbruck-Dogern	+20% bis +100%	-13% bis +100%	
Plittersdorf	+20 % bis +80 %	-10% bis +90%	
Maxau	+20 % bis +80 %	-10% bis +90%	
St. Goar	+10% bis +40%	-15% bis +50%	
Weißenthurm	+10% bis +30%	-10% bis +40%	
Emmerich	+10% bis +25%	-10% bis +40%	

3 Zusammenfassung und Ausblick

In den Messreihen der Schwebstofffracht aus dem Referenzzeitraum sind keine Veränderungen detektierbar, die eindeutig dem Klimawandel zuzuordnen wären. Die anthropogene Überprägung der Flusssysteme schlägt sich jedoch deutlich in den Schwebstofffrachten nieder. Stauhaltungsbau oder Landnutzungsänderungen haben in der Vergangenheit teilweise zu deutlichen Frachtänderungen geführt. Es ist zu erwarten, dass solche Einflussfaktoren auch in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen werden.

Die Arbeiten zur Projektionsrechnung wurden von der Firma Scilands GmbH im Auftrag der BfG durchgeführt. Die bisher erzielten Ergebnisse zeigen, dass insbesondere der schweizerische Alpenraum eine hohe Relevanz für die Sedimentlieferung des Rheinstroms besitzt und auf die projizierte Klimaänderung sehr deutlich mit höherer Sedimentlieferung reagiert. Eine Fortsetzung und Erweiterung der Projektionsrechnungen um weitere Klimamodellketten ist geplant.

Im weiteren Projektverlauf werden neben den projizierten Änderungen der Sedimenteinträge Klima bedingte Änderungen der Prozesse innerhalb der Gewässer betrachtet. Für die großräumige Bilanzierung innerhalb des Gewässers werden eindimensionale numerische
Feststofftransportmodelle verwendet, in die die projizierten Sedimenteinträge und Abflussrandbedingungen
eingehen. Für bestimmte Detailfragen, beispielsweise
die Sedimentdynamik in den Stauhaltungen, werden
dreidimensionale Sedimenttransportmodelle verwendet, da eindimensionale Modelle hier nicht in der Lage
sind, die Strömungs- und Transportsituation adäquat
abzubilden.

Literatur

- ALI, K. F. & D. H. DE BOER (2010): Spatially distributed erosion and sediment yield modeling in the Upper Indus River basin, Water Resources Research, 46, W08504, 2010.
- AUERSWALD, K., FIENER, P. & R. DIKAU (2009): Rates of sheet and rill erosion in Germany A meta-analysis, Geomorphology, 111, 182–193, 2009.
- KIRKBY, M. J., IRVINE, B. J., JONES, R. J. A. GOVERS, G. & THE PESERA TEAM (2008): The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I. Model rationale and implementation, European Journal of Soil Science, 59, 1293–1306, 2008.

Entwicklung der partikulär gebundenen Schadstofffrachten im Rhein am Beispiel des Hexachlorbenzols (HCB)

Thorsten Pohlert, Gudrun Hillebrand & Vera Breitung (alle BfG)

1 Einleitung

Im Rahmen des KLIWAS-Forschungsprojektes "Klimaprojektionen für Sedimenthaushalt und Risiken durch kohäsive Sedimente" sollen modellgestützte Aussagen über die künftige Entwicklung der Hexachlorbenzol (HCB)-Belastung von Feinsedimenten des Oberrheins getroffen werden. Sowohl für die Ursachenanalyse, als auch für den Modellaufbau sind Kenntnisse der historischen Schadstoffentwicklung in den Schwebstoffen und die Erfassung des derzeitigen Schadstoffreservoirs notwendig. Die Ziele dieser Studie sind somit die Erfassung von Trends in der Schwebstoffqualität entlang des Rheinhauptstroms, die Erkundung des derzeitigen Reservoirs mit HCB-belasteter Sedimente und die Folgerung aus ersten prognostischen Hypothesen Klima bedingter Veränderungen.

Der Sedimentmanagementplan der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) wies mehrere Sedimentationsbereiche auf Grund der hohen Kontamination mit Hexachlorbenzol (HCB) und der gegebenen Remobilisierungsgefahr dieser belasteten Sedimente als "Risikogebiete" aus (IKSR 2009). Das persistente und stark sorptive HCB stammt aus ehemaligen industriellen Einleitungen bei Rheinfelden. Durch die HCB-Belastung der anlandenden Sedimente ist auch das regionale Baggergutmanagement der WSV betroffen. Daher wird die HCB-Belastung der Oberrhein-Sedimente im Rahmen dieses KLIWAS-Projektes hervorgehoben untersucht.

2 Hexachlorbenzol und Verschmutzungshistorie

HCB ist eine sechsfach chlorierte, stark sorptive Benzolverbindung. Sie ist in Gewässern daher überwiegend partikelgebunden anzutreffen. Die Substanz baut sich unter Umweltbedingungen nur sehr langsam ab (Persistenz) und ist bioakkumulierbar. Auf Grund ihres Gefahrenpotenzials für Mensch und Umwelt wurde die Produktion durch das völkerrechtliche Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (Stockholm-Übereinkommen) verboten. In der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) wird HCB als prioritär gefährlicher Schadstoff eingestuft.

Die Verschmutzung der Feinsedimente des Rheins stammt von historischen Einleitungen aus einer chemischen Produktionsanlage bei Rheinfelden (Rh-km 148,4). In der Zeit zwischen den 1970er und Anfang der 1990er Jahren entstand HCB als Nebenprodukt der Pentachlorphenol- und Clorsilanproduktion. Die Einleitung von HCB lag 1984 bei ca. 400 g pro Tag und wurde bis 1991 auf unter 40 g pro Tag reduziert. Seit 1993 finden praktisch keine HCB Einleitungen bei Rheinfelden statt (STÄNDIGE KOMMISSION 2007).

3 Trend der HCB-Belastung an Schwebstoffen

Zunächst wurden für acht Messstellen entlang des Rheins Trenduntersuchungen der HCB-Konzentration im Schwebstoff für die Periode 1995 bis 2008 durchgeführt. Die Daten stammen von der IKSR und liegen als 28-tägige Einzelmessungen vor. Es wurde der parameterfreie Mann-Kendall-Trendtest verwendet, der die Nullhypothese "Kein Trend vorhanden" gegen die Alternativhypothese "Trend vorhanden" prüft, und sowohl Kendalls- τ , als auch die Steigung nach Sen berechnet. An sämtlichen acht Messstellen ist ein signifikanter Rückgang der HCB-Konzentration für die Untersuchungsperiode feststellbar (negative t-Werte). Dieser rückläufige Trend ist jedoch nur sehr schwach ausgeprägt, was durch die geringen Werte der Steigung nach Sen zum Ausdruck kommt.

Tabelle 1: Ergebnisse des Mann-Kendall-Trendtests für HCB-Konzentrationen in Schwebstoffen (1995–2008) entlang des Rheinhauptstroms. τ , $b_{\rm Sen}$ und n bedeuten Kendalls- τ , Steigung nach Sen und Stichprobenumfang. Alle Werte sind signifikant (p < 0.05). Sehr signifikante (p < 0.01) Werte sind mit ** markiert (Quelle: POHLERT et al. 2011a).

Messstelle	Rhein-km	τ	<i>b</i> _{Sen} [ng kg ⁻¹ a ⁻¹]	n
Weil	164,3	-0,303**	-11	156
Karlsruhe	333,9	-0,193**	-35	135
Mainz	498,5	-0,130	-19	150
Koblenz	590,3	-0,147	-11	156
Bad Honnef	645,8	-0,345**	-34	133
Bimmen	865,0	-0,454**	-50	141

Mit den gleichen statistischen Verfahren wurde anschließend der Trend für die Jahresfrachten des partikelgebundenen HCB der Periode 1995 bis 2007 analysiert. Lediglich für die Messstellen Bad Honnef ($\tau = -0.576$; p < 0.01) und Bimmen ($\tau = -0.576$; p < 0.01) konnten sehr signifikante rückläufige HCB-Frachten festgestellt werden. An den anderen Messstellen dagegen ist für diese Periode kein Trend feststellbar. Für die Messstelle Koblenz lagen zusätzliche Daten vor (Keller 1994), so dass die HCB-Jahresfracht für die Periode 1985 bis 2007 ausgewertet werden konnte. Für diese Messstelle und untersuchte Periode weist die HCB-Jahresfracht einen eindeutigen Rückgang von etwa 110 kg/a im Jahr 1985 auf etwa 15 bis 23 kg/a im Jahr 2007 auf. Dieser Rückgang der HCB-Jahresfracht ist ursächlich auf das Ende der HCB-Einleitungen bei Rheinfelden zu Beginn der 1990er Jahre zurückzuführen. Seit 1995 bis 2007 stagnieren jedoch die HCB-Jahresfrachten bei Koblenz und liegen im Mittel bei etwa 25 kg/a. In einer Betrachtung des Flusslängsprofils der vieljährig mittleren HCB-Jahresfracht konnte darüber hinaus festgestellt werden, dass die Mittelgebirgszuflüsse Neckar, Main und Mosel nur unwesentliche Mengen an HCB liefern. Das wesentliche Quellgebiet für HCB ist der staugeregelte Oberrhein

aus dem im Mittel etwa 25 kg/a an HCB aus sekundären Quellen freigesetzt werden (Ронцект et al. 2011а).

4 Erkundung des derzeitigen Reservoirs HCBbelasteter Sedimente

Im August 2010 wurde eine Flusslängsbeprobung zwischen Weil (Rhein-km 164,3) und Straßburg (Rhein-km 290) durchgeführt, bei der von einem Baggerschiff aus in den Strecken des französischen Rheinseitenkanals und des Restrheins mit Greiferproben oberflächennahe Sedimente (<50 cm) entnommen wurden. Die nicht schiffbaren Wehrarme wurden vom Ufer aus beprobt. Insgesamt wurden 60 Sedimentproben entnommen. Die Sedimentanalyse umfasste die Aufnahme der Korngrößenverteilung mittels Nasssiebung im Ultraschallbad und die quantitative Bestimmung von organischem Kohlenstoff, HCB und polychlorierten Biphenylen in der Gesamtfraktion (POHLERT et al. 2011b).

Die Spannweite der HCB-Konzentration in oberflächennahen Sedimenten des Oberrheins lag zwischen 13 μg/kg und 880 μg/kg. Etwa 55% der Sedimentproben überschreiten den vierfachen Wert der IKSR-Zielvorgabe, was als eines der Entscheidungskriterien zur Definition eines Risikogebietes im IKSR-Sedimentmanagementplan herangezogen wird. Es ist ein deutlicher Gradient mit zunehmender HCB-Konzentration in Sedimenten entlang der Fließstrecke erkennbar (Abb. 1). Bei Weil (Rhein-km 164,3), welches am nächsten zur historischen Einleiterstelle liegt, sind die HCB-Konzentrationen am niedrigsten (13 µg/kg). Dagegen sind in den strömungsberuhigten Sedimentationsbereichen (Wehrbereiche, oberstromige Schleuseneinfahrten, Hafenbecken) ab ca. Rhein-km 210 die HCB-Konzentrationen auf sehr hohem Niveau. Dies ist ein Indiz für die allmähliche stromabwärtsgerichtete Verfrachtung der HCB-belasteten Sedimente.

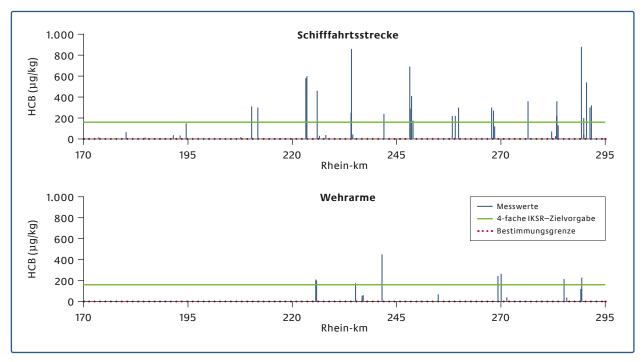


Abb. 1: Längsprofile der HCB-Konzentration in oberflächennahen Sedimenten des Oberrheins entlang der Schifffahrtstrecke (Französischer Rheinseitenkanal und Rhein-Hauptstrecken), sowie der nicht schiffbaren Wehrarme (verändert nach POHLERT et al. 2011b)

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Die feststoffgebundene HCB-Fracht im Rhein konnte durch die Beendigung der Einleitung Anfang der 1990er Jahren deutlich reduziert werden. Jedoch ist seit 1995 kein weiterer Rückgang der HCB-Frachten erkennbar. Im vieljährigen Mittel werden etwa 25 kg/a an HCB aus dem Oberrhein freigesetzt. Erkundungsuntersuchungen zur HCB-Belastung der Sedimente am Oberrhein zeigten, dass dort ein erhebliches Schadstoffreservoir vorhanden ist. Aus diesen Gründen erscheint es unwahrscheinlich, dass die Umweltqualitätsziele im Rahmen der EG-WRRL und der IKSR in naher bis mittlerer Zukunft erreicht werden. Handlungsvorschläge für den Umgang der identifizierten Sekundärquellen für HCB am Oberrhein sind sowohl im Sedimentmanagement-

plan Rhein (IKSR 2009), als auch im BfG-Bericht 1717 (POHLERT et al. 2011b) genannt.

In den noch ausstehenden Arbeiten des Forschungsprojektes wird ein hydrodynamisches 1D-Modell für den Oberrhein erstellt, mit dessen Hilfe unter Verwendung der Advektions-Dispersions-Gleichung der partikelgebundene HCB-Transport unter veränderten Abflussbedingungen simuliert werden kann. Dieses Modell fügt sich in die KLIWAS-Modellkette ein und nutzt die simulierten Abflussreihen des hydrologischen Modells HBV für den Modellantrieb. Die Daten zur HCB-Belastung der Sedimente werden zur Parametrisierung der Initialbedingungen verwendet. Die Daten zur HCB-Konzentration in Schwebstoffen, bzw. zur partikelgebundenen HCB-Fracht dienen der Kalibrierung und Validierung des Modells.

Literatur

- Keller, M. (1994): HCB load on suspended solids and in sediments of the river Rhine. Water Science and Technology 29, 129–131, 1994.
- INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DES RHEINS (IKSR) (2009): Sedimentmanagementplan Rhein, Bericht Nr. 175, Koblenz, hrsq. 2009.
- POHLERT, T., HILLEBRAND, G. & V. BREITUNG (2011a): Trends of persistent organic pollutants in the suspended matter of the River Rhine, Hydrological Processes 25, 3803-3817, 2011a.
- POHLERT, T., HILLEBRAND, G. & V. BREITUNG (2011b): Sedimenterkundung Oberrhein Erkundung und Untersuchung von Sedimentationsbereichen auf Hexachlorbenzol und Polychlorierte Biphenyle zwischen Weil und Straßburg, BfG-Bericht 1717, 2011b.
- STÄNDIGE KOMMISSION (2007): Sediment- und Baggergutmanagement entlang des Oberrheins Qualitative Untersuchungen, Bericht der Expertengruppe 2, unveröff, hrsg. 2007.

Modellierung von Wassertemperatur und Planktondynamik im Rhein

Paulin Hardenbicker, Annette Becker, Volker Kirchesch & Helmut Fischer (alle BfG)

1 Einleitung

Im Zuge des Klimawandels auftretende Änderungen der Abfluss- und Temperaturbedingungen wirken sich auf den Schwebstoffhaushalt und die Phytoplanktondynamik am Rhein aus. Durch geringere sommerliche Abflüsse kann es beispielsweise zu einem verstärkten Phytoplanktonwachstum kommen, das zu Änderungen innerhalb des Nahrungsnetzes führen und sich dadurch auf das gesamte Ökosystem auswirken kann. Außerdem sind eine stärkere Sedimentation und Änderungen der Trübung in der freien Wassersäule denkbar.

Auch anthropogene Faktoren und Änderungen der Gewässermorphologie, die auf ökologische Variablen Einfluss nehmen können, sind nicht außer Acht zu lassen. Die Wassertemperatur verdeutlicht das Zusammenspiel von klimatologischen und anthropogenen Einflüssen (Webb et al. 2008) und spielt nicht nur für biologische, sondern auch für chemische und physikalische Prozesse eine entscheidende Rolle. Die Wassertemperatur von turbulenten Fließgewässern, die hauptsächlich durch die Energie der Sonneneinstrahlung, den Wärmeverlust durch Verdunstung und den Austausch mit der Lufttemperatur bestimmt wird, unterliegt im Rhein zusätzlich anthropogenen Einflüssen, die aus direkten Wärmeeinleitungen von Industrien und Kraftwerken resultieren (IKSR 2006, BUND 2009). Aus Langzeitbeobachtungen der mittleren Wassertemperaturen des Rheins hat sich ergeben, dass diese seit 1970 bis heute um ca. 2,5 °C angestiegen sind (BUND 2009).

Da sowohl der Klimawandel als auch zahlreiche direkte anthropogene Einwirkungen die Gewässergüte beeinflussen, bietet sich die Gewässergütemodellierung für die Betrachtung dieser komplexen Wirkungszusammenhänge an. Mit Hilfe von Modellierungen der Gewäs-

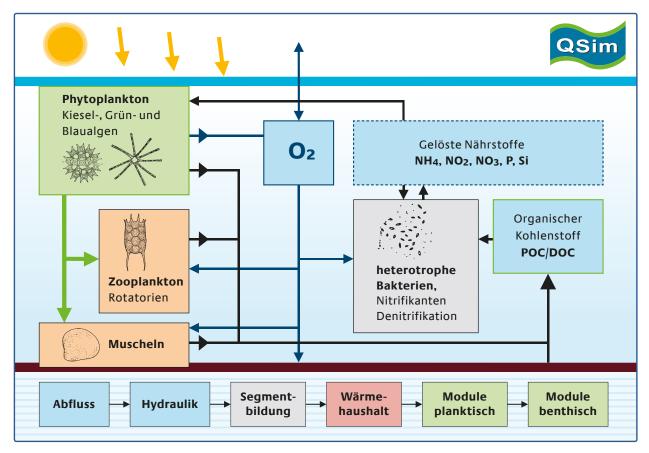


Abb.1: Modellbausteine und Arbeitsweise von QSim (Schöl et al. 1999, 2002, 2006)

sergüte lassen sich die Folgen des Klimawandels, Belastungen der Gewässergüte und mögliche Managementoptionen gemeinsam betrachten.

2 KLIWAS-Projekt 5.02 und QSim

Das KLIWAS-Projekt 5.02 "Klima bedingte Änderung des Stoffhaushalts und der Algenentwicklung in Bundeswasserstraßen" umfasst sowohl staugeregelte Gewässer (Berliner Gewässer) als auch größtenteils frei fließende Gewässer (Rhein und Elbe). Das Gewässergütemodell QSim der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wird hier dazu verwendet, Klima bedingte Änderungen des Sauerstoffhaushalts und der Planktonentwick-

lung (Nährstoffe, Algenbiomasse, organische und anorganische Schwebstoffe) zu analysieren und zu quantifizieren (KIRCHESCH & SCHÖL 1999). QSim ist ein prozessorientiertes, deterministisches Gewässergütemodell, dessen Modellbausteine permanent weiterentwickelt werden (BECKER et al. 2010). Das Modell benötigt morphologische, hydrologische, meteorologische, physikalische, chemische und biologische Eingabegrößen an den Modellrändern, um die Entwicklung der Gewässergüte entlang des gesamten Flusslaufes zu berechnen. Simuliert werden Prozesse wie Sedimentation, Wärmehaushalt, Sauerstoff-/Nährstoffgehalt, Bakterienwachstum und Algenwachstum (Abb. 1).

3 Gewässergütemodellierung des Rheins

Das Rheinmodell umfasst den frei fließenden Abschnitt des Rheins mit einer Länge von insgesamt 529 Kilometern. Der obere Rand des Modells liegt unterhalb der letzten Staustufe bei Iffezheim (Kilometer 336,5), den unteren Rand bildet die deutsch-niederländische Grenze (Kilometer 865,5). Zu den Randbedingungen des Modells gehören außerdem 12 Nebenflüsse. Zur Zeit sind 16 Gewässernutzungen (Wärmeeinleitungen) integriert, wobei nur die größten Wärmeeinleitungen (>200 MW über das Jahr gemittelt) berücksichtigt und die maximal genehmigten Wärmeabgabemengen verwendet werden (IKSR 2006, BUND 2009), da bisher keine Information über die tatsächlich abgegeben Wärmemengen zur Verfügung stehen. Bei der Gütemodellie-

rung werden komplette Datensätze der Gewässergüte an den Modellrändern, d. h. am oberen und unteren Rand des Modells sowie an den Nebenflüssen benötigt. Diese Eingangsdaten umfassen z. B. Messdaten zu Nährstoffkonzentrationen, Sauerstoffgehalt oder Planktonzusammensetzung. Diese Eingangsdaten werden zunächst konstant gehalten. Die Eingangsdaten bezüglich der Wetterstationen liefert der Deutsche Wetterdienst (DWD) (Vorhaben 1, Projekt 1.01, 1.02). Hier handelt es sich um die Lufttemperatur, die Globalstrahlung, die Windgeschwindigkeit, die Luftfeuchtigkeit und die Wolkenbedeckung. Es werden klimatologische Eingangsdaten von insgesamt drei Wetterstationen verwendet, die sich entlang der Fließstrecke befinden. Hydrologische Eingangsdaten (Abfluss und Wasserstand),

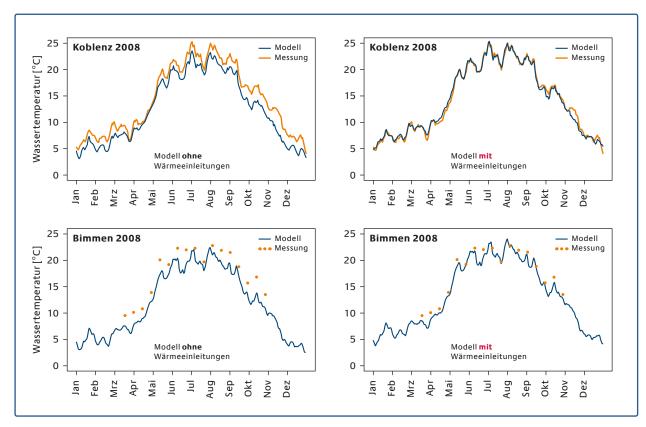


Abb.2: Temperaturdynamik (2008) bei Koblenz (km 590) und Bimmen (km 865,5), gemessen und modelliert

die an den Modellrändern und den Nebenflüssen benötigt werden, werden den entsprechenden Pegelzeitreihen entnommen bzw. für Projektionen mit Wasserhaushaltsmodellen berechnet (Vorhaben 4, Projekt 4.01 – siehe NILSON et al., in diesem Band).

Die Modellergebnisse des Ist-Zustandes der Wassertemperatur (Abb. 2) zeigen, dass die anthropogen bedingten Wärmeeinleitungen einen großen Effekt auf die Wassertemperatur haben, der von der Entfernung der Einleitstelle zur Messstelle abhängt. Bei Koblenz ist die modellierte Wassertemperatur mit Wärmeeinleitung beispielsweise im Mittel um 1,5 °C höher als die modellierte Temperatur ohne Berücksichtigung der Wärmeeinleiter. Dieser anthropogene Einfluss muss bei

der Betrachtung zukünftiger Klima bedingter Erwärmung berücksichtigt werden.

Die Jahresdynamik des Sauerstoffgehaltes (Abb. 3) wird gut abgebildet, die Sauerstoffgehalte der Jahre 2000 und 2008 bei Koblenz (ungefähr Mitte der untersuchten Fließstrecke) und Bimmen (am Ende des untersuchten Abschnittes) werden vom Modell leicht überschätzt. Der geringere Sauerstoffgehalt in den Sommermonaten ist auf die geringere Sauerstofflöslichkeit bei höheren Wassertemperaturen zurückzuführen. Bei einem zukünftigen Anstieg der Wassertemperatur ist mit sinkenden Sauerstoffkonzentrationen zu rechnen, dieser Effekt könnte jedoch teilweise durch ein verstärktes Algenwachstum kompensiert werden. Die Biomasse der Planktonalgen (Phytoplankton, gemessen als Chloro-

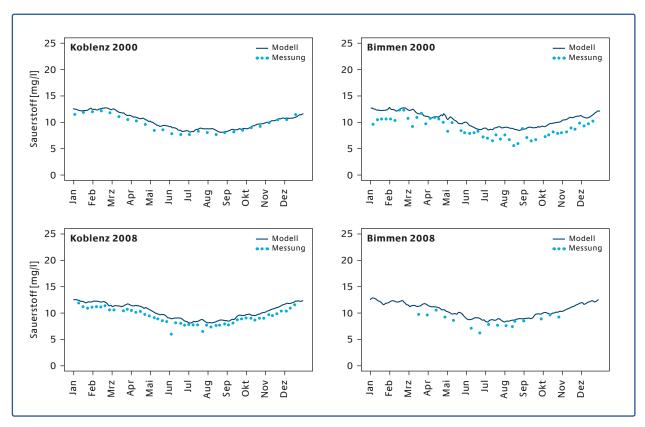


Abb.3: Sauerstoffdynamik (2000/2008) bei Koblenz (km 590) und Bimmen (km 865,5), gemessen und modelliert

phyllgehalt) steht ebenfalls mit dem Sauerstoffgehalt in Verbindung, da eine höhere Phytoplanktonbiomasse zu einer erhöhten Sauerstoffproduktion führen kann und zeitlich versetzt auch zu einer stärkeren Sauerstoffzehrung, die aus dem Abbau der Algen resultiert. Anhand der bisherigen Ergebnisse aus Projekt 4.01 wird vor allem für die ferne Zukunft ein Rückgang der sommerlichen Abflüsse erwartet, was zu einem verstärktem Phytoplanktonwachstum in dieser Jahreszeit führen kann.

Der Chlorophyllgehalt (Abb. 4) wird im Ist-Zustand (2000 und 2008) genau wie der Sauerstoffgehalt sehr gut abgebildet. Die Modellrechnungen zeigen die typische Massenentwicklung der Algen im Frühjahr, die sogenannte Frühjahrsblüte, und insgesamt eine Zunahme des Chlorophyllgehaltes von Koblenz bis Bimmen. Die

Phytoplanktonbiomasse verdoppelt sich auf der Fließstrecke und es werden maximale Chlorophyllkonzentrationen bei Bimmen von 43 µg/l erreicht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Gewässergütemodell QSim wird an der BfG seit 1979 für die Simulation und Prognose der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern verwendet und stellt ein Werkzeug dar, um die Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen und anderer Einflussfaktoren auf die Gewässergüte zu beurteilen.

Wie die Ergebnisse der Modellierung des Ist-Zustandes zeigen, hängt die Entwicklung der Wassertemperatur stark vom Ausmaß der anthropogen bedingten Wärme-

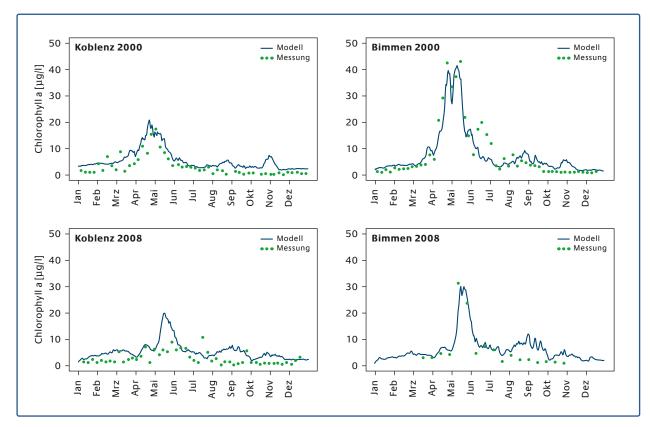


Abb. 4: Phytoplanktondynamik (2000/2008) bei Koblenz (km 590) und Bimmen (km 865,5), gemessen und modelliert

einleitungen ab, die damit die Bandbreite des zu erwartenden Wassertemperaturanstiegs erweitern könnten. Vor allem im Hinblick auf die ferne Zukunft ist hier möglicherweise eine Anpassung der maximal erlaubten Wärmeabgabemengen notwendig. Simulationsrechnungen bieten die Möglichkeit, die Auswirkungen solcher Managementoptionen und die zukünftige Entwicklung des ökologischen Zustands besser abzuschätzen.

Der nächste Schritt ist die Modellierung der zukünftigen Entwicklung der Gewässergüte des Rheins unter Berücksichtigung unterschiedlicher repräsentativer Klima- und Abflussprojektionsdaten aus einem Ensemble von Modellketten. Diese ausgewählten Modellketten aus den globalen und regionalen Klimamodellen dienen als Grundlage für die Abschätzung der Bandbreite der möglichen Entwicklung der Gewässergüte in der nahen (2021–2050) und fernen (2071–2100) Zukunft, besonders im Hinblick auf die Phytoplankton- und die Wassertemperaturentwicklung. Weil die Algenentwicklung im Rhein teilweise über die Abflussdynamik gesteuert wird, dient der NM7Q (niedrigstes arithmetisches Abflussmittel von 7 aufeinanderfolgenden Tagen) als Auswahlkriterium für die zu verwendenden Modellketten. Die Ergebnisse zur zukünftigen Wassertemperaturentwicklung, die auf Klima- und Abflussprojektionsdaten basieren, werden von anknüpfenden Projekten innerhalb von KLIWAS weiterverwendet. Diese Projekte umfassen die Bereiche Gewässerhygiene, organische Schadstoffe und Tierökologie (Projekte 5.03/3.04, 5.04/3.07, 5.07).

Literatur

- BECKER, A., KIRCHESCH, V., BAUMERT, H., FISCHER, H. & A. SCHÖL (2010): Modelling the effects of thermal stratification on the oxygen budget of an impounded river. River Research and Applications 26: 572–588.
- BUND (2009): Studie Abwärmelast Rhein: http://www.rhein.bund-rlp.de.

- IKSR (2006): Vergleich der Wärmeeinleitungen 1989 und 2004 entlang des Rheins. IKSR-Bericht Nr. 151d: http://www.iksr.org.
- KIRCHESCH, V. & A. SCHÖL (1999): Das Gewässergütemodell QSIM – ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktondynamik von Fließgewässern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43: 302–312.
- NILSON, E., CARAMBIA, M., KRAHE, P., LARINA, M., BELZ, J. U. & M. PROMNY (2012): Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein. In diesem Band.
- SCHÖL, A., EIDNER, R., BÖHME, M. & V. KIRCHESCH (2006): Integrierte Modellierung der Wasserbeschaffenheit mit QSim. In: Pusch, M. & H. Fischer (Hrsg.) Stoffdynamik und Habitatstruktur in der Elbe. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Weißensee Verlag, Berlin: 233–242.
- SCHÖL, A., KIRCHESCH, V., BERGFELD, T., SCHÖLL, F., BORCHERDING, J. & D. MÜLLER (2002): Modelling the Chlorophyll a Content of the River Rhine Interrelation between Riverine Algal Production and Population Biomass of Grazers, Rotifers and the Zebra Mussel, Dreissena polymorpha. International Review of Hydrobiology 87: 295–317.
- Schöl, A., Kirchesch, V., Bergfeld, T. & D. Müller (1999): Model-based analysis of oxygen budget and biological processes in the regulated rivers Moselle and Saar: modelling the influence of benthic filter feeders on phytoplankton. Hydrobiologia 410: 167–176.
- Webb, B. W., Hannah, D. M., Moore, R. D., Brown, L. E. & F. Nobilis (2008): Recent advances in stream and river temperature research. Hydrological Processes 22: 902–918.

Auswirkungen des Klimawandels an der Elbe

Änderungen von Wasserhaushaltskomponenten im Elbegebiet – Herausforderungen und Lösungsansätze

Theresa Horsten, Peter Krahe, Enno Nilson, Jörg Uwe Belz, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach & Maria Larina (alle BfG)

1 Einleitung

Im Rahmen der Untersuchungen des Projektes "Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität" (Projekt 4.01) wird der Einfluss des Klimawandels auf die Abflüsse der Bundeswasserstraßen, u. a. auch der Elbe und ihrer Nebenflüsse, ermittelt. Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt in einem Gebiet abschätzen und einordnen zu können, ist die Kenntnis der dominanten Faktoren, die den Wasserhaushalt und das Abflussregime prägen, von grundlegender Be-

deutung. Aufgrund der bedeutenden Unsicherheiten der Klimaprojektionen sollten die Aussagen zu den hydrologischen Auswirkungen des Klimawandels auch eine Quantifizierung der Unsicherheiten beinhalten. Dies wird durch die Verwendung eines Multi-Modell-Ansatzes es ermöglicht.

Im Anschluss an eine kurze Charakterisierung des Elbegebiets werden hier erste Ergebnisse von Abflussprojektionen für das Havel-Spree-Gebiet vorgestellt.

2 Charakterisierung des Wasserhaushalts im Elbe-Einzugsgebiet

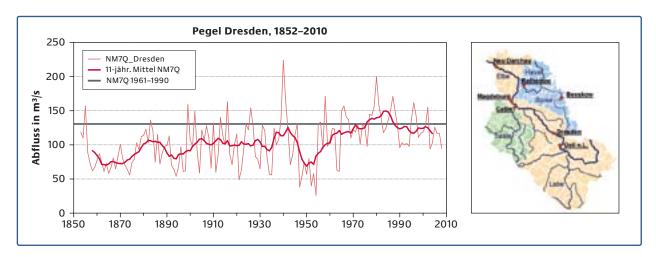
Die Elbe befindet sich in der gemäßigten Klimazone im Übergangsbereich von einem maritim zu einem eher kontinental geprägten Klima. Damit unterscheidet sie sich vom Rhein, der unter stärkerem maritimem Einfluss steht (vgl. Tabelle 1). Die stärkere Kontinentalität macht sich neben großen Temperaturunterschieden zwischen Winter- und Sommerhalbjahr in vergleichsweise geringen Jahresniederschlagsmengen im Elbeeinzugsgebiet von ca. 630 mm (Vergleich Rhein: ca. 950 mm) bemerkbar (IKSE 2005).

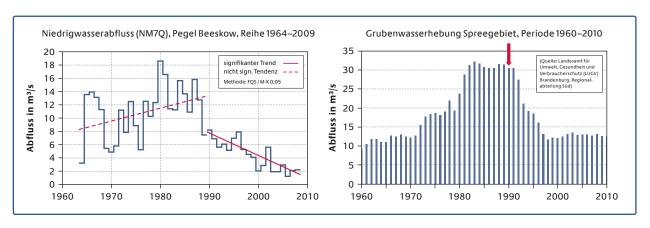
Tabelle 1: Eckdaten zur Charakterisierung von Havel-, Elbe- und Rheineinzugsgebiet (Quelle: IKSE 2005, BELZ et al. 2007)

	Havelgebiet	Elbegebiet	Rheingebiet	
Einzugsgebietsfläche	23.858 km²	148.268 km²	185.000 km²	
Stromlänge	334 km	1.094 km	1.239 km	
Einwohner	4–5 Mio.	24 Mio.	60 Mio.	
Mittlerer Abfluss (MQ), Mündung	~114 m³/s	~860 m³/s	~2.500 m³/s	
Abflussanteil Flächenanteil Verhältnis		CZ D ~36% ~64% ~34% ~66% 1,06 0,97	DE CH FR+LU ~47% ~40% ~12% ~55% ~15% ~30% 0,85 2,67 0,40	

Wasserbilanz (bezogen auf die gesamte Einzugsbietsfläche, langjähriges Mittel)

Niederschlag	~560 mm	~630 mm	~950 mm
Verdunstung	~410 mm	~450 mm	~550 mm
Abfluss = Wasserdargebot	~150 mm	~180 mm	~400 mm





 $\textbf{Abb.2:} \ \, \textbf{Entwicklung} \ \, \text{der Niedrigwasserabflüsse} \ \, (\text{NM7Q-niedrigstes 7-Tagesmittel}) \ \, \text{am Pegel Beeskow/Spree} \ \, (\text{links}) \ \, \text{und der Grubenwasserhebung} \ \, \text{im Spreegebiet} \ \, (\text{rechts}) \ \, \text{on the permittel} \ \, \text{on the per$

Bei einem solch geringen Niederschlagsdargebot und mit dem Rheingebiet vergleichbaren Verdunstungswerten verbleibt deutlich weniger Wasser im Gebiet, das zum Abfluss kommen kann (vgl. Tabelle 1).

Die natürlichen Abflussverhältnisse sind im Elbeeinzugsgebiet historisch wie auch heute durch verschiedene Eingriffe anthropogen überprägt. Beispielhaft sei hier die sog. Moldaukaskade (System von Talsperren in der tschechischen Moldau) genannt, die in den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts ihren größten Volu-

menzuwachs zu verzeichnen hatte, und deren niedrigwasseraufhöhende Wirkung sich deutlich am Pegel Dresden feststellen lässt. In Abbildung 1 ist anhand der Reihe des Niedrigwasserkennwerts NM7Q am Pegel Dresden zu erkennen, dass in den 1950er und 1960er Jahren die Niedrigwasserabflüsse wesentlich zunahmen.

Die Einleitung von Sümpfungswasser aus Braunkohletagebauen ist ein weiteres Beispiel, bei dem durch anthropogene Eingriffe die Abflussverhältnisse verändert werden. Abbildung 2 zeigt die Reihe der Niedrigwasserab-

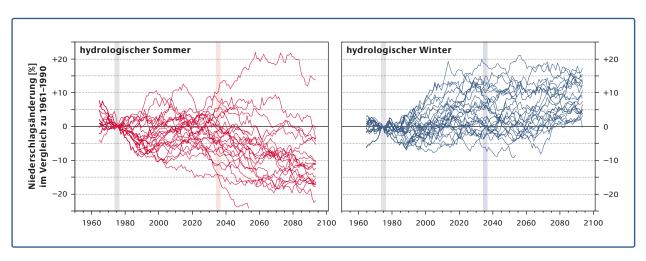


Abb. 3: Gleitende 31-Jahresmittel der jahreszeitlichen Niederschlagsänderungen im Einzugsgebiet oberstrom des Pegels Rathenow gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 (grauer Balken) basierend auf einem noch weiter zu ergänzenden Ensemble von derzeit 24 Klimaprojektionen¹. Die Periode 2021–2050 ist als roter bzw. blauer Balken hervorgehoben.

flüsse (NM7Q) für den Zeitraum 1964–2009 am Pegel Beeskow/Spree und die Entwicklung der mittleren jährlichen Grubenwasserhebung im Spreegebiet für den gleichen Zeitraum. In beiden Fällen ist ein Rückgang ab ca. 1990 zu verzeichnen. Der Rückgang der Sümpfungswassermengen kann als wichtiger Erklärungsansatz für den Rückgang der Niedrigwasserabflüsse gewertet werden.

3 Wasserhaushaltsmodellierung

Analog zum Vorgehen am Rhein werden unter Verwendung der in Nilson et al. (2010) beschriebenen Modellund Prozessierungskette für die Elbe mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells HBV-D Abflusssimulationen für den Zeitraum 1950 bis 2100 erstellt. Die Modellanwendung beruht auf einem Modell, das für 20 Pegel mit insgesamt 120 Teileinzugsgebieten auf Tageswertbasis kalibriert wurde (LAUTENBACH 2005). Da das Modell bisher nur für den deutschen, tidefreien Teil des Elbe-Einzugsgebietes vorliegt, können zunächst nur für die deutschen Nebenflüsse der Elbe (z.B. Saale, Spree, Havel) Ergebnisse ausgewertet werden. Um Abflüsse an den Pegeln des Elbe-Hauptstroms analysieren zu können, sind Simulationen auch für das tschechische Elbegebiet notwendig. Die entsprechende Modellerweiterung ist in Arbeit.

Um Änderungen im Abflussregime unter den Bedingungen eines erwarteten Klimawandels zu analysieren, wird mit dem Wasserhaushaltsmodell HBV-D der quasinatürliche Wasserhaushalt berechnet. Im Modell sind keine anthropogenen Maßnahmen, wie Talsperren, Wassereinleitungen oder -entnahmen, Meliorationsmaßnahmen oder ähnliches, berücksichtigt.

Abbildung 3 zeigt zunächst beispielhaft die Änderungen des Gebietsniederschlags im Einzugsgebiet oberstrom des Pegels Rathenow/Havel, die aus einem Ensemble von verschiedenen Klimaprojektionen (VAN DER LINDEN & MITCHELL 2009², ENKE & KREIENKAMP 2006, GERSTENGARBE 2009, HOLLWEG et al. 2008, JACOB 2006,

¹ Für die "nahe Zukunft" (2021–2050): 12 statistische und 12 dynamische regionale Klimaprojektionen Für die "ferne Zukunft" (2071–2100): 9 statistische und 11 dynamische regionale Klimaprojektionen mit den Emissionsszenarien A1B, B1, A2

^{2 &}quot;The ENSEMBLES data used in this work was funded by the EU FP6 Integrated Project ENSEMBLES (Contract number 505539) whose support is gratefully acknowledged."

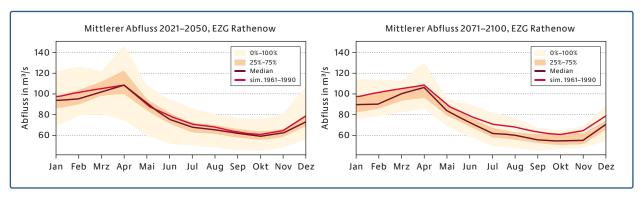


Abb. 4: Spanne der möglichen Abflussänderungen in der nahen (links) und fernen Zukunft (rechts) für den Pegel Rathenow/Havel

JACOB et al. 2009) abgeleitet wurden. Eine eindeutige Niederschlagsabnahme bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts, die von früheren Studien angezeigt wurde, geht aus den bisher ausgewerteten Daten nicht hervor. Eine Zunahme der Winterniederschläge wird jedoch bestätigt.

In Abbildung 4 ist die Spanne der entsprechenden mit HBV-D abgeleiteten Abflussprojektionen für den Pegel Rathenow/Havel dargestellt. Die Darstellung erfolgt getrennt für die "nahe Zukunft" (2021–2050) und die "ferne Zukunft" (2071–2100), jeweils im Vergleich zu einem Referenzzeitraum (1961–1990).

Die Abbildung zeigt, dass der Median der mittleren monatlichen Abflüsse in der "nahen Zukunft" nur sehr geringfügig von denen der Referenzperiode abweicht. Für die "ferne Zukunft" zeigt sich eine deutliche Tendenz zum Abflussrückgang. Dieser lässt sich mit Ausnahme des Aprils relativ gleichmäßig in allen Monaten des Jahres feststellen. Gleichzeitig zeigen die beiden Grafiken in Abbildung 4 die Unsicherheitsspanne, die sich aus den verschiedenen Klimaprojektionen ergibt. Dabei umspannt der etwas dunklere Bereich 50% der Abflussprojektionen und der hellere Bereich das gesamte bislang ausgewertete Ensemble.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für die deutschen Nebenflüsse der Elbe wurden verschiedene Abflussprojektionen mit dem Wasserhaushaltsmodell HBV-D berechnet und hinsichtlich Veränderungen des Abflussregimes ausgewertet. Eine starke Niederschlags- und resultierende Abflussabnahme in den Sommermonaten, wie sie in früheren Studien für die Mitte des 21. Jahrhunderts angezeigt wurde, bestätigt sich bislang nicht. Die vorgestellten Ergebnisse sind jedoch noch unvollständig, da bislang noch nicht alle verfügbaren Klimaprojektionen berücksichtigt wurden. Weitere Simulationen sind in Arbeit. Dies bezieht neben weiteren Klimamodellen auch weitere hydrologische Modelle ein.

Für das Havel-Spree-Gebiet wurden in einer Detailstudie quasi-natürliche Abflüsse mit dem flächendetaillierten Modell ArcEGMO (PFÜTZNER 2002) für drei ausgewählte Klimaprojektionen berechnet. Im weiteren Verlauf der Studie werden mit Hilfe des Modells WBalMo³ bewirtschaftete Abflüsse ergänzt, die ebenfalls unter Verwendung der drei ausgewählten Klimaprojektionen sowie zusätzlich mit Hilfe von Szenarien zur Entwicklung der Wasserbewirtschaftung ermittelt werden.

³ WBalMo (DHI-WASY): Interaktives Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten; http://wasy.eu/wbalmo.

Für das gesamte (tidefreie) Elbegebiet wird derzeit das bestehende HBV-D-Modell um das tschechische Gebiet erweitert. Ergänzend steht in Kürze das mitteleuropaweite Wasserhaushaltsmodell LARSIM-ME zur Verfügung. Durch die Integration der genannten Modelle wird schließlich für Pegel im gesamten Einzugsgebiet der Elbe ein umfangreiches Ensemble von Abflussprojektionen vorliegen. Dies ist eine wichtige Grundlage für eine Bewertung des derzeitigen Kenntnisstandes zur zukünftigen Entwicklung des Abflussgeschehens und somit für eine sachliche Diskussion von Anpassungsmaßnahmen.

Ferner werden die Abflussprojektionen als Grundlage für Untersuchungen anderer Projekte in der "KLIWAS-Modellkette" dienen. Dazu gehören u. a. Projekte, die sich mit der Gewässermorphologie, der Gewässergüte, der Auenvegetation oder Prozessen im Ästuarbereich befassen und wesentlich zum Gesamtverständnis des komplexen Systems Elbe beitragen.

Literatur

- BELZ, J. U., BRAHMER, G., BUITEVELD, H., ENGEL, H., GRABHER, R., HODEL, H., KRAHE, P., LAMMERSEN, R., LARINA, M., MENDEL, H.-G., MEUSER, A., MÜLLER, G., PLONKA, B., PFISTER, L. & W. VAN VUUREN (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert Analyse, Veränderungen, Trends. Schriftenreihe der KHR I-22. Koblenz und Lelystad, 2007.
- IKSE (HRSG.) (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick, Magdeburg, 2005.
- ENKE, W. & F. KREIENKAMP (2006): WETTREG, UBA project. World Data Center for Climate. CERA-DB, 2006.
- GERSTENGARBE, F. W. (2009): PIK-STAR II run 2007–2060. World Data Center for Climate. CERA-DB, 2009.
- HOLLWEG, H-D., BÖHM, U., FAST, I., HENNEMUTH, B., KEULER, K., KEUP-THIEL, E., LAUTENSCHLAGER, M., LEGUTKE, S., RADTKE, K., ROCKEL, B., SCHUBERT, M.,

- WILL, A., WOLDT, M. & C. WUNRAM (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. 150 S. 2008.
- JACOB, D. (2006): REMO climate of the 20th century run and A1B scenario run, UBA project, 0.088 degree resolution, 1h data. World Data Center for Climate. CERA-DB, 2006.
- JACOB, D., NILSON, E., TOMASSINI, L. & K. BÜLOW (2009): REMO climate of the 20th century run and A1B scenario run, BfG project, 0.088 degree resolution, 1h data. World Data Center for Climate. CERA-DB, 2009.
- 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 im Rheingebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, S. 316–331, Heft 5, 2009.
- LAUTENBACH, S. (2005): Modellintegration zur Entscheidungsunterstützung für die Gewässergütebewirtschaftung im Einzugsgebiet der Elbe, Dissertation, Universität Osnabrück, 2005.
- NILSON, E., PERRIN, C., BEERSMA, J., CARAMBIA, M., KRAHE, P., DE KEIZER, O. & K. GÖRGEN (2010): Evaluation of data and processing procedures. In: Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & D. Volken: Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine River Basin: Results of the Rhein-Blick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 51–95, 2010.
- PFÜTZNER, B. (2002): Description of ArcEGMO. Official homepage of the modelling system Arc-EGMO, http://www.arcegmo.de, ISBN 3-0-011190-5, 2002.
- VAN DER LINDEN, P. & J. F. B. MITCHELL (2009): ENSEMBLES – Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 S, 2009.

Morphologische Klima-Projektionen im Hinblick auf die vielfältigen Nutzungsansprüche der Bundeswasserstraße Elbe

Marc Roberts, Markus Promny & Stefan Vollmer (alle BfG)

1 Einleitung

Das Ressortforschungsprogramm KLIWAS ist ein wichtiger gesellschaftlicher Beitrag zur Erarbeitung von Anpassungsstrategien an den Bundeswasserstraßen hinsichtlich von erwarteten Klimaänderungen. Innerhalb dieses Rahmens leistet das Projekt 4.02 "Untersuchung von Klimaprojektionen für Sedimenthaushalt und Flussbettentwicklung" in der KLIWAS-Modellkette einerseits einen Beitrag in der Scharnierfunktion zwischen den meteorologisch/hydrologischen Modellbausteinen und den Umweltfragestellungen sowie andererseits für die Übertragung von Anpassungsoptionen auf die Flussgebietsskala (vgl. Abb. 1).

Solche Klima bedingten Anpassungskonzepte wurden bislang nicht für die großen deutschen Flusseinzugsgebiete von Rhein, Elbe und Donau erarbeitet (vgl. Projekt 4.03; Verkehrswasserbauliche Regelungs- und Anpassungsoptionen an Klima bedingte Veränderungen des Abflussregimes – exemplarisch auf lokaler/regionaler Skala am Mittelrhein), wodurch ein erheblicher Bedarf zur Durchführung von Sensitivitätsstudien und zur Untersuchung von Klima bedingten Anpassungsoptionen bestehen bleibt.

2 Bedeutung der Morphologie für das Flusseinzugsgebiet der Elbe

Die vielfältigen Nutzungsansprüche der Binnenwasserstraßen erfordern eine ganzheitliche und disziplinübergreifende Betrachtung der Gewässer, um die Auswirkungen einer potenziellen Klima bedingten Systemänderung zu erfassen. Mögliche morphologische Veränderungen haben Auswirkungen auf die flussbaulichen

Unterhaltungsmaßnahmen durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes und damit auf die Wirtschaftlichkeit des Transportsystems "Binnenschiff", sowie auf die Gewässerökologie entlang des Einzugsgebiets der Elbe. Somit erlangt das morphologische Geschehen sowie die geeignete Parameterauswahl für die Modellprojektionen Bedeutung, um die Sensitivität der Elbe zu quantifizieren. Die wesentlichen Bereiche, welche im Rahmen der KLIWAS-Modellkette modelltechnisch abgebildet werden müssen, sind:

a) Strombau: Sedimenttransport, Sohlhöhe, Unterhaltung (Baggerung und Verklappung)

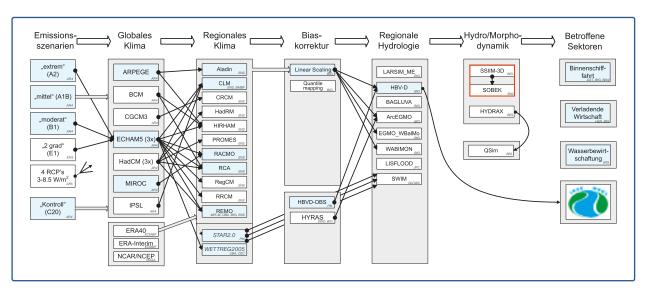
Die praxisbezogenen Erkenntnisse der WSV aus der Unterhaltung sowie die betrieblichen Anforderungen des Sedimentmanagements müssen ebenso in die Anpassungsoptionen implementiert sein wie die erarbeiteten Ergebnisse und Empfehlungen aus Fachgremien auf regionaler und internationaler Ebene. Dabei erfordern sowohl Anlandungstendenzen als auch großräumig/langfristige defizitäre Flussbettentwicklungen ein aktives Sedimentmanagement, um die binnenschifffahrtsrelevanten Fahrrinnentiefen zu gewährleisten. Weiterhin können im Zusammenhang mit den Regelungskonzepten im Niedrig- (NQ) und Mittelwasserbereich (MQ) mögliche Anpassungsoptionen zur Stabilisierung der Sohllage betrachtet werden.

b) Schifffahrt: Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit

Der wirtschaftliche Warenverkehr mit dem Transportsystem "Binnenschiff" wird maßgeblich durch die verfügbare Wassertiefe sowie die vorherrschenden Fließgeschwindigkeiten bestimmt (vgl. PJ 4.01: "Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität" – siehe Horsten et al. in diesem Band). Insbesondere der Wasserstand und das Sohlniveau haben starken Einfluss auf die Abladetiefen, den Auslastungsgrad sowie auf den Brennstoffverbrauch eines Binnenschiffes.

c) Ökologie: Wasserstand, Sohlsubstrat

Seine ökologische Bedeutung erhält die Flussbettentwicklung und damit das Sedimentmanagement durch



 $\textbf{Abb.1:} \ \ Einordnung \ der \ Wirkmodelle \ von \ PJ\ 4.02\ innerhalb\ der \ KLIWAS-Modellkette$

die Lebensraumansprüche der Tier- und Pflanzenwelt im Einzugsgebiet sowie durch die Rechtsverbindlichkeit der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Defizitäre Flussbettentwicklungen schränken ein "Ausufern" des Flusses ein und beeinflussen dadurch maßgeblich entscheidende Auenvegetationsparameter, wie die Größe von Überflutungsflächen, die Wasserstandsdauer sowie die Überflutungsfrequenz, die insbesondere für die Entwicklung und Dynamik von Auenwäldern bedeutend sind (vgl. PJ. 5.06: "Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen" – siehe MOSNER & HORCHLER in diesem Band).

2.1 Methodik: Modellsystem und Modelle

Innerhalb der 1D-morphodynamischen Modellierung werden unter Nutzung des Programmpaketes SOBEK die Bandbreiten der möglichen Klima bedingten Änderungen von Flussbett und Wasserspiegel für die freifließenden Flussstrecken von Rhein und Elbe berechnet. Hierfür werden für unterschiedliche Klimaprojektionen jeweils Niederschlags-Abfluss-Modellierungen als Eingangsgrößen genutzt, um die Auswirkungen auf Sedi-

mentfrachten, Sohl- und Wasserspiegeländerungen sowie auf die Substratzusammensetzung zu erfassen und räumlich/zeitlich darzustellen. Zusätzlich zur 1D-Modellierung werden dreidimensionale Untersuchungen an charakteristischen morphologisch aktiven Flussabschnitten (Mittlere Elbe, km 207–222 und km 239–254) mit dem morphologischen Modell SSIIM 3D durchgeführt (vgl. Abb. 2).

Die Modellerstellung und -kalibrierung basieren auf der Analyse von Beobachtungsdaten, die für die Einzugsgebiete von Rhein und Elbe vorliegen. Die umfassenden Datensätze enthalten Informationen zur Sohlentwicklung, transportierten Sedimentfrachten (Geschiebe, Schwebstoff) sowie der Substratzusammensetzung. Ein wichtiges Modul innerhalb des SOBEK-Programmpaketes ist die Implementierung eines Bagger- und Verklapp-Algorithmus, der die Anpassung der Sohllage während des Simulationslaufes in Abhängigkeit von der garantierten Abladetiefe mit Bezug zum Gleichwertigen Wasserstand (GlW2002) erlaubt. Derzeit bestehen jedoch noch keine langen Projektionen/Abfluss-Zeitreihen für die Elbe und demzufolge sind hier noch Unsicherheiten in der Durchführung morphologischer Langzeit-Rechnun-

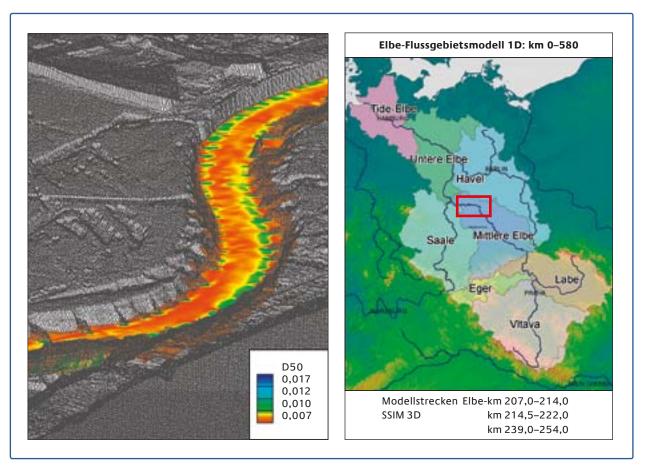


Abb. 2: Die an der Elbe betriebenen morphologischen Modelle SOBEK und SSIIM 3D

gen gegeben. Jedoch ist eine Übertragbarkeit von bisherigen vorläufigen Erkenntnissen von entsprechenden Berechnungen am Rhein auf das Elbe-Flussgebiet möglich und plausibel. Die Sohlentwicklung am Rhein zeigt z. B. für ein Szenario mit konstanten Baggerungen und Zugaben für die nahe Zukunft wenig ausgeprägte Unterschiede zwischen den drei bisher gerechneten Projektionen. Lediglich lokal sind stärkere Abweichungen erkennbar (vgl. Abb. 3).

Weiterhin zeigt sich, dass die Wahl der Unterhaltungsstrategie zumindest für die "nahe Zukunft" einen weitaus größeren Einfluss auf die Sohllagenentwicklung und den Sedimenthaushalt besitzt, als die Änderung durch eine Klima bedingt veränderte Abflusscharakteristik im Flusseinzugsgebiet. Für die Elbe wird insgesamt eine geringerer Einfluss durch die Geschiebebewirtschaftung auf die Klima bedingte Sohllagenentwicklung erwartet, da insbesondere Baggerung und Verklappung nicht im gleichen Umfang wie am Rhein stattfinden. Neben einer veränderten Geschiebebewirtschaftung wird als weitere Anpassungsoption die flexible Steuerung von Regelungsbauwerken in Betracht gezogen (siehe Beitrag Wurms & Schröder in diesem Band), diese ist jedoch gegenwärtig nicht in die morphologische Modellierung integriert.

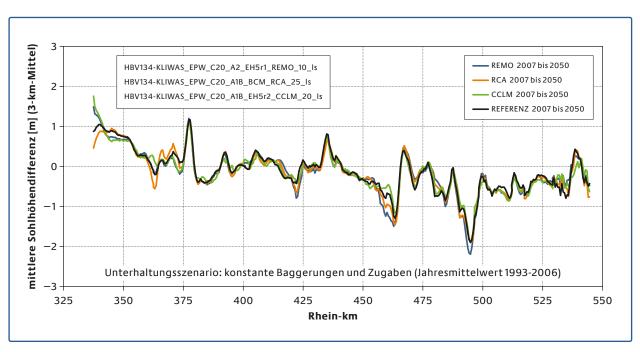


Abb 3: Sohlentwicklung dreier Klimaprojektionen sowie des Referenzlaufs für den Oberrhein bis 2050

Die prozessorientierten Untersuchungen erfolgen kleinräumig mit dem dreidimensionalen morphologischen Modell SSIIM. Dabei wird das Wissen über die sedimentologischen Vorgänge (Transportbeginn, stochastische Ansätze der Transportformulierung, Abpflasterung, Sortierung, Bedeutung von Transportkörpern) an der Flusssohle erweitert und mit den Erkenntnissen der großskaligen Modelle verknüpft bzw. auf die Flussgebietsskala übertragen. Die Skalenintegration erfolgt dabei von der kleinen Skala zur großen Skala (räumlich und zeitlich). Somit können lokale Anpassungen vor dem Hintergrund der Projektionen auf Flussgebietsskala (Überlagerung mit langfristigen hydrologischen-/morphologischen Änderungen, veränderlichen Landnutzungen etc.) beurteilt werden. Um die mit der Substratveränderung einhergehende Veränderung der Hohlraumgehalte im Modell SSIIM 3D zu erfassen, wurde weiterhin ein Ansatz zur Berechnung der Porosität aus Sedimentmischungen implementiert (FRINGS 2011, FRINGS 2008). Der Algorithmus ermöglicht es, ökologischen Anschlussfragestellungen mit Bezug zur Habitateignung des Sohlsubstrates, eine qualitative Bewertung der Sedimente vorzunehmen. Die für die Auenvegetation bedeutenden Überflutungsflächen können durch das Programmpaket SSIIM 3D ebenfalls abgebildet werden.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Je nach Stärke des Klimaänderungssignals wird die Flussbettenentwicklung und der Sedimenthaushalt an Rhein und Elbe durch die zukünftige klimatische Entwicklung beeinflusst. Die Anwendung von morphologischen Wirkmodellen, wie SOBEK und SSIIM 3D, innerhalb der KLIWAS-Modellkette ist die konsequente Fortführung der aktuellen Klimafolgenforschung, um mögliche klimainduzierte Änderungen im Gesamtsystem "Binnenwasserstraße" zu verstehen und zu erfassen. Die morphologischen Sensitivitätsstudien an den freifließenden deutschen Flussabschnitten von Elbe und Rhein

erlauben eine differenzierte Betrachtung und ermöglichen erstmals, im Hinblick auf die verschiedenen Nutzungsinteressen, die flussgebietsbezogene "Gesamtschau" wichtiger Einflussfaktoren. Die wenig ausgeprägten Abflussänderungen in den Projektionen für die nahe Zukunft (2021–2050) lassen eine untergeordnete Bedeutung des Klimaänderungssignals im Vergleich zur Änderung der Unterhaltungsstrategie erwarten. Erste Rechenläufe für den Rhein bestätigen dies. Die ausgeprägten Variabilitäten der Abflussprojektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) lassen eine stärkere Klima bedingte Änderung der Flussbettentwicklung an Rhein und Elbe erwarten. Zuküftige Rechenläufe der 1D-Flussgebietsmodelle mit einer größen Bandbreite an Projektionen werden den Einfluss Klima bedingter Systemänderungen besser erkennen lassen. Insgesamt ergibt sich für den Fortlauf der Klimafolgenforschung ein erheblicher Bedarf an modelltechnischen Realisierungen, um die Gesamtheit der abiotischen und biotischen Systemparameter besser zu verstehen und abzubilden. Insbesondere die Verknüpfung zwischen den rechtsverbindlichen hydromorphologischen Zielen der WRRL sowie möglichen Optionen zur nachhaltigen Sedimentbewirtschaftung hinsichtlich eines guten ökologischen Leitbildes sollten dann Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Literatur

- BCE BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE GMBH (2009): Erstellung eines eindimensionalen Feststofftransportmodells für die Elbe Dokumentation hydraulisches Modell.
- DELTARES (2009): Erstellung eines eindimensionalen Feststofftransportmodells für die Elbe Dokumentation morphologisches Modell, DELFT.
- EUROPÄISCHES ENTWICKLUNGSZENTRUM FÜR BINNEN-UND KÜSTENSCHIFFFAHRT, VERSUCHSANSTALT FÜR BINNEN-SCHIFFBAU E.V. (2004): Technische und wirtschaftliche Konzepte für flußangepaßte Binnenschiffe, Duisburg.

- FRINGS, R. M., KLEINHANS, M. G. & S. VOLLMER (2008): Discriminating between pore-filling load and bed-structure load: a new porosity-based method, exemplified for the river Rhine; Sedimentology 55, Seite 1571–1193.
- FRINGS, R. M., SCHÜTTRUMPF, S. & S. VOLLMER (2011): Verification of porosity predictors for fluvial sand-gravel deposits Water Resources Research 47, doi:10.1029/2010WR009690.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MUNLV) (2006): Leitfaden zur wasserwirtschaftlichen-ökologischen Sanierung von Salmonidenlaichgewässern in NRW.
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (WSV), WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT DRESDEN, BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (BFG), BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW) (2009): Sohlstabilisierungskonzept für die Elbe von Mühlberg bis zur Saalemündung, Magdeburg, Dresden, Koblenz, Karlsruhe.

Szenarien der Gewässergüte für die Elbe

Helmut Fischer, Paulin Hardenbicker & Andreas Schöl (alle BfG)

1 Einleitung

Der Klimawandel kann Stoffhaushalt und Planktonentwicklung der Fließgewässer auf vielfältige Weise beeinflussen. Allerdings gibt es hierzu noch wenige auf Messdaten und Modellergebnissen basierende Studien (Whitehead et al. 2010, Quiel et al. 2011). Insbesondere ist das komplexe Zusammenwirken der zahlreichen Einflussfaktoren auf das Phytoplankton und den Stoffhaushalt der Fließgewässer schwer prognostizierbar. Es wird daher mit numerischen ökologischen Modellen simuliert.

Im KLIWAS-Projekt 5.02 werden sowohl die frei fließenden Abschnitte von Elbe und Rhein als auch die stauregulierte Havel untersucht. Hierfür wird das Gewässergütemodell QSim der BfG (KIRCHESCH & SCHÖL 1999, SCHÖL et al. 2006) genutzt, welches Stofftransport und -umsetzungen für einen definierten Flussabschnitt prozessbasiert berechnet. Angetrieben wird das Modell durch die externen Faktoren Wetter- bzw. Klimabedingungen, Abfluss und Nährstoffeinträge. Alle diese Faktoren können durch Klimaänderungen beeinflusst werden. Die Modelleingangsdaten stammen bei Simulationen des Status quo aus Messungen, im Rahmen von Klimasimulationen werden sie von einer vorgeschalteten Modellkette bereitgestellt.

Für den Rhein laufen zurzeit Simulationsrechnungen mit Eingangsdaten aus dem KLIWAS-Multimodellansatz (vgl. HARDENBICKER et al. in diesem Tagungsband). Für die Elbe liegen Klima- und Abflussprojektionen aus KLIWAS, die als Grundlage für die Gewässergütemodellierung verwendet werden können, noch nicht vor. Daher werden im Folgenden die Erkenntnisse aus vorausgegangenen Untersuchungen zusammengefasst und in generalisierter Form dargestellt. Basis hierfür sind

Simulationen mit dem Gewässergütemodell QSim aus dem BMBF-Projekt GLOWA-Elbe (FKZ 01LW0603I1), die mit ihren wichtigsten Elementen und Funktionen an anderer Stelle dargestellt werden (vgl. Hein et al. in diesem Tagungsband, Quiel et al. 2011). Die hier in Form von Hypothesen dargestellten Zusammenhänge sollen dann im weiteren Verlauf des Projekts mit den Projektionsdaten aus KLIWAS überprüft werden.

2 Wie wirkt der Klimawandel auf das Planktonwachstum und den Stoffhaushalt?

2.1 Stoffhaushalt und Planktondynamik in der Elbe – Status quo

Die frei fließenden Abschnitte der Mittleren Elbe sind durch sehr hohe Phytoplanktonkonzentrationen und damit einhergehender Nährstoff- und Sauerstoffdynamik geprägt. Die Massenentwicklungen der Planktonalgen resultieren aus relativ hohen Nährstoffeinträgen in die Elbe und aus günstigen Wachstumsbedingungen. Das Planktonwachstum kann in unterschiedlichen Flussabschnitten durch jeweils unterschiedliche Einflussfaktoren gesteuert bzw. limitiert sein. Im Folgenden werden diese Einflussfaktoren näher beschrieben.

2.2 Wassertemperaturen

Die Wassertemperaturen der Fließgewässer werden durch die Einstrahlung, den konvektiven Austausch mit der Atmosphäre und durch die Verdunstung gesteuert. Die Wassertemperaturen folgen somit den Witterungseinflüssen (z. B. Webb et al. 2008). Anthropogene Einflüsse wie Kühlwassernutzung sind an der Mittleren Elbe, im Gegensatz zum Rheingebiet, relativ gering. Damit kann postuliert werden, dass sich Klimaänderungen ohne anthropogene Überprägungen direkt auf die Wassertemperatur auswirken.

Die Wassertemperatur wirkt grundsätzlich auf alle Lebensprozesse und beeinflusst auch das Wachstum und die Produktivität der Planktonalgen. Jedoch scheinen heterotrophe, sauerstoffzehrende Prozesse im Gewässer durch Temperaturerhöhung stärker gefördert zu werden als das autotrophe Wachstum der Algen (Demars et al. 2011), wobei die Temperatur-Toleranzbereiche und Optima sich artspezifisch unterscheiden. Ein weiterer Effekt ist, dass die Löslichkeit des Sauerstoffs bei zunehmender Wassertemperatur abnimmt. So liegt die Sauerstoffsättigung in Süßwasser bei Normaldruck und 20 °C bei 9,1 mg O_2/I , während sie unter sonst gleichen Bedingungen bei 25 °C nur noch 8,2 mg O_2/I , bei 30 °C nur noch 7,5 mg O_2/I beträgt (USGS 2006). Bei erhöhter Wassertemperatur kann damit einem erhöhten Sauerstoffbedarf ein verringertes Angebot gegenüberstehen.

2.3 Abfluss und Wasseraufenthaltszeit

Der Abfluss wurde in den bisherigen Untersuchungen als besonders wichtiger Faktor für die Planktonentwicklung erkannt. So zeigt sich ein statistischer Zusammenhang zwischen Abfluss und Planktonbiomasse. Er beruht darauf, dass in der frei fließenden Elbe bei relativ geringer Wassertiefe zwar günstige Wachstumsbedingungen herrschen, der für das Wachstum verfügbare Zeitraum jedoch durch die Wasseraufenthaltszeit limitiert ist.

Allerdings wird der Zusammenhang zwischen Abfluss und Planktonentwicklung stark durch die anderen hier genannten Faktoren wie Grazing oder Lichtverfügbarkeit überlagert. Er ist daher zeitlich und räumlich unterschiedlich stark ausgeprägt und tritt insbesondere während der Sommermonate im mittleren Abschnitt der Elbe bei Magdeburg auf.

2.4 Nährstoffkonzentrationen

Die Verfügbarkeit von Nährstoffen ist eine notwendige Bedingung für das Algenwachstum. Allerdings limitiert in frei fließenden Flüssen mit ihrer relativ kurzen Wasseraufenthaltszeit das Nährstoffangebot das Algenwachstum meist nicht. Für die Elbe konnte dies anhand von Datenauswertungen und Simulationsrechnungen gezeigt werden (QUIEL et al. 2011). Dies hat zur Folge,

dass eine Klima bedingte Erhöhung des Nährstoffangebots (z.B. durch verstärkte Auswaschung bei Starkniederschlägen) nicht unmittelbar zu einer Erhöhung der Algenkonzentration in der Elbe führen würde. Allerdings könnte mit einer starken Verringerung der Nährstoffeinträge in der Unteren Mittelelbe eine Nährstofflimitation erreicht und als zusätzlicher positiver Effekt die Nährstoffeinträge in die Nordsee verringert werden.

2.5 Nährstoff- und Planktoneinträge aus stromauf gelegenen Flussabschnitten

Die Obere Elbe besteht im tschechischen Abschnitt bis Střekov aus einer Kette von Flussstauhaltungen, in denen wegen langer Wasseraufenthaltszeiten bei hohen Nährstoffkonzentrationen bereits hohe Biomassen der Planktonalgen entstehen können. An der IKSE-Messstelle Schmilka (Elbe-km 4) werden daher bereits mittlere Chlorophyll-a-Konzentrationen von 44 µg Chla/l festgestellt (Mittelwerte 2004–2008, April bis Oktober). Diese bereits sehr hohen Konzentrationen bilden die Basis für weitere Massenentwicklung von Planktonalgen im Verlauf der Mittleren Elbe, die bei Schnackenburg (Elbe-km 475) Werte von 126 µg Chla/l erreichen (Mittelwerte 2004–2008, April bis Oktober). Über eine Klima oder Management bedingte Änderung der Konzentrationen im Oberlauf könnte auch die Massenentwicklung des Phytoplanktons in der Mittleren Elbe gesteuert werden.

2.6 Licht

Im voll durchmischten Wasserkörper der Elbe bestimmen die Wassertiefe und die Trübung die für die Planktonalgen verfügbare Lichtmenge. Aufgrund der guten Wachstumsbedingungen für Algen in der relativ flachen Elbe kann der Anteil des Phytoplanktons am gesamten Seston 50% übersteigen. Bei hoher Algendichte können diese durch Selbstbeschattung die Lichtverfügbarkeit limitieren, es entsteht also eine negative Rückkopplung auf das Algenwachstum. An der Elbe konnte gezeigt werden, dass die Kompensationstiefe (die Tiefe, bis zu

der positives Algenwachstum möglich ist; üblicherweise angegeben als Tiefe, in der noch 1% des Oberflächenlichts verfügbar ist) von über 2 m bei Elbe-km 4 auf unter 0,9 m bei Elbe-km 503 zurückging. Hier verbringt das Phytoplankton einen langen Zeitraum unter Bedingungen, die kein positives Wachstum ermöglichen.

Eine Erhöhung der Globalstrahlung oder eine verringerte Wassertiefe durch Abflussverringerung würde die Lichtbedingungen für das Phytoplankton verbessern und damit einen schnelleren Biomassezuwachs begünstigen.

3.7 Grazer

Das Phytoplankton kann durch Fressfeinde, die sogenannten "Grazer", in seiner Dichte reguliert werden. In der Elbe spielt besonders das Grazing durch Zooplankton eine Rolle, das hier durch die Gruppe der Rädertiere (Rotatoria) vertreten wird. Allerdings erreichen die Rädertiere nur zeitweise in der Unteren Mittelelbe Individuendichten, welche die Algenbiomasse erheblich reduzieren können (Holst 2006).

Das Zooplankton könnte in der Elbe von einer Abflussverringerung und Temperaturerhöhung profitieren. Es wäre damit zumindest in der Unteren Mittelelbe leichter in der Lage, die Algenbiomasse zu reduzieren und den fördernden Einflüssen auf die Algenbiomasse entgegenzuwirken (Quiel et al. 2011).

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Planktonwachstum und der Stoffhaushalt in der Elbe werden von einer Vielzahl von Faktoren gesteuert, die einzeln oder in ihrem Zusammenwirken durch den Klimawandel verändert werden können (Abb. 1). Die Faktoren wirken dabei meist nicht linear (z. B. wirkt eine Änderung der Nährstoffkonzentration im Überschuss kaum, in einer Mangelsituation sehr stark auf das Algenwachstum) oder sie entwickeln negative Rückkopplungen (z. B. Lichtmangel durch Selbstbeschattung der Algen). Dies bewirkt eine deutliche räumliche und zeitliche Differenzierung bei der Analyse der Auswirkungen. So kann beispielsweise ein Abflussrückgang über

die in Abb. 1 dargestellten Wirkungszusammenhänge die Planktonbiomasse in der Oberen Mittelelbe erhöhen und in der unteren Mittelelbe verringern, weil dort durch die verlängerte Fließzeit auch das Zooplankton, die Fressfeinde der Algen, eine hohe Populationsdichten erreicht (Quiel et al. 2011, Abb. 2). Die Gewässergütemodellierung mit QSim ermöglicht eine solche komplexe Betrachtungsweise, indem sie die relevanten Wirkungszusammenhänge betrachtet und einer Analyse zugänglich macht.

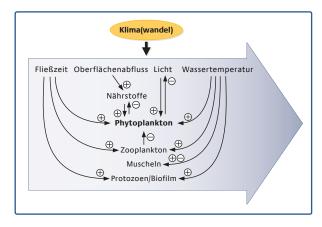


Abb.1: Ausgewählte Wirkungszusammenhänge zum Einfluss der Witterung auf die Phytoplanktonentwicklung. Der große Pfeil symbolisiert den Transport in der fließenden Welle.

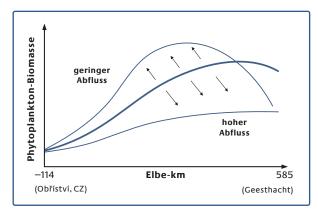


Abb. 2: Schematische Darstellung der Auswirkung von Abflussveränderungen auf die Phytoplanktondynamik in der Elbe während des Frühjahrs und Sommers.

Literatur

- DEMARS, B. O. L., MANSON, J. R., ÓLAFSSON, J. S., GÍSLASON, G. M., GUDMONSDÓTTIR, R., WOODWARD, G., REISS, J., PICHLER, D. E., RASMUSSEN, J. J. & N. FRIBERG (2011): Temperature and the metabolic balance of streams. Freshwater Biology 56: 1106–1122.
- Holst, H. (2006): Zooplankton im Pelagial des Hauptstroms. In: Pusch, M. & H. Fischer (Hrsg.) Stoffdynamik und Habitatstruktur in der Elbe Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Weißensee Verlag, Berlin, S. 56–64.
- KIRCHESCH, V. & A. SCHÖL (1999): Das Gewässergütemodell QSIM – ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktondynamik von Fließgewässern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43: 302–312.
- QUIEL, K., BECKER, A., KIRCHESCH, V., SCHÖL, A. & H. FISCHER (2011): Influence of global change on phytoplankton and nutrient cycling in the Elbe River. Regional Environmental Change 11: 405–421.
- SCHÖL, A., EIDNER, R., BÖHME, M. & V. KIRCHESCH (2006): Integrierte Modellierung der Wasserbeschaffenheit mit QSim. In: Pusch, M. & H. Fischer (Hrsg.) Stoffdynamik und Habitatstruktur in der Elbe Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Weißensee Verlag, Berlin, S. 233–242.
- USGS (2006): US Geological Survey. National field manual for the collection of water quality data (TWRI book 9). 6.2 Dissolved oxygen. http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/
- Webb, B. W., Hannah, D. M., Moore, R. D., Brown, L. E. & F. Nobilis (2008): Recent advances in stream and river temperature research. Hydrological Processes 22: 902–918.
- WHITEHEAD, P. G., WILBY, R. L., BATTARBEE, R. W., KERNAN, M. & A. J. WADE (2009): A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. Hydrological Sciences Journal 54: 101–123.

Potenzielle Entwicklung der Auenvegetation an der Elbe

Eva Mosner (BfG) & Peter Horchler (BfG)

1 Einleitung

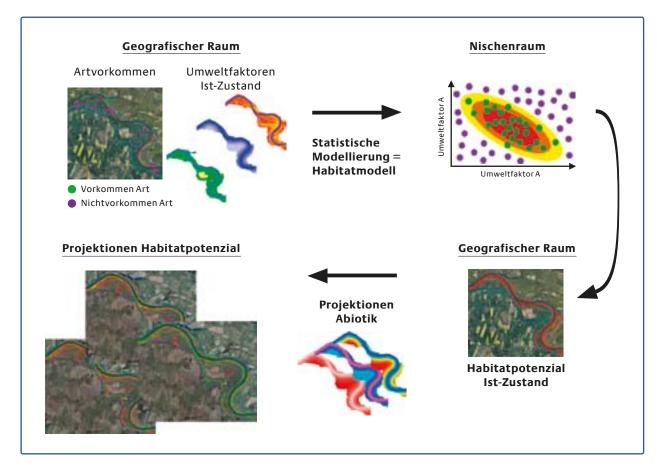
Die Vegetation der Flussauen lässt sich als azonal beschreiben (ELLENBERG 1996). Im Gegensatz zu der zonalen Vegetation, die im Wesentlichen durch großklimatische Bedingungen (Temperatur und Niederschlag) geprägt wird, ist die Vegetation in Flussauen in besonderem Maße an die dort typischen Störungsbedingungen (im ökologischen Sinne) angepasst. Somit werden die Verbreitungsmuster der Auenvegetation neben der Landnutzungsform im Wesentlichen durch die Überflutungsund Morphodynamik geprägt (WARD et al. 2002).

Zur Beschreibung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung von Arten werden meist großklimatische Aspekte und deren Veränderungen berücksichtigt (ARAUJO et al. 2011, POMPE et al. 2008, THUILLER et al. 2005). Viele Auenarten zeichnet jedoch eine großräumige Verbreitung aus, die sich teils über mehrere Klimazonen erstreckt. Konventionelle Ansätze, die das vom Klimawandel ausgehende Gefährdungspotenzial für die Auenarten auf Basis von großklimatischen Modellierungen zu beschreiben versuchen, sind daher nicht ausreichend. Vielmehr müssen die künftig zu erwartenden hydrologischen und morphodynamischen Bedingungen berücksichtigt werden, um mögliche Veränderungen in den kleinräumigen Verbreitungsmustern von Vegetationstypen und Pflanzenarten der Aue quantifizieren zu können. Diesen Ansatz verfolgt das KLIWAS-Projekt 5.06 "Auswirkungen des Klimawandels auf die Flussauenvegetation" im Rahmen von KLIWAS.

2 Habitatmodelle als methodische Grundlage zur Beschreibung des künftigen Habitatpotenzials

Die kleinräumigen Verbreitungsmuster vieler Auenarten lassen sich gut auf Basis von hydrologischen Variablen, wie zum Beispiel der relativen Höhe zu mittleren Wasserständen, dem Ausmaß von Wasserstandsschwankungen, etc. mittels sog. Habitatmodelle beschreiben (HAMMERSMARK et al. 2010, LEYER 2005, MOSNER et al. 2011). Diese statistischen Modelle nutzen Informationen über die Verbreitungsmuster von Arten und über die standörtlichen abiotischen Bedingungen, um die

Vorkommensoptima der Arten entlang von Umweltgradienten im sog. Nischenraum zu ermitteln (Abb. 1). Sind die Zusammenhänge zwischen Verbreitungsmustern der Arten und abiotischen Faktoren statistisch signifikant beschreibbar und erklären diese Zusammenhänge die Verbreitungsmuster zu großen Teilen, kann z. B. auf Basis der abiotischen Informationen eines Referenzzustands das Habitatpotenzial der Arten für diesen Zustand beschrieben werden (→ Habitatpotenzial Ist-Zustand). Stehen darüber hinaus Zukunftsprojektionen der erklärenden, abiotischen Faktoren zur Verfügung (z. B. Zukunftsprojektionen der mittleren Wasser-



 $\textbf{Abb.1:} \ \ Vorgehen bei \ der \ Habitat modellierung \ zur \ Erstellung \ von \ Projektionen \ zur \ Verbreitung \ potenzieller \ Habitat e \ für \ Pflanzenarten/Vegetationstypen.$

stände), lassen sich auf Basis der Habitatmodelle Projektionen zur künftigen Verbreitung des geeigneten Habitats erstellen (→ zukünftiges Habitatpotenzial, Abb. 1).

Die verschiedenen Projektionen des Habitatpotenzials werden dann in einem Geographischen Informationssystem (GIS) jeweils mit dem Referenzzustand des Habitatpotenzials verschnitten. Im Ergebnis erhält man so räumliche Informationen dazu, wo das Habitatpotenzial zukünftig erhalten bleibt, wo Habitate verloren gehen könnten und an welchen Standorten sich künftig Habitatpotenzial entwickeln könnte. Eine räumlich explizite Quantifizierung der zukünftigen Habitatverfügbarkeit wird dadurch möglich und das Gefährdungspotenzial der Auenvegetation, welches durch mögliche hydrolo-

gische Veränderungen in der Aue zustande kommt, lässt sich abschätzen. Im Folgenden wird dieses Vorgehen beispielhaft für die strauchförmige Weichholzaue aufgezeigt.

3 Künftiges Habitatpotenzial der Weichholzaue

Weichholzauen sind ein charakteristischer Lebensraumtypus der Flussauen. Sie zählen zu den am stärksten bedrohten Habitattypen in ganz Europa (UNEP-WCMC 2000) und sind im Anhang I der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) als besonders schützenswerter Lebensraumtyp gelistet. Weichholzauen liefern elementare Ökosystemfunktionen. Sie sind wichtig für die

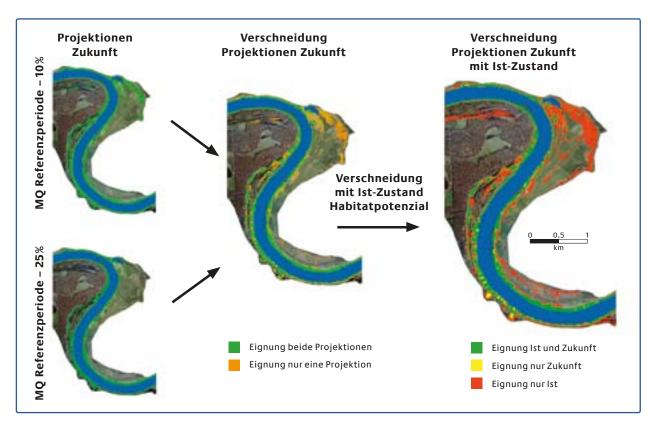


Abb. 2: Abschätzung des künftigen Habitatpotenzials von Weidengebüschen unter Verwendung verschiedener Projektionen künftiger Abflussbedingungen. Links: Habitatpotenzial für zwei unterschiedliche Abflussprojektionen. Mitte: Verschneidung des Habitatpotenzials beider Projektionen. Rechts: Verschneidung der Zukunftsprojektionen mit dem Ist-Zustand.

Wasserqualität, stabilisieren das Sediment und bieten Lebensraum für diverse Tierarten (Hughes et al. 2003, Tockner & Stanford 2002). Die typischen Arten, verschiedene Weidenarten und die Schwarz-Pappel, sind an Standorte mit hohem Störungspotenzial und langen Überflutungsdauern angepasst und sind daher primär im Uferbereich, in Senken und am Rande von Flutmulden zu finden. Auf höher liegenden Standorten können sich Weichholzauen wegen mangelnder Bodenfeuchte und fehlenden Rohböden nicht etablieren.

Das Habitatpotenzial von Weichholzauen lässt sich auf Basis von hydrologischen Variablen (relative Höhe zu Mittelwasser, Wasserstandschwankungen) ausreichend beschreiben (Mosner et al. 2011). Die Berechnung des Habitatpotenzials für den Ist-Zustand lässt erkennen, dass große Teile der Aue bereits heute keine Eignung zur Weichholzauenetablierung aufweisen, da weite Teile der Aue durch die fehlende Morphodynamik zu hoch liegen. Beispielhafte Berechnungen für mögliche künftige Zustände auf Basis reduzierter Abflüsse um minus 10% und minus 25% zeigen, dass im Wesentlichen Habitat verloren geht und nur wenige Standorte an Eignung gewinnen (Abb. 2). Verschneidet man die verschiedenen Projektionen miteinander, lässt sich jenes Habitatpotenzial identifizieren, welches von allen Projektionen ausgewiesen wird und somit als Minimumpotenzial beschrieben werden kann. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden großen Variabilität zwischen den unterschiedlichen Projektionen stellt dieser Ansatz zwar eine eher pessimistische Evaluierung des künftig verfügbaren Habitats dar, kann aber gleichzeitig auch als die belastbarste Abschätzung angesehen werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Habitatmodellierung erweist sich als geeignetes Werkzeug, um mögliche Auswirkungen Klima bedingter Veränderungen des hydrologischen Zustands der Flussauen auf das Habitatpotenzial der Vegetation der Auen abzuschätzen. Damit ist eine erste Quantifizierung potenzieller Auswirkungen des Klimawandels möglich.

Aufgrund der großräumig fehlenden Heterogenität der Auen bedingt durch eine mangelnde Morphodynamik weisen nur wenige Bereiche in der rezenten Aue eine Eignung für Weichholzauen auf. Eine Reduktion des Abflusses wird zu einer weiteren Verringerung dieses Habitatpotenzials führen. Darüber hinaus kann schlussgefolgert werden, dass andere Artengruppen, die im Vertikalgradienten der Aue unterhalb des Weichholzaue, d. h. an feuchteren Standorten vorkommen, unter diesen Annahmen ebenfalls Habitatpotenzial-Verluste erleiden werden. Vegetationstypen der höher liegenden Bereiche sollten hingegen einen Zugewinn an Habitat erfahren. Bis zum Ende der Projektlaufzeit werden für den Rhein und die Elbe für verschiedene Vegetationstypen und repräsentative Arten auf Basis von Habitatmodellen und Zukunftsprojektionen mögliche Effekte des Klimawandels weiter quantifiziert, um eine Grundlage für Anpassungsoptionen zu schaffen.

Literatur

- ARAUJO, M. B., ALAGADOR, D., CABEZA, M., NOGUES-BRAVO, D. & W. THUILLER (2011): Climate change threatens European conservation areas. Ecology Letters 14, 484–492.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer Eugen Verlag, Stuttgart, 1996.
- HAMMERSMARK, C. T., DOBROWSKI, S. Z., RAINS, M. C. & J. F. MOUNT (2010): Simulated Effects of Stream Restoration on the Distribution of Wet-Meadow Vegetation. Restoration Ecology 18, 882–893.
- HUGHES, F., RICHARDS, K., GIREL, J., MOSS, T., MULLER, E., NILSSON, C. & S. B. ROOD (2003): The Flooded Forest: Guidance for policy makers and river managers in Europe on the restoration of floodplain forests, pp.1–96. University of Cambridge, Cambridge, UK, 2003.

- LEYER, I. (2005): Predicting plant species' responses to river regulation: the role of water level fluctuations. Journal of Applied Ecology 42, 239–250.
- MOSNER, E., SCHNEIDER, S., LEHMANN, B. & I. LEYER (2011): Hydrological prerequisites for optimum habitats of riparian Salix communities identifying suitable reforestation sites. Applied Vegetation Science 14, 367–377.
- POMPE, S., HANSPACH, J., BADECK, F., KLOTZ, S., THUILLER, W. & I. KUHN (2008): Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. Biology Letters 4, 564–567.
- THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAUJO, M. B., SYKES, M. T. & I. C. PRENTICE (2005): Climate change threats to plant diversity in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102, 8245–8250.
- TOCKNER, K. & J. A. STANFORD (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. Environmental Conservation 29, 308–330.
- UNEP-WCMC (2000): European Forests and Protected Areas: Gap Analysis. United Nations Environmental Program-World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK, 2000.
- WARD, J. V., TOCKNER, K., ARSCOTT, D. B. & C. CLARET (2002): Riverine landscape diversity. Freshwater Biology 47, 517–539.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Donau

Einfluss des Klimawandels auf mögliche Änderungen des Abflussregimes an der Donau im 20. und 21. Jahrhundert

Bastian Klein, Imke Lingemann, Peter Krahe & Enno Nilson (alle BfG)

1 Einleitung

Mit einer Länge von 2.857 km und einer Gesamteinzugsgebietsfläche von ca. 800.000 km² ist die Donau der größte Strom Mittel- und Südosteuropas. Das Untersuchungsgebiet in KLIWAS (siehe Abb. 1), obere Donau bis zum Pegel Achleiten an der Deutsch-Österreichischen Grenze, umfasst eine Einzugsgebietsfläche von 76.600 km². Obwohl dieses Gebiet nur ca. 9% der Gesamtfläche entspricht, entspringen ihm (1.420 m³/s am Pegel Achleiten) ca. 22% des Gesamtabflusses der Donau (ca. 6.500 m³/s am Kap Ismail). Somit hat dieses Gebiet eine wichtige Funktion als so genanntes "Wasserschloss" für die Donau-

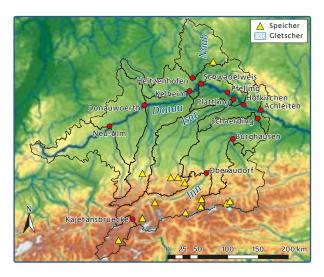


Abb. 1: Untersuchungsgebiet obere Donau bis zum Pegel Achleiten

Unterlieger. Mögliche Änderungen im Wasserhaushalt in Folge des Klimawandels haben daher große Auswirkungen auf das gesamte Einzugsgebiet.

Wie bei den anderen untersuchten Flussgebieten Rhein (NILSON et al, in diesem Band) und Elbe (HORSTEN et al., in diesem Band) des Projektes "Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität" (Projekt 4.01) wird auch an der Donau ein Multi-Modell-Ansatz angewendet, um die Auswirkungen und Unsicherheiten des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zu quantifizieren.

2 Beobachtete Änderungen im 20. Jahrhundert

Das Abflussregime der oberen Donau ändert sich in Fließrichtung durch die südlichen alpinen Zuflüsse (Iller, Lech, Isar und Inn) von einem Regen dominierten (pluvial) Abflussregime zu einem Schnee dominierten (nival) Abflussregime. Insbesondere der Inn führt zu einer starken Änderung des Abflussregimes, da er bei der Mündung einen ähnlichen mittleren Abfluss wie die Donau selbst hat. Nach dem Zusammenfluss mit dem Inn am Pegel Achleiten hat die Donau ein nivales Abflussregime mit einem deutlichen Maximum im Sommer (siehe Abb. 2). Wird das Abfluss-Regime (hier beschrieben durch die mit dem mittleren Abfluss normierten langjährigen Monatsmittelwerte, die so genannten Pardé-Koeffizienten) für unterschiedliche Zeitscheiben ausgewertet, können Änderungen über die Zeit erkannt werden.

Abb. 2 zeigt, dass sich das Abflussregime für den Pegel Achleiten während der vergangenen 100 Jahre geändert hat. Es zeigt eine Abnahme der mittleren monatlichen Abflüsse im Sommer und eine Zunahme im Winter. Die Ursachen hierfür können in einer Veränderung des Schnee- und Niederschlagsregime in der Vergangenheit, aber auch in anthropogenen Einflüssen wie Talsperren- und Speicherausbau liegen. Der durch die bisherigen Untersuchungen in KLIWAS erwartete Einfluss des Klimawandels führt zu einer ähnlichen Veränderung des Abflussregimes wie der Einfluss von Talsperren und Speichern (Abnahme der Abflüsse im Sommer und Zunahme im Winter). Daher kann der jeweilige Anteil an der Änderung nur schwer quantifiziert werden.

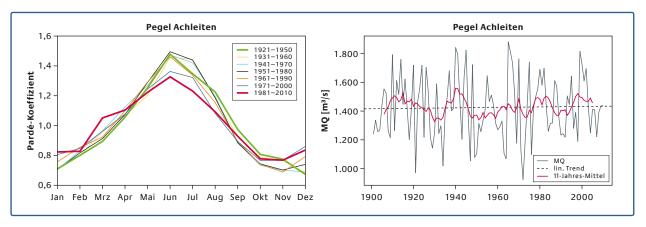


Abb. 2: Abflussregime am Pegel Achleiten (links) für verschiedene Zeitscheiben; Mittlerer jährlicher Abfluss MQ am Pegel Achleiten (rechts), 11-Jahresmittel und lineare Trendgerade

Bei dem mittleren jährlichen Abfluss MQ zeigt sich am Pegel Achleiten und den anderen Pegeln an der Donau (hier nicht gezeigt) kein signifkanter Trend zu einer Zubzw. Abnahme über die Zeit (rechte Seite Abb. 2).

Bei der zeitlichen Entwicklung der niedrigsten 7-Tagesmittel der Abflüsse NM7Q im Sommer- und im Winterhalbjahr zeigen sich für die beiden Donau-Pegel Hofkirchen und Achleiten Veränderungen über die Zeit (Abb. 3). Während die Abflusswerte der winterlichen Niedrigwasserabflüsse über die Zeit signifikant zugenommen

haben, die Niedrigwassersituation sich also verbessert hat, ist bei den sommerlichen Niedrigwasserabflüssen kein statistisch signifikanter Trend zu erkennen. Wie bei der Änderung der Saisonaliät der Abflüsse können die Ursachen an einer Kombination aus einer Veränderung des Schnee- und Niederschlagsregime und anthropogener Veränderungen im Einzugsgebiet liegen. Die Größe des Einflusses der unterschiedlichen Faktoren kann nicht über eine statistische Analyse alleine, sondern nur

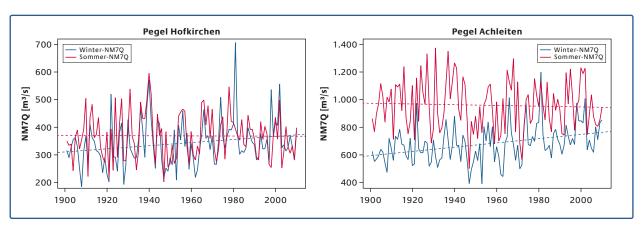


Abb. 3: Zeitliche Entwicklung der niedrigsten 7-Tagesmittel der Abflüsse NM7Q im Sommer und im Winter am Pegel Hofkirchen und Pegel Achleiten

in Verbindung mit einem detaillierten, räumlich verteilten Wasserhaushaltsmodell ermittelt werden.

3 Wasserbilanzmodellierung mit COSERO

Um Aussagen über die möglichen Änderungen des Wasserhaushalts treffen zu können, wurde für das Gebiet der deutschen oberen Donau das Wasserbilanzmodell COSERO (KLING et al. 2005) aufgebaut. Das Gebiet wurde hierzu in 12 Teileinzugsgebiete, die jeweils in Höhenzonen unterteilt wurden, eingeteilt (Klein et al. 2011). In dem Modell sind Gletscher über ein negatives Massenbilanzverfahren und die größten Talsperren und Speicher berücksichtigt. Als Beobachtungsdatensatz wurden die Monatswerte von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer der Stationen des HISTALP-Datensatzes (Вöнм et al. 2009) verwendet. Da sowohl diese meteorologischen Beobachtungsdaten als auch Abflusszeitreihen für einige Pegel im Gebiet für einen langen Zeitraum verfügbar sind, wurde die Wasserbilanzsimulation der Vergangenheit für den Zeitraum von 1887–2007 durchgeführt. Durch die Validierung des aufgebauten Wasserbilanzmodells für diesen langen Zeitraum konnte eine gute Anpassung der simulierten monatlichen Abflüsse an die beobachteten Abflüsse für vom Kalibrierungszeitraum 1961–1990 unabhängige Zeiträume nachgewiesen werden (KLEIN et al. 2011).

Mit diesem Modell kann der Einfluss der Gletscher sowie Talsperren und Speicher auf den Wasserhaushalt untersucht werden, indem Simulationen mit und ohne die Berücksichtigung von Speichern/Gletschern durchgeführt werden. In Abb. 4 ist der Einfluss der Speicher auf das Abflussregime des Pegels Achleiten gut zu erkennen. Durch die Speicherung des Wassers und Abgabe für die Elektrizitätsproduktion werden die hohen Abflüsse im Sommer abgemindert und die niedrigen Abflüsse im Winter erhöht. Die Gletscherschmelze hat im Gegensatz hierzu keinen großen Einfluss auf die mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Achleiten.

4 Mögliche Änderungen des Abflussregimes im 21. Jahrhundert

Als meteorologische Eingangsdaten für die Wasserhaushaltsimulationen der Zukunft bis zum Jahr 2100 wurden die dynamischen regionalen Klimaprojektionen aus dem EU-Projekt ENSEMBLES verwendet (ENSEMBLES 2009). Die Modellkette der insgesamt 23 regionalen Klimaprojektionen besteht aus Kombinationen von 12 regionalen Klimamodellen (RCM) und 7 globalen Klimamodellen (GCM), die alle durch das IPCC Emissionsszenario A1B angetrieben werden (Darstellung der verwendeten Modellketten siehe Klein et al. 2012).

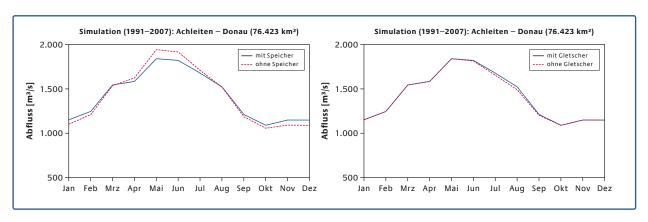


Abb. 4: Simulierte mittlere monatliche Abflüsse (1991–2007) am Pegel Achleiten. Simulation mit und ohne Einfluss der Talsperren und Speicher (linke Abbildung) und Simulation mit und ohne Einfluss der Gletscherschmelze (rechte Abbildung).

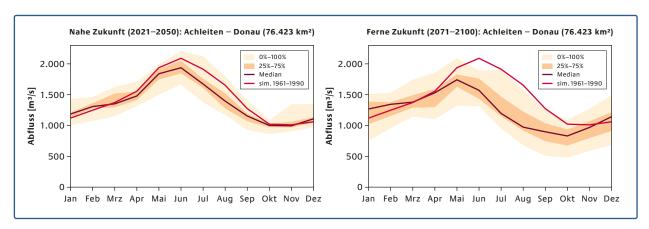


Abb. 5: Quartile des Abfluss-Ensembles der simulierten langjährigen Montsmittelwerte von der nahen (2021–2050) und fernen Zukunft (2071–2100) verglichen mit den simulierten Werten des Referenzzeitraums (1961–1990) für den Pegel Achleiten

Trotz der stetigen Verbesserungen in den letzten Jahren weisen die Klimamodelle bei der Nachbildung der Vergangenheit systematische Abweichungen ("bias") zu den Beobachtungen auf. Daher können die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle nicht direkt als Eingangsgröße in das Wasserbilanzmodell verwendet werden (Klein et al. 2012), sondern es muss ein so genanntes Bias-Korrekturverfahren angewendet werden, um diesen systematischen Fehler zu korrigieren (MUDELSEE et al. 2010). Bei den bisher an der Donau im Rahmen von KLIWAS durchgeführten Wasserbilanzmodellierungen wurde der Delta Change Ansatz (Fowler et al. 2007) angewendet, bei dem für die Teilgebiete die monatlichen Änderungssignale von Temperatur und Niederschlag in der Zukunft auf die aus den Messwerten der Vergangenheit ermittelten Gebietsmittelwerten aufgeprägt werden. Bei drei der 23 Klimaprojektionen war der systematische Fehler hingegen so groß, dass sie nach einer ausführlichen Validierung in den weiteren Untersuchungen nicht mehr verwendet wurden.

Abb. 5 zeigt den Vergleich der projizierten langjährigen mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Achleiten für die nahe und ferne Zukunft mit den simulierten Werten der Vergangenheit (1961–1990). Die Spannweite der Ensemble-Ergebnisse ist durch das Minimum, das Maximum, die 25-%- und 75-%-Quartile sowie den Median aus

den Werten der unterschiedlichen regionalen Klimaprojektionen für jeden Monat dargestellt.

Für die nahe Zukunft zeigen die Ergebnisse eine moderate Abnahme der sommerlichen Abflüsse. Das Unsicherheitsband 25%–75%, in dem die Ergebnisse von 50% der Abflussprojektionen liegen, ist für die nahe Zukunft noch relativ schmal. Für die ferne Zukunft (2071–2100) ist dieses Unsicherheitsband deutlich breiter. In diesem Zeitraum weisen die Ergebnisse auf eine deutliche Abnahme der sommerlichen Abflüsse hin. Das frühere Auftreten des Jahresmaximums ist ein Indiz für eine Änderung des Abflussregimes hin zu einem mehr Regen dominierten Regime in der Zukunft. Die Ursachen hierfür sind die Änderungen in den Schneeprozessen aufgrund der projizierten höheren Temperaturen und der projizierten Änderung des Niederschlagsregimes (hohe Winterniederschläge) in der Zukunft.

Abb. 6 zeigt die Änderungen des mittleren jährlichen Abflusses für die nahe und ferne Zukunft, für alle Teilgebiete und alle Abflussprojektionen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990. Für die nahe Zukunft liegen die projizierten Änderungen zwischen +10% und –20%. Für die ferne Zukunft zeigen die Ergebnisse für fast alle Projektionen und alle Teilgebiete eine Abnahme des mittleren jährlichen Abflusses MQ mit Abnahmen zwischen –40% und 0%. Nur der Pegel Heitzenhofen an der

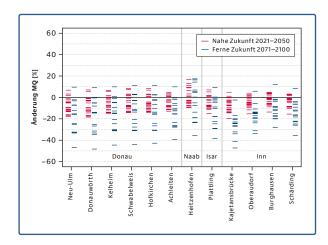


Abb. 6: Projizierte relative Änderungen des mittleren jährlichen Abflusses MQ für die nahe (2021–2050) und die ferne Zukunft (2071–2100) im Vergleich zum Referenzzeitraum (1961–1990). Jede Linie entspricht der projizierten Änderung einer Klimaprojektion.

Naab zeigt für die nahe und ferne Zukunft keine klare Tendenz zu einer Ab- oder Zunahme der Abflüsse. Die Naab entspringt nördlich der Donau im Mittelgebirge und ist daher im Gegensatz zu den anderen Einzugsgebieten mit alpinen Anteilen eher durch das Regenregime beeinflusst.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Analyse der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Donau wurde wie bei den anderen Flussgebieten in KLIWAS mit einem Multi-Modell-Ansatz durchgeführt. Nur mit diesem Ansatz können die Unsicherheiten über die mögliche Entwicklung des Klimas in der Zukunft berücksichtigt und quantifiziert werden. Für die erste Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Donau wurden mit dem Wasserbilanzmodell COSERO Simulationen auf Monatsbasis durchgeführt. Bei der Simulation der Vergangenheit von 1887–2007 zeigte sich das Modell in der Lage, unterschiedliche Zeiträume plausibel abzubilden.

Die Simulationsergebnisse mit regionalen Klimaprojektionen zeigen für die nahe Zukunft keine signifikanten Veränderungen bei dem mittleren jährlichen Abfluss und für die ferne Zukunft eine Tendenz zu einer Abnahme der mittleren jährlichen Abflüsse. In der nahen Zukunft zeigt ein Großteil der Projektionen eine Abnahme der sommerlichen Abflüsse, die sich zum Ende des Jahrhunderts weiter verstärkt. Bis zum Ende des Jahrhunderts zeigen die Ergebnisse durch das frühere Auftreten des Sommermaximums eine Veränderung des Abflussregimes zu einem mehr Regen dominierten Abflussregime.

Die Tendenzen der Ergebnisse von KLIWAS stimmen mit anderen Klimafolgenforschungsprojekten an der Donau, wie z. B. GLOWA Danube (2010), überein, bei der Größe der möglichen Änderungssignale bestehen zwischen den Projekten aber deutliche Unterschiede.

Da bisher Monatswerte untersucht wurden, können mit den Ergebnissen keine Aussagen über Hochwasser und nur indirekte Aussagen über Niedrigwasserereignisse (z.B. über die Dauerlinie der Monatswerte) in der Zukunft getroffen werden. Im weiteren Verlauf von KLIWAS werden diese Aspekte mit dem momentan im Aufbau befindlichen zeitlich und räumlich detaillierten Wasserhaushaltsmodell LARSIM_ME auch für das Donaueinzugsgebiet umfassend untersucht.

Literatur

- BÖHM, R., AUER, I., SCHÖNER, W., GANEKIND, M., GRUBER, C., JURKOVIC, A., ORLIK, A. & M. UNGERSBÖCK (2009): Eine neue Webseite mit instrumentellen Qualitäts-Klimadaten für den Großraum Alpen zurück bis 1760. In Wiener Mitteilungen Band 216: Hochwässer: Bemessung, Risikoanalyse und Vorhersage, 7–20, 2009.
- ENSEMBLES (2009): Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales. Final report ENSEMBLES, 164 pp., 2009.

- FOWLER, H. J., BLENKINSOP, S. & C. TEBALDI (2007): Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. International Journal of Climatology 27: 1547–1578, 2007.
- GLOWA-DANUBE-PROJECT (2010): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, LMU München (Hrsg.), München, 2010.
- HORSTEN, T., KRAHE, P., NILSON, E., BELZ, J. U., EBNER VON ESCHENBACH A.-D. & M. LARINA (2012): Änderungen von Wasserhaushaltskomponenten im Elbegebiet Herausforderungen und Lösungsansätze. Dieser Band.
- KLEIN, B., KRAHE, P., LINGEMANN, I., NILSON, E., KLING, H. & M. FUCHS (2011): Assessing Climate Change Impacts on Water Balance in the Upper Danube Basin based on a 23 Member RCM Ensemble. Proceedings of the XXVth Conference of the Danube Countries, 16–17 Juni, Budapest, 2011.
- KLEIN, B., LINGEMANN, I., NILSON, E., KRAHE, P., MAURER, T. & H. MOSER (2012): Key concepts for the analysis of climate change impacts for river basin management in the River Danube, 2012 (to be published).
- KLING H., FÜRST J. & H. P. NACHTNEBEL (2005): Spatio-temporal water balance Danube – a methodology for the spatially distributed, seasonal water balance of the Danube basin. Final report, Austrian Academy of Sciences, 2005.
- MUDELSEE, M. CHIRILA, D., DEUTSCHLÄNDER, T., DÖRING, C., HAERTER, J., HAGEMANN, S., HOFFMANN, H., JACOB, D., KRAHÉ, P., LOHMANN, G., MOSELEY, C., NILSON, E., PANFEROV, O., RATH, T. & B. TINZ (2010): Climate Model Bias Correction und die Deutsche Anpassungsstrategie Mitteilungen DMG 03/2010, www.dmg-ev.de, Heft 03 2010 ISSN 0177-8501, 2010.
- NILSON, E., CARAMBIA, M., KRAHE, P., LARINA, M, BELZ J. U. & M. PROMNY (2012): Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein. Dieser Band.

Vegetation und Fauna der Donau zwischen Straubing und Vilshofen

Jan Peper (BfG) & Michael Schleuter (BfG)

1 Einleitung

Der Einfluss des Klimawandels auf die Lebensgemeinschaften der Donau und ihrer Aue zwischen Straubing und Vilshofen soll im Forschungsprojekt DONAUKLIMA ab Herbst 2012 untersucht werden. Dieser letzte noch frei fließende Abschnitt der Bundeswasserstraße Donau ist bereits seit Jahrzehnten Objekt ökologischer Untersuchungen. So fanden in den Jahren 1993-1995 Kartierungen der Vegetation, Flora und Fauna im Rahmen eines geplanten Ausbaus des Schifffahrtsweges statt (SCHALLER 1996). Dabei liegt ein besonderer Schwerpunkt auf dem Gebiet der Isarmündung bei Deggendorf. Um die enorme naturschutzfachliche Bedeutung dieses Abschnittes herauszustellen, wurden im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz weitere detaillierte Erhebungen zu Vegetation, Flora und Mollusken durchgeführt (FOECKLER et al. 2010, BINDER 2011).

Im KLIWAS-Projekt 4.01 werden nun hydro-meteorologische Referenzdaten ausgewertet und Projektionen für zukünftig zu erwartende Abflussmengen und Wasserstände erstellt (www.kliwas.de). Allerdings ist in diesem Gebiet bislang keine Betrachtung Klima bedingter ökologischer Veränderungen durch KLIWAS vorgesehen. Um diese Lücke zu schließen, ist die Kenntnis des aktuellen Vorkommens und der Ökologie der zu modellierenden Organismengruppen notwendig. Hier besteht nun die Möglichkeit, auf die in den Jahren 2010 und 2011 durchgeführten Kartierungen im Rahmen der EU-Studie "Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen" zurückzugreifen. Im Folgenden wird ein Überblick über die aktuellen Erhebungen gegeben und der Arbeitsrahmen für das geplante Projekt DONAUKLIMA abgesteckt.

2 Untersuchungsgebiet und Ausbauvarianten

Die Donau wird zwischen Kehlheim und Passau als Schifffahrtsstraße und zur Energieerzeugung genutzt. Dafür ist sie auf einem Großteil der Strecke in Stauhaltungen gefasst. Lediglich der Abschnitt zwischen Straubing und Vilshofen im Dungau ist auf ca. 70 km noch frei fließend. Von besonderer ökologischer Bedeutung ist dabei die Mündung der Isar mit ihrem Schüttkegel. Hier existieren noch bedeutende Reste der Weichholzaue. welche andernorts besonders durch den Bau der Stauhaltungen vernichtet worden sind. Außerdem findet man hier temporär trocken fallende Kies- und Schlammbänke und das Deichhinterland strotzt vor botanischen Kostbarkeiten wie Becherglocke, Sumpf-Gladiole oder dem Frauenschuh. Aufgrund dieser außerordentlich reichen Naturausstattung sind sowohl die Isarmündung als auch die Donauauen als Natura-2000 Gebiete und teilweise als Naturschutzgebiete ausgewiesen.

Für die Binnenschiffer allerdings ist besonders das Gebiet unterhalb der Isarmündung eine Herausforderung, denn hier ist die Fahrrinne stellenweise sehr schmal, die Strömung stark und einige Kurven sehr eng. Um hier dennoch möglichst eine ganzjährige Nutzung bei geringem Unfallrisiko zu ermöglichen, sind zwei Ausbauvarianten der Donau in Planung und Diskussion.

Variante A sieht einen flussregelnden Ausbau u.a. mit Erneuerung und Ergänzung von Buhnen und Parallelwerken vor. Die Alternative dazu ist Variante C 2.80. Dabei soll ein Schlauchwehr bei Niederalteich einen Rückstau bis über die Isarmündung hinaus erzeugen. Am Wehr soll dann ein Schleusenkanal die Mühlhamer Schleife umgehen und bei Winzer wieder in die Donau münden.

Zur Bilanzierung der zu erwartenden Änderungen durch die Baumaßnahmen auf den Naturhaushalt im Rahmen der Umweltplanung wurden Kartierungen in der gesamten Aue in Auftrag gegeben. Dabei deckt das Untersuchungsgebiet eine Fläche ab, die ohne Deiche bei einem 100-jährlichen Hochwasser von Wasser bedeckt wäre – dies entspricht ca. 180 km².

3 Datenlage

Um die ökologischen Auswirkungen der Varianten in der laufenden EU-Studie zu quantifizieren, werden neben den biotischen Komponenten auch umfassende abiotische Standortfaktoren gemessen oder entsprechend flächig modelliert. Kernstück dabei ist ein aktuelles digitales Geländemodell, welches durch Laserscanbefliegungen, Orthofotos, terrestrische Messungen und Flachwasserpeilungen mit hoher Genauigkeit erstellt werden konnte.

Des weiteren werden durch die Bundesanstalt für Wasserbau 3-D-Hydraulikmodelle für 11 unterschiedliche Abflüsse berechnet. So liegen Daten für Fließgeschwindigkeiten, Wasserspiegellagen und damit indirekt auch für Überflutungsdauern vor. Für die Zusammensetzung der Vegetation sind außerdem die Grundwasserverhältnisse ausschlaggebend. Dabei werden für fünf ökologisch bedeutsame Abflüsse Grundwasserspiegellagen in der gesamten Aue modelliert.

Bodenkundliche Parameter wie Bodenart und Bodentyp können aus über 26.000 Bohrstockeinschlägen und Rammkernsondierungen abgeleitet werden. Gleiches gilt für die Mächtigkeit der Auelehmdeckschicht. Außerdem wurden Gewässerstrukturen wie Buhnen, Kiesbänke und Steilufer gesondert kartiert.

Flora und Fauna wurden für das Projekt so umfangreich wie vermutlich für kein anderes Flussgebiet in Deutschland untersucht. Die wichtigsten Tier- und Pflanzengruppen listet dafür Tabelle 1 auf. Als besonders vorteilhaft für das Verständnis der Aue sind dabei die vorhandenen Daten aus Altkartierungen – so können Veränderungen der letzten Jahre untersucht werden.

Flächendeckend wurden Vegetationstypen und daraus abgeleitet Biotop-, FFH-Lebensraum- und Nutzungstypen kartiert. Noch detailliertere Ergebnisse liegen für Pflanzenarten der Roten Listen Bayerns und Deutschlands vor. Für diese wurde jedes einzelne Vorkommen per GPS eingemessen. So existiert ein Datensatz mit über 30.000 Verbreitungspunkten von 299 Arten.

Als Qualitätskomponenten der Wasser-Rahmen-Richtlinie wurden u. a. Phytoplankton, Phytobenthos, Makrozoobenthos und Fische kartiert. Allein 44.000 Fische in 52 Arten wurden gefangen und vermessen. Im Bereich der Aue liegen nun sowohl Daten zu verschiedenen Insektengruppen, Mollusken, Lurchen und ihren Laichhabitaten, Fledermäusen und Brut- als auch Rastvögeln vor. Weiterhin wurden Reviere von Fischotter und Biber untersucht.

Tabelle 1: Liste ausgewählter, kartierter Tier- und Pflanzengruppen sowie Vegetation mit dem Jahr der Erhebung sowohl früherer als auch der aktuellen Studie.

Kartierte Gruppe	Altdaten	Neue Daten	
Vegetation	1993-95; 98/99; 03/04	2010/11	
Flora	1993-95	2010/11	
Phytobenthos		2011	
Phytoplankton		2010	
Vögel	1993-95	2010	
Lurche	1993-95	2010	
Fische	1994/95; 2006	2010/11	
Makrozoobenthos	1987-97	2010	
Wasserinsekten	1993/94	2010	
Tagfalter	1993-95	2010	
Uferlaufkäfer	1993/94	2010	
Totholzkäfer	1993/94	2011	
Auenmollusken	1987-89; 93-95	2010	

4 Analyse der Daten

Neben rein fachgutachterlichen Ansätzen zur Prognose von Veränderungen durch die Bauauswirkungen, werden in der EU-Studie statistische Verfahren zur Analyse einiger Datensätze verwendet. Hier kommt u. a. das Auen-Reaktions-Modell INFORM (Integrated Floodplain Response Model, GIEBEL et al. 2011) zum Einsatz. So kann das Modul MOFIR (Model of Fish Response) sowohl die aktuelle als auch die zukünftige Habitateignung für ausgewählte Fischarten abbilden. Ähnliche Module existieren für Uferlaufkäfer und Makrozoobenthos.

Im Bereich der Vegetation wird zusätzlich ein empirisches Modell auf Basis der aktuell erhobenen Daten erstellt, mit dessen Hilfe sich das Standortpotential für die auetypischen Vegetationstypen darstellen lässt. Neben der Modellierung ökologischer Nischen für Einzelarten werden indirekte Ordination, Clusteranalyse und weitere statistische Verfahren angewendet. Diese Modelle werden verwendet, um die Habitateignung nach Umsetzung der Varianten abzuschätzen. Daraus lassen sich dann Umfang und Qualität der Veränderungen ableiten.

5 Was soll DONAUKLIMA leisten?

Das Projekt DONAUKLIMA ist an der BfG im Referat U2 angesiedelt und soll die vorhandenen Daten unabhängig von der Ausbauplanung betrachten. Dabei soll auf den Ergebnissen zur Abflussprojektion der Donau aus KLIWAS 4.01 aufgebaut werden. Gleichzeitig werden vorhandene Lücken in KLIWAS geschlossen. Dazu zählt, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf Flora und Fauna an der Donau noch nicht untersucht sind. Außerdem wurden Veränderungen in der Habitateignung für aquatische Tiergruppen durch Klimawandel in KLIWAS noch nicht betrachtet.

Neben der reinen Betrachtung zukünftiger Entwicklung, sollen auch retrospektive Analysen durchgeführt werden. Erkenntnisse aus diesen "Langzeitdaten" können wiederum für Projektionen von erheblicher Bedeutung sein und z. B. die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen besser abschätzen.

Das Projekt ist vorerst für die Dauer eines Jahres angelegt und sowohl in einen geobotanischen als auch zoologischen Teil gegliedert. Für den geobotanischen Teil sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- (1) Wie ändert sich das Standortpotential für auetypische Vegetationstypen und damit Biotoptypen in den zwei Zeithorizonten bis 2021–2050 und 2071–2100 durch Klima bedingte Abflussänderungen?
- (2) Wie hat sich die Vegetation seit 1993 verändert?

(3) Lassen sich aus der Analyse von Grundwasserstandszeitreihen an Pegelmessstellen Unterschiede in der Vegetation ableiten?

Der zoologische Teil wird folgende Fragen analysieren:

- (1) Wie ändern sich die Habitateignungen für Fische, Makrozoobenthos, Mollusken und Uferlaufkäfer in den zwei Zeithorizonten bis 2021–2050 und 2071–2100 durch Klima bedingte Abflussänderungen?
- (2) Wie haben sich seit 1993 Vorkommen und Häufigkeit einzelner Arten der oben genannten Tiergruppen verändert?

Durch die Analysen sollen die bereits bestehenden Modelle der BfG erweitert und verbessert werden. Zusammenfassend sollen die schifffahrtsbedingten und nicht schifffahrtsbedingten Einflüsse auf die Degradierung des Gebietes gegenübergestellt und diskutiert werden. Zudem kann der Erfolg der bereits durchgeführten Ausgleichsmaßnahmen diskutiert und langfristig funktionierende Maßnahmen aufgezeigt werden.

Literatur

- BINDER, W. (2011): Flusslandschaft Isar im Wandel der Zeit, Augsburg, 2011.
- FOECKLER, F., SCHMIDT, H. & T. HERRMANN (2010): Ökologische Untersuchungen im Isarmündungsgebiet, BfN-Skripten 276, Bonn, 2010.
- GIEBEL, H., ROSENZWEIG, S. & M. SCHLEUTER (2011): Ökologische Modellierungen für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Koblenz, 2011.
- SCHALLER, J. (1996): Bundeswasserstraße Donau Ökologische Grobstudie zu flußbaulichen und staugestützten Ausbauplanungen Donauabschnitt Straubing bis Isarmündung. Gutachten im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland, Koordination BfG, 1996.

Das Donaueinzugsgebiet im Wandel: Die IKSD und die Klimaanpassungsstrategie

Philip Weller, Raimund Mair & Benedikt Mandl (alle IKSD)

1 Einleitung

Eine intakte Umwelt eines Flusseinzugsgebiets ist die Grundlage für die wirtschaftliche, gesellschaftliche und kulturelle Entwicklung. Die Donau und das Netz ihrer Nebenflüsse verbinden einige der wohlhabendsten mit einigen der ärmsten Regionen Europas. Das Donaueinzugsgebiet, an dem 19 Länder Anteil haben, gilt als das weltweit internationalste Flusseinzugsgebiet, in dem mehr als 80 Millionen Menschen leben. Das Leben dieser Menschen und die Umwelt sind schnellen Veränderungen unterworfen, die u.a. durch den Klimawandel bewirkt werden. Zur Vorbereitung auf diesen Wandel in den kommenden Jahrzehnten wurde die Internationale Kommission zum Schutz der Donau (IKSD) im Februar 2010 von den Teilnehmern einer Ministerkonferenz beauftragt, eine Klimaanpassungsstrategie für das Donaueinzugsgebiet zu erarbeiten. Maßnahmen im Zusammenhang mit einer solchen Anpassung werden auch durch die EU-Strategie für den Donauraum unterstützt. Deutschland wurde als federführendes Land für die Lenkung dieses Prozesses innerhalb der IKSD nominiert. Um eine Grundlage für die Erarbeitung der Strategie zu erhalten, finanzierte Deutschland zuerst eine Donaustudie "Klimaanpassung", die von der Ludwig-Maximilians-Universität München erstellt wurde. Diese Studie basierte auf einer Sammlung wissenschaftlicher Daten über Klimawandelprognosen und mögliche Auswirkungen im Donaueinzugsgebiet, und es wurde eine Metaanalyse dieser Daten durchgeführt. Die Strategie wird sich an dieser Studie orientieren und auf anderen Bereichen aufbauen, in denen die IKSD integrativ tätig ist. In dieser Publikation geben wir einen Überblick über die Arbeit der IKSD im Allgemeinen und die Erarbeitung der Klimaanpassungsstrategie für das Donaueinzugsgebiet im Besonderen.

2 Die Internationale Kommission zum Schutz der Donau (IKSD)

Von der Quelle bis zum Schwarzen Meer ist die Donau ungefähr 2.800 km lang und somit nach der Wolga der zweitlängste europäische Fluss. Ihr Einzugsgebiet erstreckt sich in das Hoheitsgebiet von 19 Ländern und umfasst mehr als 800.000 km² bzw. ungefähr 10% der Fläche Kontinentaleuropas. Dieser Teil Europas ist äußerst vielfältig: Die Donau fließt durch Gebiete mit sehr unterschiedlichen Kulturen, Landschaften und Ökosystemen (ICPDR 2011).

Historisch betrachtet, wurden diese Ökosysteme durch menschliche Aktivitäten belastet: Haushalte, Industrien und die Landwirtschaft haben jahrzehntelang zu einer Verschlechterung der Wasserqualität beigetragen. Diese Probleme konnten nicht von einzelnen Ländern allein angegangen werden. Mit dem Fall des Eisernen Vorhangs im Jahr 1989 eröffneten sich für die Donaustaaten neue Möglichkeiten: Mit dem Verschwinden der Teilung zwischen Ost- und Westeuropa zeigte sich die Notwendigkeit einer gemeinsamen Wasserbewirtschaftung deutlicher als je zuvor.

Das Donaueinzugsgebiet ist durch natürliche Wasserscheiden abgegrenzt. Von den 19 Staaten, die an diesem Einzugsgebiet Anteil haben, beträgt dieser Anteil bei 14 Staaten mehr als 2.000 km². Diese größten Donaustaaten, von denen einige keine direkten Anrainerstaaten an der Donau sind aber im Einzugsgebiet liegen, haben ihre Verantwortung erkannt ihre Bemühungen in Bezug auf den Umweltschutz abzustimmen. Am 29. Juni 1994 haben die größten Donaustaaten in Sofia (Bulgarien) das Donauschutzübereinkommen (ICPDR 1994) unterzeichnet. Flüsse kennen keine Grenzen, und daher muss auch die Flussgebietsbewirtschaftung über einzelne Länder hinausgehen. In diesem Sinne wurden in dem Übereinkommen drei Hauptbereiche festgelegt, in denen Maßnahmen erforderlich sind: der Schutz des Wassers und der damit verbundenen ökologischen

Ressourcen, die nachhaltige Nutzung von Wasser im Donaueinzugsgebiet und die Verringerung der Einleitung von Nähr- und Gefahrstoffen. Heute hat das Donauschutzübereinkommen 15 Vertragsparteien: 14 Staaten und die Europäische Union. Zusammen bilden sie die Internationale Kommission zum Schutz der Donau. Das Ständige Sekretariat der IKSD, das 1998 seine Arbeit aufgenommen hat, befindet sich in Wien.

Im Jahr 2000 hat die Europäische Union die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (European Com-MISSION 2000) verabschiedet. Sie schreibt eine Wasserbewirtschaftung vor, die sich an den Grenzen der natürlichen Flusseinzugsgebiete und weniger an nationalen oder anderen administrativen Grenzen orientiert. Zusammen mit der Durchführung der EG-Hochwasserrichtlinie (European Commission 2007) von 2007 genießt die Europäische Wasserrahmenrichtlinie bei der IKSD höchste Priorität, da alle ihre Vertragsparteien einschließlich der Nicht-EU-Staaten ihrer Umsetzung zugestimmt haben. Dazu wurde ein Bewirtschaftungsplan für das Donaueinzugsgebiet (ICPDR 2009) auf der Grundlage der Beurteilung der Umweltbedingungen im Einzugsgebiet erstellt. Durch die Analyse konnten vier Problembereiche, die so genannten "wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen" (ICPDR 2008), bestimmt werden: die organische Verschmutzung, die Nährstoffbelastung, die Verschmutzung durch Gefahrstoffe und hydromorphologische Veränderungen. Heute sind in dem Bewirtschaftungsplan für das Donaueinzugsgebiet und den 17 Hochwasseraktionsprogrammen (ICPDR 2004) Hunderte von Maßnahmen und Strategien aufgeführt, mit denen die IKSD und ihre Vertragsparteien auf ein intaktes Flusseinzugsgebiet hinarbeiten. Auch die Überwachung dieser Maßnahmen und ihrer Auswirkungen wird von der IKSD mit Hilfe eines grenzüberschreitenden Überwachungsnetzes koordiniert. Es umfasst 79 Überwachungsstandorte mit bis zu drei Probenahmestellen in der gesamten Donau und ihren Hauptnebenflüssen. Nach seiner offiziellen Einführung im Jahr 1996 wurde das Überwachungsnetz 2006 umgestaltet, damit es alle Bestimmungen der EG-Richtlinien erfüllen kann. Mit dem grenzüberschreitenden Überwachungsnetz will

man nicht nur einen ausgewogenen Gesamtüberblick über die Belastungssituation erhalten, es sollen auch Daten über langfristige Tendenzen bei der Wasserqualität der größeren Flüsse des Einzugsgebiets gesammelt werden. Angesichts der wachsenden Erkenntnis, dass sich eine durch den Klimawandel beeinflusste Entwicklung vollzieht, ist eine solche Beurteilung der langfristigen Tendenzen von entscheidender Bedeutung.

3 Die Klimaanpassungsstrategie für das Donaueinzugsgebiet

Die Donaudeklaration (ICPDR 2010) ist ein politisches Dokument, das 2010 im Rahmen einer Ministertagung verabschiedet wurde. Darin wird die IKSD ersucht, bis Ende 2012 eine Klimaanpassungsstrategie für das Donaueinzugsgebiet zu erarbeiten. Auch im Rahmen der EU-Strategie für den Donauraum wurde die Erarbeitung von Maßnahmen zur Klimaanpassung im Donaueinzugsgebiet vereinbart. Bei der IKSD ist die "River Basin Management Expert Group", verantwortlich für die koordinierte Bewirtschaftung des Flusseinzugsgebiets, welche aus nationalen Experten sowie Vertretern von Beobachterorganisationen besteht, auch für die Koordinierung der Arbeiten zur Klimaanpassung zuständig. Deutschland hat sich dazu bereit erklärt, unterstützt von einer eigens eingerichteten Gruppe von Experten, im Rahmen der IKSD die Federführung in diesem Prozess zu übernehmen. Um eine wissenschaftliche Grundlage für die Erarbeitung der Strategie zu erhalten, finanzierte Deutschland eine Donaustudie "Klimaanpassung" (MAUSER et al., in preparation), die von Wissenschaftlern der Ludwig-Maximilians-Universität München in Koordination mit der IKSD erstellt wurde. Die Studie wurde als Metaanalyse durchgeführt, welche sich auf Ergebnisse anderer oft lokaler wissenschaftlicher Studien stützt und Gebiete im gesamten Donaueinzugsgebiet zum Gegenstand hatte. Insgesamt wurden ca. 100 laufende und abgeschlossene Arbeiten, darunter Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Studien sowie Anpassungsstrategien, Arbeits- und Leitliniendokumente der EU, nationale Mitteilungen nach dem

UNFCCC, Berichte und Vorhaben für die Anpassung an wasserbezogene Auswirkungen des Klimawandels herangezogen.

Eine Sitzung der Gruppe von Experten zum Thema Klimaanpassung fand am 12. September 2011 in München statt, wo die Zwischenergebnisse der Studie vorgestellt und erörtert wurden. Nach der Sitzung wurde die Studie weiter ausgearbeitet, diskutiert und entsprechend aktualisiert. Die wichtigsten ersten Schlussfolgerungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es wird erwartet, dass die Auswirkungen des Klimawandels in den einzelnen Regionen des Donaueinzugsgebiets unterschiedlich stark ausfallen werden. Die wasserbezogenen Folgen werden voraussichtlich durch einen nordwestlichen bis südöstlichen Gradienten des Temperaturanstiegs bestimmt, bezüglich der Niederschlagsänderungen befindet sich das Donaueinzugsgebiet in einer Nord-Süd Übergangsregion.
- Unsicherheiten in den Aussagen können kein Grund sein nicht zu handeln. Stattdessen sollten "Win-win-" und "No-regret"-Anpassungsmaßnahmen in Erwägung gezogen werden. Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (Maßnahmenprogramm) ist bereits ein wichtiger Schritt hin zur Anpassung an den Klimawandel.
- In der Studie wurde bereits eine erste Reihe von möglichen Maßnahmen für die Koordinierung im gesamten Einzugsgebiet und über die Grenzen hinweg angeführt.
- Die bestehenden Interdependenzen zwischen Auswirkungen, Anpassungsmaßnahmen, unterschiedlichen Interessen und Auswirkungen der Wassernutzung durch den Menschen (Wasserkraft, Landwirtschaft, Wasserversorgung, Wasserqualität usw.) stellen die Handelnden vor große Herausforderungen.
- Auf der Grundlage der Donaustudie "Klimaanpassung" werden in der Anpassungsstrategie der IKSD die nächsten Schritte hin zur Einbeziehung der Klimaan-

passungsfragen in den nächsten Donaubewirtschaftungsplan 2015 und darüber hinaus unternommen. In der Strategie der IKSD sollten die wichtigsten Auswirkungen für einzelne Bereiche benannt, verbleibende Unsicherheiten angesprochen und mögliche Anpassungsmaßnahmen priorisiert werden.

- Im Hinblick auf die Erstellung des nächsten Donaubewirtschaftungsplans 2015 und wegen der weitreichenden sektorübergreifenden Auswirkungen des Klimawandels ist die Einbeziehung weiterer Expertengruppen der IKSD erforderlich.
- Die Anpassungsstrategie der IKSD sollte sich auf bestehende Informationen (vor allem aus der CIS-Leitlinie Nr. 24), Informationen aus Bewirtschaftungsplänen für Einzugsgebiete und bestehende nationale und regionale Anpassungsstrategien stützen.

Die Verfasser der Studie haben eine Reihe von Herausforderungen benannt. Das Donaueinzugsgebiet liegt in einem Übergangsgebiet zwischen voraussichtlich zunehmendem (Nordeuropa) und abnehmendem (Südeuropa) künftigem Niederschlag und Abfluss. Es werden eine ganze Reihe von angewandten hydrologischen und Klimamodellen in den ausgewerteten Publikationen behandelt, in denen unterschiedliche zeitliche und räumliche Lösungen wie auch unterschiedliche Sachgebiete berücksichtigt werden. Nur in einigen Studien sind die angewandten hydrologischen und Klimamodelle direkt miteinander gekoppelt. Die Frage, ob kalibrierte Modelle unter sich verändernden Klimabedingungen verwendet werden können, um künftige Auswirkungen zu simulieren, muss noch beantwortet werden.

Dementsprechend lassen sich die vorläufigen Ergebnisse für die künftigen Auswirkungen im Donaueinzugsgebiet nur schwer zusammenfassen und sind mit vielen Unsicherheiten behaftet. Besonders unsicher sind Vorhersagen für Abflüsse, Trockenheiten und Niedrigwasserereignisse sowie Hochwasserereignisse. Andere Aspekte wie z. B. Tendenzen bei Lufttemperatur- oder Schneedeckenveränderungen können dagegen mit einer größeren Sicherheit vorhergesagt werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Allgemeinen wird damit gerechnet, dass durch mehr Forschungsarbeiten bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen im Donaueinzugsgebiet die auf dem Gebiet bestehenden Erkenntnislücken nicht vollständig geschlossen werden können. Aufgrund dieser Tatsache und trotz bestehender Unsicherheiten müssen Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels getroffen werden. Derzeit wird an der Fertigstellung der Studie bis Ende Januar 2012 gearbeitet. Ein Workshop der IKSD zum Thema Klimaanpassung, der Ende März 2012 stattfindet, wird ein Forum zur Erörterung der Ergebnisse der Studie, möglicher Anpassungsmaßnahmen und der wichtigsten Elemente der Anpassungsstrategie bieten. Auf dieser Grundlage wird im Laufe des Jahres 2012 die Donaustudie "Klimaanpassung" erarbeitet, deren erster erläuternder Entwurf im Mai 2012 im Rahmen einer Expertensitzung erörtert werden soll. Es ist geplant, dass die Strategie von der IKSD im Dezember 2012 verabschiedet wird. Darauf folgend wird die Strategie eine wichtige Grundlage für Entscheidungen über Klimaanpassungsmaßnahmen darstellen, die Teil des zweiten Donaubewirtschaftungsplans sowie des ersten Hochwasserrisikomanagementplans sein sollen, welche bis 2015 fertig gestellt werden müssen.

Literatur

- EUROPEAN COMMISSION (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. Official Journal (OJ L 327).
- EUROPEAN COMMISSION (2007): Directive 2007/60/EC of the Eurpeoan Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks. Official Journal (OJ L288/27).
- ICPDR (1994): Convention on Cooperation for the Protection and Sustainable use of the Danube River (Danube River Protection Convention).

- ICPDR (2004): Flood Action Programme Action Programme for Sustainable Flood Protection in the Danube River Basin.
- ICPDR (2008): Significant Water Management Issues in the Danube River Basin District Including visions and management objectives for each. Document number IC 132.
- ICPDR (2009): Danube River Basin District Management Plan Part A Basin-wide overview. Document number IC 151.
- ICPDR (2010): Danube Declaration: Shared waters, joint responsibilities.
- ICPDR (2011): The Danube River Basin: Facts & Figures. Official publication of the ICPDR.
- MAUSER, W., PRASCH, M., KOCH, F. & R. WEIDINGER (in preparation): Foundations for a common and basinwide understanding and procedure for adaption to water resources management related climate impacts with the aim to develop suitable adaption strategies in the Danube River Basin.

Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen in Ästuaren, an Küsten und in der See

Meeresspiegelprojektionen für den nordwesteuropäischen Schelf

Hartmut Heinrich (BSH), Uwe Mikolajewicz, Ernst Meyer-Reimer, Dmitry Sein (alle MPI), Birgit Klein, Anette Ganske, Katharina Bülow, Nils Schade, Jens Möller (alle BSH), Gudrun Rosenhagen (DWD-SH), Birger Tinz (DWD-SH) & Sabine Hüttl-Kabus (BSH)

1 Einleitung

Dem Meeresspiegelanstieg gebührt beim Thema Klimawandel an der Küste die besondere Aufmerksamkeit, neben den zukünftigen Wetterverhältnissen. Vom Meeresspiegelanstieg betroffen ist die Sicherheit von Küsten und Häfen. Mit Auswirkungen auf die ästuarinen Schifffahrtsstraßen sowie auch auf das Küstenvorland (Watten- und Kliffküsten) aufgrund zunehmender Wassertiefen ist zu rechnen, unter anderem wegen sich ändernder Sedimentationsverhältnisse.

Die bisherigen Klimaprojektionen sind bezüglich ihrer Aussagen zu Meeresspiegelveränderungen noch sehr unbestimmt. Insbesondere das Verhalten der großen kontinentalen Eisschilde, Grönland und die Antarktis, ist in den Modellen unzureichend berücksichtigt. Die Einflüsse von veränderten Temperaturen und Windverhältnissen scheinen für die Ozeane recht gut bestimmbar zu sein, jedoch nur eingeschränkt für Schelfmeere wie die Nordsee. KLIWAS hat für den nordwesteuropäischen Schelf die Zuverlässigkeit der Klimaprojektionen aus dem IPCC-Assessmentreport 2007 überprüft und mit Partnern aus der Forschung Verbesserungen auf den Weg gebracht.

Der Beitrag gibt einen Überblick über die Ursachen von Meeresspiegelveränderungen und deren Vorhersagbarkeit, stellt erste KLIWAS-Ergebnisse aus der Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg vor und diskutiert Aspekte des weiteren Vorgehens in der Thematik.

2 Die "Meeresspiegelmaschinerie"

Vier wesentliche Faktoren tragen zu Veränderungen im Stand des Meeresspiegels bei. Dies sind:

- (1) der Volumenzuwachs des Wassers durch zunehmende Temperatur,
- (2) Veränderungen in der Schubwirkung von Windsystemen (Windstau),
- (3) Eintrag von Süßwasser aus festländischen Eisschilden,
- (4) Änderungen in der Anziehungskraft der Eisschilde.

Aufgrund der Kenntnisdefizite in den Punkten 3 und 4 sind Aussagen zum Meeresspiegelanstieg gegenwärtig noch als sehr vorläufig anzusehen.

2.1 Temperaturanstieg

Der Meeresspiegelanstieg durch Temperaturerhöhung des Wassers folgt einem einfachen physikalischen Prinzip und ist gut modellierbar. Zuerst werden die oberflächennahen Schichten erwärmt; sukzessive das tiefere Wasser. Allerdings ist letzteres ein Prozess, der viele Jahrhunderte bis Jahrtausende andauern kann. Einer Faustregel zufolge entspricht eine Erhöhung der mittleren Ozeantemperatur um 1°C einem Spiegelanstieg von einem Meter. Gegenwärtig wird die Hälfte des aktuellen Anstiegs auf die Ozeanerwärmung zurück geführt.

2.2 Windstau

Wind ist ein wichtiger Antrieb für die Oberflächenströmungen in den Meeren; er sorgt damit für einen horizontalen Volumentransport. An Küsten im Lee von windgetriebenen Strömungen kommt es in der Regel zu Staueffekten, die zu erhöhten Wasserständen führen; im Luv mit entgegen gesetztem Vorzeichen. Klima bedingte Veränderungen im Wind oder in Windsystemen haben deshalb regional unterschiedliche Auswirkungen auf den Meeresspiegelstand. Die Veränderungen erfolgen unmittelbar. Klimamodelle können solche Veränderungen recht zuverlässig erfassen.

2.3 Süßwassereintrag von Eisschilden

Die größten Beiträge zum Meeresspiegelanstieg können durch den Verlust größerer Eismassen in Grönland und der Antarktis vorkommen. Drei Prozesse sind wirksam: die Ablation, d. h. das Verdunsten des Eises; das Tauen infolge der Oberflächenerwärmung und das Abgleiten von Eismassen. Die beiden ersten Prozesse sind gegenwärtig in Klimamodellen einigermaßen zuverlässig zu reproduzieren. Das Abgleiten von Eismassen ist allerdings ein extrem komplexer Vorgang, der noch weitgehend unverstanden ist und deshalb intensiver Erforschung bedarf. Dementsprechend ist dieser Beitrag zur Zeit nicht verlässlich quantifizierbar. Durch paläoklimatologische Untersuchungen ist bekannt, dass solche Ereignisse den Meeresspiegel innerhalb weniger Jahrzehnte sehr stark ansteigen lassen können (ARZ et al. 2007). Darüber hinaus sind die Auswirkungen von Veränderungen in den Eisschilden auf das gesamte Klimasystem bislang nur rudimentär in Klimamodelle eingebunden (Ganopolski 2003, Alley 2003, Hai Cheng et al. 2009).

2.4 Änderungen des Schwerefeldes

Massenveränderungen auf Kontinenten bewirken eine veränderte Anziehungskraft dieser Landmassen auf das Ozeanwasser. Verlieren z.B. Grönland und/oder die Antarktis Eis, so ändert sich dadurch deren Schwere (Masse), wodurch es zu Umverteilungen von Ozeanwasser kommt (Kopp et al. 2010). Ein Eisverlust bedeutet also eine Abnahme der Anziehungskraft, ein Absinken des Meeresspiegels an diesen Küsten, bzw. ein Anstieg an den eisfreien Kontinenten. Sollte z.B. nur Grönland beträchtliche Mengen Eis verlieren, nicht die Antarktis, so würde Wasser von der Nordhalbkugel auf die Südhalbkugel verlagert werden, mit der Folge einer Spiegelabsenkung im Norden. Dieser Effekt und seine Auswirkungen auf den Meeresspiegelstand ist abhängig von der Zukunft des Eisverlustes, also zur Zeit sehr schwer bis gar nicht projizierbar.

3 KLIWAS-Arbeiten

Die Einflüsse von Veränderungen in der Meerestemperatur und den Windsystemen auf Nordsee und Ostsee lassen sich mit den vorliegenden Klimaprojektionen nicht zuverlässig ermitteln, weil sowohl die globalen Klimamodelle als auch die davon abgeleiteten ungekoppelten Regionalisierungen (Downscaling) eine zu geringe räumliche Auflösung, letztlich eine zu große Ergebnisbandbreite liefern, um daran Handlungsoptionen anbinden zu können. KLIWAS erarbeitet unter Anwendung eines Ensemble-Ansatzes gemeinsam mit verschiedenen Kooperationspartnern verbesserte Klimaprojektionen auf der Basis gekoppelter Atmosphäre-Ozeanmodelle. Erste Ergebnisse aus der Kooperation mit dem MPI Hamburg deuten an, dass sich unter der Annahme, dass das 2-°C-Ziel eingehalten wird, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts durch Ozeanerwärmung und Veränderungen der Windsysteme für die Nordsee ein Anstieg des Meeresspiegels um 25-30 cm ergeben könnte und für die Ostsee um 30-35 cm.

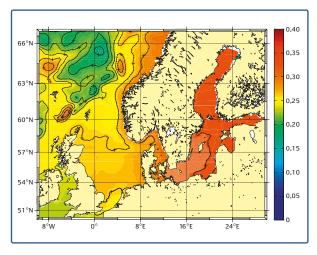


Abb.1: Anstieg des mittleren Meeresspiegels vom Zeitraum 1970–1999 bis zum Zeitraum 2070–2099 (Koppelung REMO – MPIOM, Basis: Szenario A1B). Es sind nur die Auswirkungen von Temperaturerhöhung und Änderungen im Wind berücksichtigt.

4 Ausblick

Der Klimawandel bedingte Anstieg des Meeresspiegels ist zur Zeit nicht zuverlässig prognostizierbar. Man vermutet, dass er bis zum Ende des Jahrhunderts stärker ansteigen wird als 2007 im Bericht "IPCC AR 4" beschrieben. Grund sind bedeutende Defizite in der Repräsentanz der großen Eisschilde in den Klimamodellen; hier ist dringender Forschungsbedarf nötig (der nicht von KLIWAS geleistet werden kann). Dies erfordert parallel dazu eine gute Beobachtung der relevanten atmosphärischen und ozeanischen Klimavariablen, um einerseits die Abweichungen von den Modellergebnissen zu bestimmen, bzw. deren Eintreten, und andererseits um die notwendige Datengrundlage für die Modellentwicklung zu verbessern. Das noch unzureichende Klimawissen darf nicht dazu führen, die Entwicklung von Anpassungsoptionen zu verzögern. Die Zeit ist sinnvoll mit Fall- und Sensitivitätsstudien zu füllen, wie sie in KLIWAS in Angriff genommen worden sind. Nicht vernachlässigt werden sollte die Beschäftigung mit den ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Folgen unterschiedlicher Meeresspiegelanstiegsszenarien.

- HAI CHENG, R. LAWRENCE EDWARDS, WALLACE S. BROECKER, GEORGE H. DENTON, XINGGONG KONG, YONGJIN WANG, RONG ZHANG & XIANFENG WANG (2009): Ice Age Terminations. Science, 326 (5950), pp. 248–252.
- KOPP, ROBERT E., JERRY X. MITROVICA, STEPHEN M. GRIFFIES, JIANJUN YIN, CARLING C. HAYN & RONALD J. STOUFFER (2010): The impact of Greenland melt on local sea levels: a partially coupled analysis of dynamic and static equilibrium effects in idealized water-hosing experiments. Climatic Change 103, pp. 619–625.

Literatur

- ALLEY, RICHARD (2003): Paleoclimatic insights into future climate challenges. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 361, pp. 1831–1849.
- ARZ, HELGE W., FRANK LAMY, ANDREY GANOPOLSKI, NORBERT NOWACZYK & JÜRGEN PÄTZOLD (2007): Dominant Northern Hemisphere climate control over millennial-scale glacial sea-level variability. Quaternary Science Reviews 26 (3-4), pp. 312–321.
- GANOPOLSKI, ANDREY (2003): Glacial integrative modelling. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 361, pp. 1871–1884.

Tidekennwerte und Seegangsstatistik – eine Trendanalyse

Hartmut Hein, Stephan Mai, Ulrich Barjenbruch (alle BfG) & Anette Ganske (BSH)

1 Einleitung

An der Küste und in den Ästuaren ist der globale Anstieg des Meeresspiegels die größte Herausforderung hinsichtlich des sich verändernden Klimas. Für die vergangenen hundert Jahre wurde bereits ein Anstieg der *globalen* Wasserstände von 15 cm bis 20 cm nachgewiesen, eine Beschleunigung des Anstieges ist wahrscheinlich (u. a. Church 2011). Die Projektion in die Zukunft ist jedoch noch unsicher, der Weltklimarat kommt zum Schluss: "Das Verständnis der Vergangenheit der Änderung des Meeresspiegels ist der Schlüssel zu einer besseren Projektion der zukünftigen Änderung" (IPPC 2010).

Für Aufgaben der regionalen Planung, des Küstenschutzes oder auch lokaler ökologischer Belange, ist der globale Meeresspiegel jedoch ohne Aussagekraft. Vielmehr sind belastbare Aussagen zu treffen, inwieweit sich auch an den deutschen Küsten ein historischer regionaler Meeresspiegelanstieg nachweisen lässt; zukünftige Entwicklungen sind abzuschätzen. Die regionale Änderung des Meeresspiegels ist von einer ganz anderen Charakteristik geprägt als der mittlere globale Meeresspiegelanstieg. In der Region bewirken die atmosphärischen Einflüsse, die Veränderungen von Strömungssystemen und Eigenschwingungen der ozeanographischen und küstennahen Becken eine bedeutende und nicht zu vernachlässigende Variabilität. Zum Beispiel beträgt allein die systematische saisonale Schwankung des regionalen Meeresspiegels an der deutschen Nordseeküste etwa 25 cm bis 30 cm (Dangensdorf et al. 2012). Mehrere Studien (u. a. WAHL et al. 2011) bestätigen für die Deutsche Bucht säkulare Anstiegsraten von ca. 15 cm bis 25 cm (inklusive Landsenkung). Für die letzten Jahre wurde von einer Zunahme der Anstiegsraten berichtet (u. a. WAHL et al. 2011). Die

vorliegenden Studien setzen sich jedoch nur mit den Anstieg selbst auseinander, nicht jedoch mit dem Verständnis von zugrundeliegenden Prozessen. An der deutschen Nordseeküste müssen noch viele einzelne Prozesse und Wechselwirkungen genauer verstanden werden, um belastbare Aussagen über die Zukunft zu treffen.

Die Bedeutung der Änderung des regionalen Meeresspiegels liegt darin, dass dieser eine nichtlineare Änderung der Statistik der Tidekennwerte und des Seegangs an den Küsten bewirkt. Ein sich verändernder mittlerer Wasserstand bedeutet immer eine Änderung des Eigenschwingverhaltens, sowohl der Nordsee, als auch der einzelnen Ästuare. Die Statistiken von Hoch-, Niedrigwasser und Tidehub ändern sich lokal sehr unterschiedlich. Zusätzlich wird durch die Veränderung des Meeresspiegels und der Windfelder eine Anpassung der Seegangsstatistik notwendig.

Die Tidekennwerte und Seegangsstatistiken sind wesentliche Indikatoren für den Klimawandel in der Küstenhydrologie (Hein et al. 2012, zur Veröffentlichung eingereicht) und Untersuchungen dazu haben grundlegende Bedeutung für den Küstenschutz, die Vorlandvegetation, den Sauerstoffhaushalt, das Sedimentmanagement und den Transport von Schadstoffen.

2 Vom Messwert zum Trend

Grundlage der Untersuchungen der Veränderung des Meeresspiegels sind die Messdaten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (www.wsv.de) und deren Vorgängerorganisationen. Es liegen Zeitreihen von Tidehochwasser (Thw) und Tideniedrigwasser (Thw) von teilweise mehr als hundert Jahren vor. Diese Datensätze gehören weltweit zu den dichtesten, die den Klimawandel inklusive der räumlich differenzierten sich verändernden Prozesse dokumentieren. Der regionale Meeresspiegel wird nach DIN 4049-3 Tidemittelwasser (Tmw) genannt und wird dort als "Wasserstand der waagerechten Schwerlinie einer Tidekurve" definiert; d. h., Tmw kann nicht direkt gemessen werden. Für längere Zeitreihen lässt sich der regionale Meeresspiegel rekonstruieren: Es ist hierzu der sogenannte k-Wert (LASSEN

& Seifert 1991) als Skalierungsfaktor zwischen Tmw und Thw bzw. Tnw zu berechnen.

Diese pragmatische Lösung, den regionalen Meeresspiegel zu berechnen, ist jedoch umstritten, da sich der k-Wert möglicherweise abhängig vom Tmw ändert. Eine Möglichkeit, dieses zu überprüfen und Unsicherheiten zu ermitteln, bietet die Digitalisierung der analog vorliegenden Pegelbögen. Der Arbeitsbereich der Küstenhydrologie im Referat M1 der BfG hat sich dem Thema angenommen und testweise 100 Jahre Pegelmessungen digitalisieren lassen. Die Testdaten dienen vor allem der Entwicklung von: 1. Standards für die Digitalisierung und 2. Verfahren und Standards für die Qualitätssicherung digitalisierter Pegelmesswerte. Eine wichtige Erkenntnis, die sich direkt ergibt: Die Sicherung der Qualität ist notwendig und vor allem ähnlich aufwendig wie die Digitalisierung der Daten selbst. Das KLIWAS-Projekt 2.03 beteiligt sich hier am Projekt "Automatische Bestimmung von Tidekennwerten (Autibe)" der Küstenhydrologie der BfG, welches sich mit automatisierten Verfahren zur Qualitätssicherung beschäftigt. Es zeigt sich, dass zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels die Qualitätsanforderungen an die Messungen steigen. Es wird eine Aufgabe der Ressortforschung sein, verbesserte Verfahren zur automatischen Plausibilisierung und zur Bestimmung von Unsicherheiten von Langzeitdatensätzen zu entwickeln.

Wenn nach den Voruntersuchungen die entsprechenden Zeitreihen inklusive der abgeschätzten Unsicherheiten des Wasserstands (vgl. Hein et al. 2010a) vorliegen, dann sollten Bruchpunktanalysen die Homogenität der Daten nachweisen. Hier entwickelt die Küstenhydrologie der BfG in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen teilweise neue stochastische Verfahren (Jenning et al. 2012). Für den mittleren regionalen Meeresspiegel lassen sich mehrere Pegel zu einem repräsentativen virtuellen Pegel zusammenfassen. Dieses Verfahren kann jedoch nur beim Tmw und nicht für andere Tidekennwerte durchgeführt werden. Dieses wurde mit ausgefeilten neuen Methoden für die südliche Deutsche Bucht durchgeführt (Hein et al. 2011b), das Tmw des virtuellen Pegels ist als der regional monatlich wahrscheinlichste Wert

berechnet. Erstmals werden Messreihen mit modernen stochastischen Verfahren virtuell rückwärtig verlängert. Um rechnerische Artefakte zu vermeiden dürfen bei der Bestimmung eines virtuellen Pegels nur Zeitreihen gleicher Länge verwendet werden. Entsprechend ist eine Verlängerung der Messzeitreihen bei den Pegeln hilfreich, die nur für kürzere Zeitreihen vorliegen. Mit dem in KLIWAS 2.03 (Hein et al. 2011b, c) entwickelten Verfahren ist es möglich die Zeitreihen auf eine einheitliche Länge zu bringen. Durch dieses neue Verfahren ist diese Länge durch die längste vorliegende Zeitreihe und nicht wie bisher durch die kürzeste vorliegende Zeitreihe bestimmt. Hein et al. 2011b ist auch zu entnehmen, wie die Landsenkungen berücksichtigt werden.

3 Untersuchung des Trends

Die Abbildung 1 zeigt den mittleren regionalen Meeresspiegel der südlichen Deutschen Bucht. Bei der Berechnung wurde auf die Definition der "International Hydrographic Organisation" für den "mean sea level" (msl) zurückgegriffen: Der regionale Meeresspiegel ist demnach ein 19-jähriges Mittel der Wasserstände an einem Pegelstandort (hier der virtuelle Pegel der südlichen Deutschen Bucht; Hein et al. 2011a,b). Diese Art der Filterung ermöglicht es, kurzfristige Schwankungen, sei es durch atmosphärische Einflüsse oder durch den Einfluss der Tide aus der Betrachtung herauszuhalten. In der Abbildung ist zu erkennen, dass der regionale Meeresspiegel steigt, in den letzten 100 Jahren liegt der Trend bei ca. 11 cm / 100 a bis 17 cm / 100 a. In der Zeit vor 1900 liegen nur Daten vom Pegel Cuxhaven vor, es sollten keine Schlussfolgerungen für diese Periode gezogen werden.

Der festgestellte Trend liegt in der Größenordnung der von Woodworth et al. (2009) für die Küste Großbritanniens festgestellten 14 cm/100 a, ist also durchaus plausibel. Gleichzeitig mit dem Meeresspiegelanstieg sinkt das Land in dieser Region um etwa 4 cm bis 16 cm in den letzten 100 Jahren. Die Landsenkung ist jedoch lokal sehr unterschiedlich verteilt. Das ausgeprägte Auf und Ab der blauen Linie zeigt, dass der festgestellte Trend ausgeprägt nicht linear ist. Die Anstiegsraten unterliegen

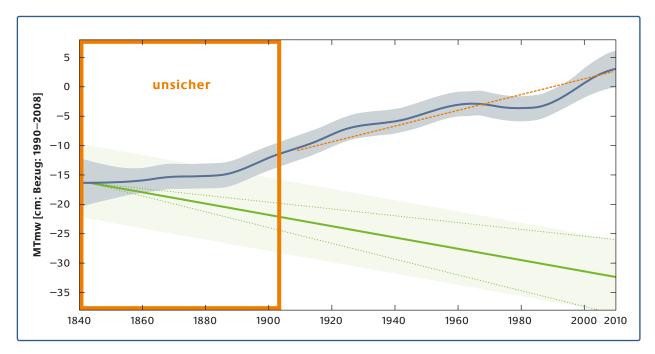


Abb. 1: Der regionale Anstieg des Meeresspiegels (blaue Kurve) und Unsicherheiten (graues Band); der lineare Trend (orange gestrichelte Line); Landsenkung mit Unsicherheiten (grün).

einer ständigen Veränderung (Moser et al. 2011). Berechnungen des Trends der *globalen* Wasserstände zeigen eine Beschleunigung (u. a. Church & White 2011). Für die deutschen Seewasserstraßen gilt dieses nicht: Es lässt sich zunächst *keine signifikante Beschleunigung* des Meersspiegelanstieges nachweisen (Hein et al. 2011b).

Die Anstiegsraten (Abbildung 2a) zeigen die starke natürliche Variabilität des regionalen Meeresspiegels. Zum Beispiel ist der Meeresspiegel in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts gesunken. In den letzten 20 Jahren ist die Rate des regionalen Meeresspiegelanstiegs erhöht. Ein Eindruck von den Prozessen, die hinter den nicht-linearen Veränderungen stehen, kann durch eine Multiskalenanalyse gewonnen werden. Die Küstenhydrologie der BfG hat hier verschiedene Verfahren weiterentwickelt. Neben einfachen spektralen Methoden kommen unter anderem die Singuläre System Analyse, die Trendbereinigte Fluktuationsanalyse und die Wavelet-Transformation zum Einsatz.

Beispielhaft werden Ergebnisse einer Wavelet-Transformation gezeigt (vgl. Hein 2011a): In Abbildung 2b bis Abbildung 2d sind drei der wesentlichen Periodizitäten der natürlichen Fluktuationen abgebildet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Reduzierung der Ergebnisse der Wavelet-Transformation auf die drei wesentlichen Periodizitäten eine vereinfachte Darstellung der natürlichen Prozesse ist. So bleiben bedeutende Periodizitäten von weniger als 19 Jahren unberücksichtigt. Insbesondere wird jedoch auch die besondere Möglichkeit der Verfahren der Multiskalenanalyse auch diejenigen Periodizitäten aufzudecken, deren Frequenzen sich durch natürliche Prozesse mit der Zeit ändern, hier nicht abgebildet. Dieses würde den Rahmen dieses Textes sprengen und wir möchten auf eine in Arbeit befindliche Publikation verweisen.

In unseren Analysen zeigen sich unter anderen Periodizitäten von ca. 20 bis 30 Jahren, von 35 bis 40 Jahren und eine Periodizität von 60 bis 80 Jahren. Dieses gibt

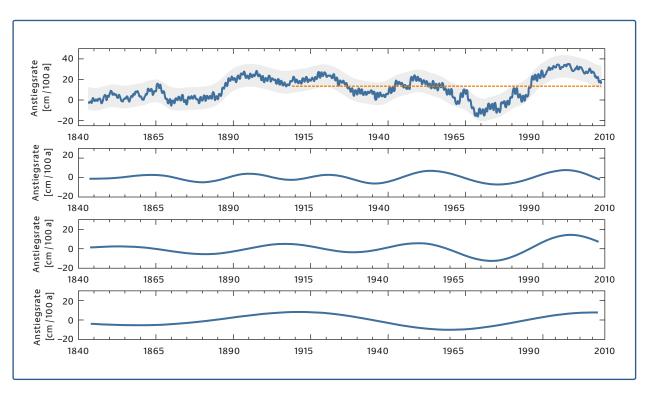


Abb.2: Anstiegsraten des regionalen Meeresspiegels (blaue Linie) und Unsicherheiten (graues Band); b-c) drei wesentliche Periodizitäten aus der Multiskalenanalyse.

zum ersten Mal einen neuen prozessorientierten Einblick in die langfristige Veränderung der Wasserstände. Beispielsweise ist der 35 bis 40-jährige Zyklus eine typische Periode unseres Wettergeschehens und wurde schon 1625 von Francis Bacon beschrieben (GREGORY 1930). Die Periodizität von 60 bis 80 Jahren ist angesichts der Länge der Zeitreihe mit Vorsicht zu genießen. Jedoch hat die sogenannte Atlantische Multidekadische Oszillation (AMO) eine ganz ähnliche Periodizität (u. a. KERR 2000). Wenn die drei abgebildeten Periodizitäten übereinander gelegt werden, kann ein großer Teil der Fluktuationen des Tmw erklärt werden. Insbesondere wird deutlich, dass die scheinbare Beschleunigung der letzten 20 Jahre wahrscheinlich durch eine einfache Interferenz der verschiedenen Periodizitäten hervorgerufen wurde und eher nicht Teil des Klimawandels ist.

Beachtenswert ist die mögliche Zunahme der Variabilität, die in den Abbildungen 2b, 2c erkennbar ist. Nicht erkennbar ist in Abbildung 2, dass die Zunahme der Variabilität mit einer Veränderung des Frequenzspektrums verbunden ist. Dieses muss noch genauer verifiziert werden, bedeutet eine Zunahme der Variabilität doch eine zusätzliche Herausforderung für die Anpassung - die Wasserstände werden sich unberechenbarer verhalten als im Vergleich zu einem häufig angenommenen stetigen Anstieg. Obwohl wir keine Beschleunigung der Anstiegraten in den letzten Jahrzehnten oder innerhalb der letzten 100 Jahre signifikant nachweisen können, bedeutet dieses keine Entwarnung für die deutschen Küsten. Nach derzeitigem Stand des Wissens wird der zukünftige Anstieg hier jedoch geringer ausfallen als im globalen Mittel.

4 Seegangsstatistik

An der Küste liegen bezüglich des Seegangs keine Messreihen vor, die lang genug sind, um klimatische Aussagen treffen zu können. Zunächst gab es möglicherweise keine technischen Möglichkeiten. Als diese vorhanden waren (BARJENBRUCH & WILHELMI 2008), wurde der Seegang trotzdem nur an wenigen Standorten kontinuierlich gemessen. Dennoch können aus der Analyse von ausgewählten Zeitabschnitten Aussagen getroffen werden. Beispielsweise zeigt Abbildung 3 die Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Wellen, die am Pegel "Leuchtturm Alte Weser" gemessen worden sind. Als Ergebnis der Untersuchung steht fest, dass weder das im Tiefwasser gebräuchliche Modell, noch die im Flachwasser gebräuchliche Verteilung in der Lage sind, die Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Wellenhöhen hinreichend abzubilden (MAI et al. 2010).

Signifikante Wellenhöhen können gut mit parametrischen Seegangsmodellen abgebildet werden (MAI 2008, HEIN et al. 2010b). Erste Untersuchungen für die deutsche Küste liegen vor (HEIN 2011c). Dafür wurden Wind-

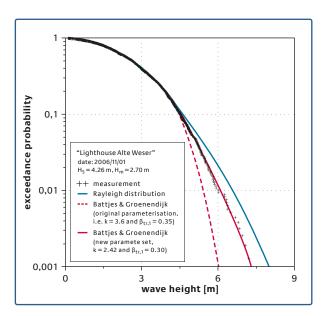


Abb. 3: Überschreitungswahrscheinlichkeit von Wellenhöhen, aus Messungen und unterschiedlichen Modellansätzen.

geschwindigkeitsergebnisse mehrerer regionaler Klimamodelle aus dem ENSEMBLES-Projekt (HEWITT et al. 2004) analysiert. Diese können in weiteren Untersuchungen als Antriebe für Seegangsmodelle dienen (Modellkette Seegang). Es wurden aus den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle jeweils die Häufigkeiten von mittleren und sehr hohen Windgeschwindigkeiten innerhalb eines Jahres berechnet. Die Analysen zeigen im Wesentlichen zwei Dinge: 1. eine große zwischenjährliche Variabilität und 2. einen großen Unterschied zwischen den verschiedenen Klimamodellen, jeweils sowohl für die Häufigkeit der mittleren als auch für die der sehr hohen Windgeschwindigkeiten. Daraus lässt sich ableiten, dass alle Parameter, die mit dem Wind direkt zusammenhängen (u. a. Seegang, Wasserstände), über lange Zeiträume betrachtet werden müssen, um belastbare Aussagen über die mögliche Betroffenheit durch Klimaveränderung treffen zu können. Die große Bandbreite der Ergebnisse von verschiedenen Klimamodellen bedeutet, dass zukünftig kontinuierlich aufdatiert jede neue Modellgeneration eingeordnet und gewässerkundlich begutachtet werden muss.

5 Antworten und Ausblick

Der regionale Meeresspiegel in der südlichen Deutschen Bucht steigt - in den letzten hundert Jahren um ca. 11 cm bis 17 cm. Im Gegensatz zum globalen Anstieg können wir derzeit aber keine Beschleunigung des Trends feststellen. Vielmehr stellen wir eine ausgeprägte zwischenjährliche und dekadische Variabilität fest. Zusammen mit einer möglichen Zunahme dieser Variabilität ist dieses eine ernstzunehmende Herausforderung, weil möglicherweise die Reaktionszeit zum Handeln verringert wird. Hier müssen die zugrundeliegenden Prozesse verstanden werden, um belastbare Aussagen zu treffen: Es bestehen jedoch noch viele Wissenslücken zu globalen Prozessen, die erst in den nächsten Jahrzehnten von der Grundlagenforschung geschlossen werden können. Bei den regionalen Langzeitprozessen wurde durch KLIWAS-Projekt 2.03 ein erster Schritt in Richtung Systemverständnis beschritten.

Als Antwort auf den Klimawandel zeigen Untersuchungen drei Handlungsoptionen auf:

- (1) Messen: Um belastbare Aussagen über zukünftige Trends der Tidekennwerte und der Seegangsstatistik treffen zu können, müssen wir diese in hinreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung erfassen.
- (2) Qualitätssicherung: Die Anforderung an die Qualität der Messwerte steigt durch den Klimawandel. Es ist noch wichtiger als bisher, die Qualität der Messdaten zu sichern, die Homogenität ist festzustellen. Mögliche Unsicherheiten sind zu dokumentieren. Es sind Verfahren zur automatischen Qualitätssicherung weiterzuentwickeln. Die Digitalisierung historischer Pegelmesswerte ist eine anwendbare Methode, um Unsicherheiten zu bestimmen. Zukünftige Generationen von Modellketten sind hinsichtlich Tidekennwerten und Seegang aufdatiert gewässerkundlich zu verifizieren.
- (3) Kontinuierliche wissenschaftlich-gewässerkundliche Begutachtung: Aufbauend auf Trendermittlungen und Multiskalenanalysen muss durch die Ressortforschung ein besseres regionales Prozessverständnis herbeigeführt werden. Sensitivitätstest und zukünftige Generationen regionaler und globaler Klimamodelle (Modellketten) müssen in den nächsten Dekaden kontinuierlich eingeordnet, verifiziert und wissenschaftlich-gewässerkundlich analysiert werden.

Das Projekt 2.03 wird im Laufe des kommenden Jahres vermehrt zukünftige Trends der Tidekennwerte betrachten. Hierzu werden auf Basis der KLIWAS-Modellkette erstmals dreidimensionale hydrodynamische Modelle eingesetzt, die in der Lage sind, die ästuarinen Prozesse auf klimatologischen Zeitskalen (d. h. Dekaden) abzubilden. Aktuelle stochastische Methoden werden eingesetzt und weiterentwickelt, um Messwerte und Modelle zu verknüpfen. Es werden erste belastbare Aussagen inklusive der bestehenden Unsicherheiten für die nahe Zukunft (2021–2050) und ferne Zukunft (2071–2100) getroffen.

Prof. Dr. Charles Finkl, Chef-Editor des "Journal of Coastal Research" fasst den derzeitigen Stand der internationalen Klimaforschung zusammen: "Modelle werden besser mit der Zeit, und wir müssen sie nutzen, aber cum grano salis. Wir sollten stattdessen unsere Gehirne nutzen und echte Daten verwenden um Interpretationen zu machen." Wir sollten also die notwendigen Daten zuverlässig dokumentieren und die bislang nur unstetig erfolgten Analysen über die Veränderungen der Tidewasserstände (vgl. Rohde 1968; Führböter & Jensen 1985) verstetigen, um klimatologische Veränderungen der Wasserstände kontinuierlich verfolgen zu können. Wenn die Ergebnisse der heutigen Klimamodelle hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Wasserstände cum grano salis betrachtet werden, zeigt sich, dass der derzeitige "vorherrschende Meeresspiegel die Quelle für einige Überraschung in der nahen Zukunft sein kann" (CAZENAVE & LLOVEL 2010).

Literatur

- BARJENBRUCH U. & J. WILHELMI (2008): Application of radar gauges to measure the water level and the sea state, Textbeitrag zur Konferenz, 31st ICCE, 687–695, Hamburg.
- CAZENAVE, A. & W. LLOVEL (2010): Contemporary sea level rise. Annu. Rev. Mar. Sci. 2, 145–173.
- CHURCH, J. A. & N. J. WHITE (2011): Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. Surveys in Geophysics, 32, 585–602.
- DANGENDORF, S., HEIN, H., JENSEN, J., MAI, S., MUDERSBACH, C. & T. WAHL (2012): Mean Sea Level Variability and Influence of the North Atlantic Oscillation on Long-term Trends in the German Bight. Water, Special Issue: Flood Risk Management, zur Veröffentlichung eingereicht.
- FÜHRBÖTER, A. & J. JENSEN (1985): Säkularänderungen der mittleren Tidewasserstände in der Deutschen Bucht. Die Küste, Heft 42, 1985.

- GREGORY, R. (1930): Weather recurrences and weather cycles. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 56: 103–120. doi: 10.1002/qj.49705623402.
- Hein, H., Weiss, R., Barjenbruch, U. & S. Mai (2010a): Uncertainties of tide gauges & the estimation of regional sea level rise. Textbeitrag zur Konferenz, Hydro 2010, Warnemünde, 2010.
- Hein, H., Mai, S. & U. Barjenbruch (2010b): Simulation of interactions between wind-waves and currents in estuaries with a focus on climate change. Textbeitrag zur Konferenz, 9th Int. Conf. on Hydro Science and Engineering, ICHE, Indien, 2010.
- Hein, H., Mai, S. & U. Barjenbruch (2011a): What tide gauges reveal about the future sea level, Aqua Alta, Hamburg, Textbeitrag zur Konferenz.
- Hein, H., Mai, S. & U. Barjenbruch (2011b): Coastal long term processes, tidal characteristics and climate change, Textbeitrag zur Konferenz, 5th International Short Conference on Applied Coastal Research, Aachen.
- HEIN, H., MAI, S. & U. BARJENBRUCH (2011c): Interaction of Wind-Waves and Currents in the Ems-Dollard Estuary. International Journal of Ocean and Climate Systems. Vol. 2, No. 4, December 2011, p. 249–258.
- Hein, H., Mai, S. & U. Barjenbruch (2012): Applicability of coastal-hydrological characteristics to describe the impact of climate change. Textbeitrag zur Konferenz, Water infinitely deformable but still limited, zur Veröffentlichung eingereicht, München, 2012.
- HEWITT, C. D & D. J. GRIGGS (2004): Ensembles-based Predictions of Climate Changes and their Impacts. Eos, 85, p. 566.
- IHO (1994): International Hydrographic Organization Dictionary, S-32, 5th Edition, 3156.
- IPCC (2010): Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities. Kuala Lumpur, Malaysia, Workshop Report, 21–24 June 2010.

- JENNING, S., HEIN, H., MAI, S. & H. SCHÜTTRUMPF (2012): Breaks and long term trends of the tidal characteristics in the southern German Bight, zur Veröffentlichung eingereicht, ICCE, International Conference of Coastal Engineering, Santander.
- KERR, R. A. (2000): A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. Science 288, 1984–1985.
- MAI, S. (2008): Statistics of Waves in the Estuaries of the Rivers Ems and Weser – Measurement vs. Numerical Wave Model. Textbeitrag zur Konferenz, 7th Int. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries COPEDEC, Dubai, United Arab Emirates, 2008.
- MAI, S., WILHELMI, J. & U. BARJENBRUCH (2010): Wave height distributions in shallow waters. Textbeitrag zur Konferenz, 32nd Int. Conf. on Coastal Engineering ICCE, Shanghai, China, 2010.
- Moser, H. Hein, H., S. Mai & U. Barjenbruch (2011): Decomposition of Sea Level Rise in the Southern North Sea, Poster, IUGG 2011, IAPSO, JP 03, Global and regional sea-level change.
- ROHDE, H. (1968): Wasserstandsänderung und Sturmfluthäufigkeit an der Elbmündung. Die Küste, Heft 16.
- WAHL, T., JENSEN, J., FRANK, T. & I. D. HAIGH (2011): Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years, Ocean Dynamics 2011, 5, 701–715.
- WOODWORTH, P. L., TEFERLE, N., BINGLEY, R., SHENNAN, I. & S. D. WILLIAMS (2009): Trends in UK mean sea level revisited, Geophys. J. Int., 176, 19–30.

Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems – Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels

Elisabeth Rudolph, Annette Schulte-Rentrop (beide BAW), Annkathrin Schüßler (RFWU) & Anika Johannsen (TUHH)

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels in diesem Jahrhundert und darüber hinaus lässt das BMVBS mögliche Folgen des Klimawandels für Schifffahrt und Wasserstraßen untersuchen. Zur Entwicklung geeigneter Anpassungsoptionen an den Klimawandel ist es nötig, sowohl die heutige Situation zu verstehen, als auch mögliche zukünftige Gegebenheiten zu analysieren. Die tatsächlichen Auswirkungen des Klimawandels auf z.B. den Meeresspiegel oder die Windverhältnisse in der Deutschen Bucht für das Jahr 2050 oder 2100 sind heute nicht bekannt. Jedoch gibt es aus den SRES-Szenarien (siehe Glossar) für eine Reihe von Parametern, die die Höhe einer Sturmflut bestimmen, Hinweise auf die Bandbreite ihrer Veränderung. Es ist deshalb möglich, die Bedeutung einer Veränderung dieser Parameter bei Sturmflut für die Bundeswasserstraßen zu untersuchen. Beispielhaft werden die Ergebnisse einer Sensitivitätsstudie zu Sturmfluten in Elbe, Jade-Weser und Ems vorgestellt. Das Ziel dieser Sensitivitätsstudie ist es, ein besseres Verständnis für die Variationsbreite der Sturmflutscheitelwasserstände unter heutigen und möglichen zukünftigen Randbedingungen zu erhalten. Die Ergebnisse tragen dazu bei, Betroffenheiten entlang der Wasserstraßen in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems zu identifizieren, Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Ästuare zu analysieren und in Zusammenarbeit mit der WSV geeignete Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.

2 Sturmflutszenarien

Sturmfluten in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems werden nicht nur durch die Gezeitendynamik und den Windstau in der Deutschen Bucht beeinflusst, auch Prozesse in den bis zu 100 km tief in die Norddeutsche Tiefebene hineinreichenden Flussmündungsgebieten prägen das Erscheinungsbild einer Sturmflut. So beeinflusst die Wasserstandsentwicklung in der Deutschen Bucht, die lokale Windwirkung über dem Ästuar, der Oberwasserzufluss in das Ästuar sowie die Topographie des Ästuares den Sturmflutscheitelwasserstand HW (höchster im Sturmflutzeitraum aufgetretener Wasserstand) entlang des Ästuares. Im Rahmen einer Sensitivitätsstudie zu Sturmfluten werden Szenarien untersucht, die zentrale Elemente einer möglichen Zukunft hervorheben (Kosow & Grasser 2008). Als zentrale Elemente einer möglichen Zukunft wird z.B. von BECKER (siehe Beitrag in diesem Tagungsband) eine Zunahme der Niederschläge im Winter und die daraus resultierenden höheren Abflüsse (Horsten, in diesem Tagungsband) in der Sturmflutsaison genannt. HEINRICH (siehe Beitrag in diesem Tagungsband) benennt den Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht als ein zentrales Element des Klimawandels. Beispielhaft werden Ergebnisse zu folgenden Szenarien vorgestellt:

- Zunahme des Oberwasserzuflusses Q: Sturmflutszenarien werden mit dem aufgetretenen Abfluss sowie mit drei erhöhten Abflüssen (2.000 m³/s, 3.000 m³/s und 4.000 m³/s für Elbe und Weser sowie 350 m³/s, 700 m³/s und 1.200 m³/s für die Ems) kombiniert. Der höchste untersuchte Wert entspricht dem heutigen HHQ (höchste bekannter Wert) des jeweiligen Ästuares.
- Meeresspiegelanstieg in der Nordsee slr: Sturmflutszenarien werden mit einem Meeresspiegelanstieg von 25 cm, 80 cm und 115 cm kombiniert (zur Einordnung der Werte siehe GÖNNERT et al. 2009).

Die Sensitivitätsstudie wird auf der Grundlage von historischen sehr hohen Sturmfluten durchgeführt (Sturmflut 3. Januar 1976 (SF76) in Elbe und Jade-Weser, Sturm-

flut 1. November 2006 (SF06) in der Ems). Der Einsatz von hydrodynamisch numerischen (HN-)Modellen (UnTRIM, CASULLI und WALTERS 2000 bzw. BAW 2004) ermöglicht es, den Einfluss der genannten Prozesse auf den Wasserstandsverlauf bei Sturmflut jeweils einzeln zu untersuchen. Die Windfelder wurden vom DWD bereit gestellt.

3 Ergebnisse der Sensitivitätsstudie

Der Einfluss eines Meeresspiegelanstieges auf die Wasserstandsentwicklung bei Sturmflut ist beispielhaft für Brake in der Unterweser für das Sturmflutszenario SF76 in Abb. 1 dargestellt. Der erhöhte Meeresspiegel verändert am Tag vor der Sturmflut die Tidehochwasser Thw und Tideniedrigwasser Thw sowie deren Eintrittszeiten. Durch den Meeresspiegelanstieg erhöht sich der Sturmflutscheitelwasserstand HW und tritt früher ein. Die Dauer hoher Wasserstände verlängert sich.

Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstandes

Bezogen auf einen Ort z.B. in der Emsmündung ergibt sich, dass das HW in Emden im Referenzszenario SF76 nach 100 Minuten erreicht wird. Bei einem Meeresspiegelanstieg um 25 cm wird HW ca. 5 Minuten früher, bei

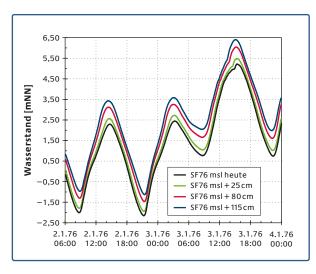


Abb. 1: Wasserstandsentwicklung bei Brake (Weser-km 40) für die Sturmflutszenarien mit Meeresspiegelanstieg

einem Meeresspiegelanstieg um 80 cm ca. 20 Minuten und bei einem Meeresspiegelanstieg um 115 cm ca. 25 Minuten früher erreicht. Bei einem Meeresspiegelanstieg ist bei Sturmflut eine Verkürzung der Vorwarnzeiten für die Deichverteidigung, das Räumen von überflutungsgefährdeten Hafengebieten oder auch die Bevölkerung zu erwarten.

Dauer hoher Wasserstände

Entwässerungssysteme und Siele ohne Pumpen sind auf Wasserstandsgefälle angewiesen. Aber auch Hafenanlagen können bei sehr hohen Wasserständen nicht verwendet werden. Schleusen und Sperrwerke werden bei Sturmflut geschlossen. Der Schiffsverkehr wird somit eingeschränkt. Betrachtet man 24 Stunden im Referenzszenario SF76 in Hamburg, so werden z. B. Wasserstände größer als NN + 3,00 m während 11,5 Stunden erreicht. Bei einem Meeresspiegelanstieg um 25 cm verlängert sich dieser Zeitraum um ca. 30 Minuten, bei einem Meeresspiegelanstieg um 80 cm um 5 Stunden und bei einem Meeresspiegelanstieg um 115 cm um ca. 6 Stunden.

Sturmflutscheitelwasserstand HW

Veränderungen im Meeresspiegel oder im Oberwasserabfluss verändern die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ästuare in unterschiedlicher Größenordnung. Eine Zunahme des Abflusses verändert HW im Mündungsbereich nicht. Im mittleren Bereich des Ästuares wird HW um mehrere Zentimeter und im oberen Bereich des Ästuares um mehrere Dezimeter angehoben. Ein erhöhter Meeresspiegel jedoch führt zu erhöhten Sturmflutscheitelwasserständen bis tief in die Ästuare hinein.

Eine Kombination von Meeresspiegelanstieg und Oberwasserzuflusszunahme (Abb. 2) zeigt, dass die Höhe des Sturmflutscheitelwasserstandes im Mündungsbereich durch den Meeresspiegelanstieg verändert wird. Im mittleren Bereich der Ästuare beeinflussen sowohl der Meeresspiegelanstieg als auch der veränderte Abfluss den Sturmflutscheitelwasserstand. Im oberen Bereich des Ästuares bestimmt hauptsächlich der Oberwasserzufluss die Höhe des Sturmflutscheitelwasserstands. Mit den Ergebnissen dieser Sensitivitätsstudie ist

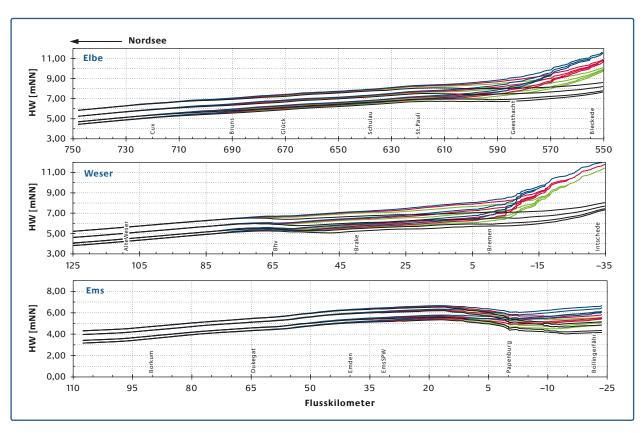


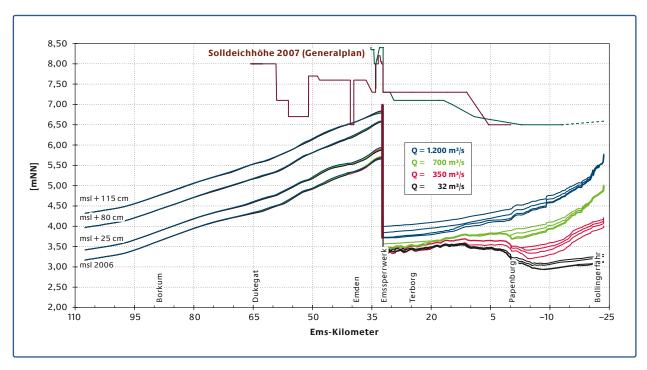
Abb.2: Einfluss des Meeresspiegelanstiegs (heutiger Meeresspiegel msl, msl + 25 cm, msl + 80 cm, msl + 115 cm) und des Oberwasserzuflusses (gemessener Abfluss in Schwarz, $2.000 \, \text{m}^3/\text{s}$ bzw. $350 \, \text{m}^3/\text{s}$ (grün), $3.000 \, \text{m}^3/\text{s}$ bzw. $700 \, \text{m}^3/\text{s}$ (rot) und $4.000 \, \text{m}^3/\text{s}$ bzw. $1.200 \, \text{m}^3/\text{s}$ (blau)) auf die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ästuare von Elbe, Weser und Ems

es möglich, Bereiche entlang der Ästuare zu identifizieren, in denen die variierten Parameter den Sturmflutscheitelwasserstand deutlich verändern.

Anpassungsmaßnahme

Einen Schutz für die Flussmündungsgebiete vor Sturmfluten bieten Sturmflutsperrwerke. Das Emssperrwerk bei Gandersum schützt bereits heute die Ems vor Sturmfluten. Betrachtet werden die vier genannten Meeresspiegelszenarien in Kombination mit den vier Oberwasserszenarien. Abb. 3 zeigt im Gegensatz zu Abb. 2 die Sturmflutscheitelwasserstände entlang der Ems bei geschlossenem Emssperrwerk. Zusätzlich ist die heutige

Solldeichhöhe (linkes und rechtes Ufer) eingetragen. Der Bereich stromauf von Gandersum ist durch das geschlossene Sperrwerk geschützt. Es treten relativ niedrige Scheitelwasserstände auf, die vom Oberwasserzufluss und der Schließdauer des Sperrwerkes abhängen. Auf der Seeseite des Sperrwerkes werden die Scheitelwasserstände nicht vom Abfluss sondern lediglich vom Meeresspiegelanstieg beeinflusst. Ein Vergleich der Solldeichhöhen mit den Sturmflutscheitelwasserständen aus dieser Sensitivitätsstudie zeigt, dass für fast alle betrachteten Szenarien das Sperrwerk eine geeignete Anpassungsmaßnahme darstellt. Es können jedoch auch Gebiete entlang der Ems identifiziert werden, für die



 $\textbf{Abb. 3:} \ \ Einfluss \ des \ Meeresspiege lanstiegs \ und \ des \ Oberwasserzuflusses \ auf \ die \ Sturmflutscheitelwasserstände \ entlang \ der \ Ems \ bei geschlossenem \ Sturmflutsperrwerk$

bei einigen Szenarien die Anpassungsmaßnahme Sperrwerk die Betroffenheiten bei Sturmflut nicht beseitigt, da z.B. die Deiche nicht hoch genug sind.

4 Zusammenfassung

In einer Sensitivitätsstudie zu Sturmfluten in Elbe, Jade-Weser und Ems werden systematische Variationen der Parameter durchgeführt, die sich durch den Klimawandel verändern können. Die Änderungen der Sturmflutscheitelwasserstände sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Sturmflutscheitelwasserstand im Mündungsbereich wird durch das Geschehen in der Nordsee, d. h. die Sturmflut und den Meeresspiegelanstieg bestimmt. Im Ästuar wird der Sturmflutscheitelwasserstand sowohl durch das Geschehen in der Nordsee als auch durch das Geschehen im Binnenbereich (Abfluss) geprägt.

Die betrachteten Szenarien führen zu einer Zunahme der Sturmflutscheitelwasserstände, einer früheren Eintrittszeit des Sturmflutscheitelwasserstandes sowie einer längeren Dauer hoher Wasserstände. Es ist davon

Tabelle 1: Änderung des Sturmflutscheitelwasserstandes für die betrachteten Szenarien entlang der Ästuare von Elbe, Weser und Ems

Szenarien	Ästuar- mündung	"mittleres" Ästuar	"oberes" Ästuar
Oberwasser- zufluss Q	±1 cm	5-30 cm	10-100 cm
Meeresspiegel- anstieg slr	+slr	+(slr ± 10 cm)	+(slr ± 10 cm)
Kombination Q & slr	+slr	\leq (slr + Q)	$\leq (slr + Q)$

auszugehen, dass die bekannten Probleme bei Sturmfluten durch den Klimawandel verstärkt werden.

Am Beispiel des Emssperrwerkes wird gezeigt, wie die Ergebnisse einer Sensitivitätsstudie eingesetzt werden können, um mit der WSV zusammen Betroffenheiten entlang der Bundeswasserstraßen zu identifizieren und geeignete Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.

Literatur

- BECKER, P. (2012): Die deutsche Klima- und Klimafolgenforschung – wo stehen wir? In diesem Band.
- BAW (2004): Validation document Mathematical Model UnTRIM. Bundesanstalt für Wasserbau Dienststelle Hamburg. Wedeler Landstrasse 157, 22559 Hamburg. 2004. http://www.baw.de/downloads/wasserbau/mathematische_verfahren/pdf/Simulationsverfahren_Kueste_validation_document-untrim-2004.pdf.
- CASULLI, V. & R. A. WALTERS (2000): An unstructured, three dimensional model based on the shallow water equations. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 32, 331–348. 2000.
- GÖNNERT, G., JENSEN, J., VON STORCH, H., THUMM, S., WAHL, T. & R. WEISSE (2009): Der Meeresspiegelanstieg Ursachen, Tendenzen und Risikobewertung. Die Küste 76. 225–256. 2009.
- HEINRICH, H., KLEIN, B., GANSKE, A., HÜTTL-KABUS, S., MÖLLER, J., SCHADE, N., KLEIN, H., ROSENHAGEN, G., TINZ, B., MIKOLAJEWICZ, U. & D. SEIN (2012): Aktueller Stand der Meeresspiegel-Projektionen für das nordwesteuropäische Schelf. In diesem Band.
- HORSTEN, T., KRAHE, P., NILSON, E., EBNER VON ESCHENBACH, D. E., BELZ, J.-U. & M. LARINA (2012): Änderungen von Wasserhauhaltskomponenten im Elbegebiet Herausforderungen und Lösungsansätze. In diesem Band.

Folgen Klima bedingter Änderungen des Oberwasserabflusses auf die Algenentwicklung und den Sauerstoffgehalt in der Tideelbe

Birte Hein, Jens Wyrwa & Andreas Schöl (alle BfG)

1 Einleitung

In der Tideelbe sind schon heute ausgeprägte Sauerstoffminima im Bereich des Hamburger Hafens zu beobachten. Diese vorwiegend im Sommer auftretenden Sauerstoffdefizite sind von hoher ökologischer Bedeutung, da sie zu einer starken Beeinträchtigung der benthischen Lebensgemeinschaft oder sogar zu einem Fischsterben führen können (Bergemann et al. 1996).

Der Sauerstoffhaushalt der Tideelbe wird maßgeblich von den Stoffeinträgen aus der Mittelelbe bestimmt. Ein steuernder Faktor ist hierbei der Oberwasserabfluss (Kerner 2007). Die aus der Mittelelbe eingetragene Algenbiomasse stirbt hauptsächlich aufgrund einer Verschlechterung der Lichtverhältnisse im Bereich des Hamburger Hafens ab (Schroeder 1997, Yasseri 1999). Der mikrobielle Abbau dieser Algenbiomasse findet unter Sauerstoffzehrung statt und führt zur Ausprägung des im Sommer zu beobachtenden Sauerstofftals (Bergemann et al. 1996, Kerner 2007, Yasseri 1999).

Diese Studie soll erste Abschätzungen liefern, wie sich klimatisch veränderte Oberwasserabflüsse auf die Stoffeinträge aus der Mittelelbe und somit auf die Gewässergüte in der Tideelbe auswirken.

2 Teststudie: Projektion der Sauerstoffgehalte in der Tideelbe

2.1 Das Gewässergütemodell QSim

Die Simulation des Sauerstoffhaushaltes wird mit dem deterministischen 1D-Gewässergütemodell QSim (Kirchesch & Schöl 1999, Schöl et al. 2006a, Schöl et al. 2006b) für das Elbeästuar und die Mittelelbe durchgeführt. Ein vorgeschaltetes hydraulisches Modell (Oppermann 1989) berechnet die Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten für den deutschen Teil der Elbe. Die Abbildung der hydraulischen Verhältnisse ist grundlegend für die Berechnung der Aufenthaltszeiten im System (Monsen et al. 2002). Die Aufenthaltszeiten bestimmen wiederum maßgeblich das Algenwachstum, wobei ein geringerer Abfluss zu höheren Aufenthaltszeiten und so zu einem erhöhten Algenwachstum führen können (JASSBY et al. 2002, SALMASO & BRAIONI 2008). Auf Grundlage der hydraulischen Gegebenheiten berechnet QSim die Gewässergüte des Systems. Es werden die wichtigsten biologischen Prozesse des Sauerstoff- und Nährstoffhaushaltes sowie der Algen- und Zooplanktonentwicklung abgebildet.

2.2 Eingangsdaten für die Klimaprojektionen

Zur weitergehenden Verwendung des Modells QSim im Forschungsprogramm KLIWAS wurden Klimaprojektionen für das Elbegebiet aus dem BMBF-Projekt GLOWA II genutzt. Aus den für den Zeitraum 2004-2055 für das Elbegebiet erzeugten meteorologische Daten sowie den Abflüssen wurden drei Projektionen als Jahresgang ermittelt. Dazu wurde eine Mittelung von 10 Modelljahren mit hohem (90-Perzentil), mittlerem (50-Perzentil) und niedrigem Abfluss (10-Perzentil) durchgeführt. Diese Werte wurden als antreibende Randdaten für QSim verwendet (QUIEL et al. 2010). Wie in der Abb. 1 zu erkennen ist, führt diese Vorgehensweise zu einer Dämpfung der Abflusskurve. Die Ergebnisse der Projektionen liefern erste Anhaltspunkte, wie der systemare Zusammenhang zwischen dem Oberwasserabfluss, der Algenentwicklung und dem Sauerstoffgehalt im Elbe-Ästuar ist.

2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen einen direkten Einfluss vom Oberwasserabfluss auf die Sauerstoffgehalte im Elbe-Ästuar (Abb. 2). Zum Einen zeigt die Projektion mit geringem Abfluss im Vergleich zur Projektion mit hohem Abfluss

deutlich stärker ausgeprägte Sauerstoffminima im Verlauf der Tideelbe (km 585 bis 727). Zum Anderen sind die Sauerstoffminima bei der Projektion mit hohem Abfluss verglichen mit der Situation bei der Projektion mit geringem Abfluss stromab verlagert. In der Mittelelbe (km 0 bis 585) zeigen alle drei Projektionen keine Sauerstoffdefizite, und es sind nur geringe Unterschiede zwischen den Projektionen erkennbar.

Werden die Chlorophyll-a-Konzentrationen betrachtet, die ein Maß für die Algenbiomasse sind (Abb. 3), wird Folgendes deutlich: Die Projektion mit geringem Abfluss zeigt deutlich höhere Chlorophyll-a-Konzentrationen und damit ein deutlich höheres Algenwachstum in der Mittelelbe auf als die Projektion mit hohem Abfluss. Auch ist das Absterben der Algenbiomasse bei der Projektion mit hohem Abfluss stromab verlagert verglichen mit der Situation bei der Projektion mit geringem Abfluss.

Um den Zusammenhang zwischen der Algenbiomasse und den Sauerstoffgehalten in der Tideelbe zu erklären, ist es notwendig, die Aufenthaltszeiten zu betrachten. Ein geringerer Abfluss führt zu höheren Aufenthaltszeiten im System, was ein erhöhtes Algenwachstum zur Folge hat (JASSBY et al. 2002, SALMASO & BRAIONI 2008). In der Mittelelbe kommt es durch die vermehrt auftretenden Algen zu einem starken biogenen Sauerstoffeintrag. Allerdings führt das erhöhte Algenwachstum in

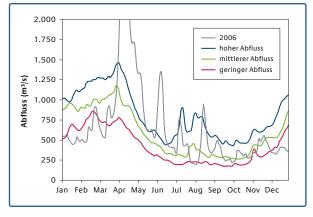


Abb. 1: Jahresgang des Abflusses [m³/s] für die drei Projektionen (hoher, mittlerer und geringer Abfluss) im Vergleich zum Jahr 2006 am Pegel Neu Darchau (km 536).

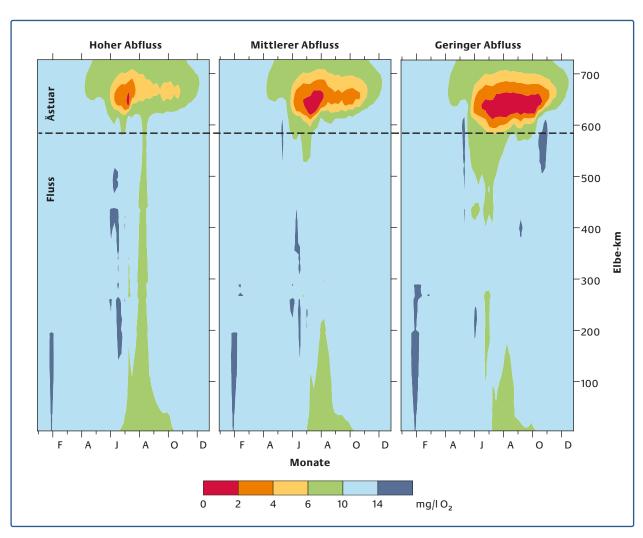
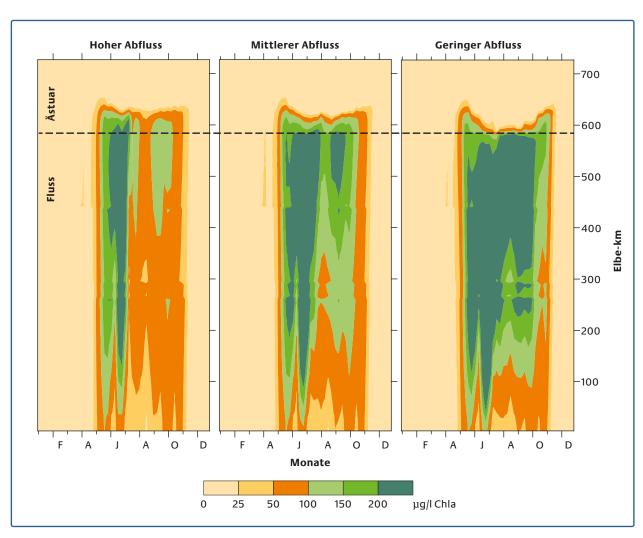


Abb. 2: Klimaprojektionen – Sauerstoffgehalte [mg/l] bei der Projektion mit hohem, mittlerem und geringem Abfluss. Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).

der Mittelelbe auch zu einem höheren Eintrag an lebenden und bereits abgestorbenen Algen über das Wehr Geesthacht in das Elbe-Ästuar. Ein Modellparameter, der diesen Zusammenhang abbildet, ist der C-BSB $_5$ am Wehr Geesthacht (km 585, Übergang Mittelelbe – Tideelbe), der ein Maß für den mikrobiell abbaubaren organischen Kohlenstoff ist. Die Projektion mit niedrigem Abfluss zeigt am Wehr Geesthacht einen höheren C-BSB $_5$ als die Projektion mit hohem Abfluss (hier nicht gezeigt), d. h.

es werden höhere Gehalte an abbaubarem organischen Kohlenstoff bei der Projektion mit geringem Abfluss in die Tideelbe eingetragen. Die lebenden Algen sterben aufgrund einer Verschlechterung des Lichtklimas in der Tideelbe ab und dienen heterotrophen Bakterien als Substrat (BERGEMANN et al. 1996, YASSERI 1999). Die Bakterien veratmen bei Anwesenheit von Sauerstoff im Wasser den organischen Kohlenstoff, der aus der Algen-



 $\textbf{Abb. 3:} \ \ \textbf{Klimaprojektionen-Chlorophyll-a-Konzentrationen} \ \ [\mu g/l] \ \ \textbf{bei} \ \ \text{der Projektion mit hohem, mittlerem und geringem Abfluss.} \\ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende Daten stammen aus BMBF-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibende BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL et al. 2010).} \\ \ \ \textbf{Antreibend BMB-Projekt GLOWA-Elbe II (QUIEL$

biomasse stammt, und verursachen dadurch eine Sauerstoffzehrung bzw. einen Rückgang des Sauerstoffgehaltes.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Diese ersten Schritte belegen die erfolgreiche Verwendung von Eingangsdaten aus Klimaprojektionen für das Tideelbe-Modell und zeigen die Einbindung des Gewäs-

sergütemodells QSim in die Modellkette von KLIWAS. Ein starker Einfluss des Oberwasserabflusses und des damit zusammenhängenden Kohlenstoffeintrages auf die Sauerstoffgehalte in der Tideelbe wurde gezeigt.

Als nächste Schritte soll die Gewässergüte in der Elbe für den aktuellen Zeitraum abgebildet werden (1997–2010). Nach Vorliegen der KLIWAS-Projektionen wird zunächst der Klimareferenzzeitraum (1961–1990), dann die "Nahe Zukunft" (2021–2050) und anschließend die "Ferne Zukunft" (2071–2100) berechnet. Zudem müssen Lösungen erarbeitet werden, um die für die Klimaprojektionen biologisch bedeutsamen Randbedingungen (Nährstoffe, Algenbiomasse) für das Modellgebiet Elbe wissenschaftlich fundiert zu belegen. Auf Grundlage dieser Simulationen soll der Einfluss klimatisch veränderter Oberwasserabflüsse und Stoffeinträge aus der Mittelelbe auf den Sauerstoffgehalt im Elbe-Ästuar ermittelt werden.

Literatur

- BERGEMANN, M., G. BLÖCKER, H. HARMS, M. KERNER, R. MEYER-NEHLS, W. PETERSEN & F. SCHRÖDER (1996): Der Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. Die Küste 58: 199–261.
- JASSBY, A. D., J. E. CLOERN & B. E. COLE (2002): Annual primary production: Patterns and mechanisms of change in a nutrient-rich tidal ecosystem. Limnology and Oceanography 47(3): 698–712.
- Kerner, M. (2007): Effects of deepening the Elbe Estuary on sediment regime and water quality. Estuarine, Coastal and Shelf Science 75: 492–500.
- KIRCHESCH, V. & A. SCHÖL (1999): Das Gewässergütemodell QSIM – Ein Instrument zur Simualtion und Prognose des Stoffhaushaltes und der Planktondynamik von Fließgewässern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43: 302–309.
- MONSEN, N. E., J. E. CLOERN, L. V. LUCAS & S. G. MONISMITH (2002): A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales. Limnology and Oceanography 47(5): 1545–1553.
- OPPERMANN, R. (1989): Eindimensionale Simulation allmählich veränderlicher instationärer Fließvorgänge in Gewässernetzen. Verlag für Bauwesen, Berlin. 114 Seiten.

- QUIEL, K., A. BECKER, V. KIRCHESCH, A. SCHÖL & H. FI-SCHER (2010): Influence of global change on phytoplankton and nutrient cycling in the Elbe River. Regional Environmental Change 11(2): 405–421.
- SALMASO, N. & M. G. BRAIONI (2008): Factors controlling the seasonal development and distribution of the phytoplankton community in the lowland course of a large river in Northern Italy (River Adige). Aquatic Ecology 42: 533–545.
- SCHÖL, A., R. EIDNER, M. BÖHME & V. KIRCHESCH (2006a): Einfluss der Buhnenfelder auf die Wasserbeschaffenheit der Mittleren Elbe. S. 243–263. In: M. Pusch & H. Fischer (Hrsg.) Stoffdynamik und Habitatstruktur in der Elbe. Bd. 5. Weißensee Verlag, Berlin.
- SCHÖL, A., R. EIDNER, M. BÖHME & V. KIRCHESCH (2006b): Integrierte Modellierung der Wasserbeschaffenheit mit QSim. S. 233–242. In: M. Pusch & H. Fischer (Hrsg.) Stoffdynamik und Habitatstruktur in der Elbe. Bd. 5. Weißensee Verlag, Berlin.
- SCHROEDER, F. (1997): Water quality in the Elbe estuary: Significance of different processes for the oxygen deficit at Hamburg. Environmental Modeling and Assessment 2: 73–82.
- YASSERI, M. S. (1999): Untersuchungen zum Einfluss von Sauerstoffmangelsituationen auf den mikrobiellheterotrophen Stoffumsatz an Schwebstoffen in der Tideelbe. Ad-fontes-Verlag, Hamburg. 97 Seiten.

Ästuarvegetation und Vorlandschutz

Eva-Maria Bauer, Maike Heuner, Elmar Fuchs, Uwe Schröder & Andreas Sundermeier (alle BfG)

1 Einleitung

Die Vegetation im Deichvorland der Ästuare erfüllt wichtige Funktionen für Mensch und Naturhaushalt. Sie bildet einen natürlichen Erosionsschutz, ist Lebensraum für geschützte Tier- und Pflanzenarten (DINSE 1989, STILLER 2010), trägt zur Selbstreinigung des Fließgewässers bei, ist seit alters her Lieferant von Reet und Binsen (FÜRST 2000, GEMEINDE SEESTERMÜHE 2008) und enthält zudem zahlreiche geschützte Biotoptypen (DRACHENFELS 2011), um nur einige Beispiele zu nennen.

Struktur und Artenzusammensetzung der Ästuarvegetation wurden bisher durch Landwirtschaft, Wasserbau und Wasserwirtschaft fortlaufend verändert. Der Klimawandel übt möglicherweise zusätzlichen Druck auf die Vegetationshabitate und ihre Funktionsfähigkeit aus. Sollten z. B. hydrologische Extremereignisse an Intensität zunehmen (ALCAMO et al. 2007) oder der Tidenhub ansteigen, könnte dies die Dynamik der Uferund Vorlandvegetation beeinflussen. Insbesondere die für den Uferschutz wichtigen Röhrichtgürtel können in ihrer Lage und Ausdehnung betroffen sein.

2 Ziele des Projekts "Ästuarvegetation und Vorlandschutz"

Mit dem Projekt "Ästuarvegetation und Vorlandschutz" (KLIWAS 3.09) wird untersucht, inwieweit sich Eigenschaften und Funktionen der Vorlandvegetation deutscher Nordseeästuare Klima bedingt verändern können. Es werden Vorlandbereiche der Ästuare von Elbe und Weser ermittelt, die auf zukünftige mögliche klimatische Bedingungen empfindlich reagieren können. Dazu werden Fernerkundungsmethoden mit Untersuchungen im Gelände kombiniert. Habitat- und Populationsmodelle werden eine Vorstellung davon vermitteln, wie sich zu-

künftige Klimaszenarien auf Lebensräume der Vegetation von Ufer und Vorland auswirken. Darüber hinaus werden Nutzungseinflüsse analysiert. In allen Arbeitspaketen werden Regeln ermittelt, unter welchen Bedingungen welche Vegetation zu erwarten ist. Auf Grundlage von Projektionen zu den zukünftigen Bedingungen (z. B. Tidekennwerte), die andere KLIWAS-Projekte erarbeiten, werden dann Projektionen zu der zukünftig zu erwartenden Vegetation erstellt (vgl. Abb. 1).

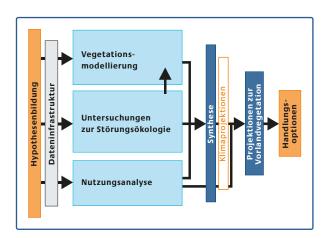


Abb.1: Projektablauf

Letztlich werden Handlungsoptionen für die Unterhaltung der Ästuare und ihrer Vorländer abgeleitet, um auch künftig sowohl die Wasserstraße als umweltfreundlichen Verkehrsträger wie auch die Funktionen der Ufer- und Vorlandvegetation nachhaltig zu sichern.

3 Ausgewählte Ergebnisse

In Vorbereitung der Vegetationsmodellierung wurde untersucht, welche abiotischen Faktoren für die Verteilungsmuster der bestandsbildenden Röhrichtarten verantwortlich sind.

Die wichtigsten Modellvariablen sind die relative Geländehöhe zum Mittleren Tidehochwasser (MThw) und die Distanz zur Fahrrinnenmitte. Eine weitere wesentliche Modellvariable für die Watt-Vegetationsgrenze an

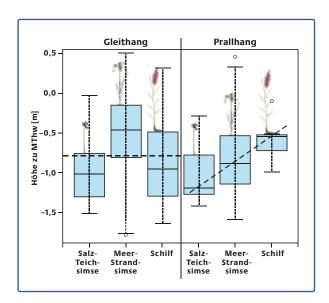
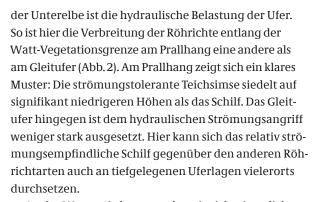


Abb. 2: Vorkommen ausgewählter Röhrichtarten an der Watt-Vegetationsgrenze der Unterelbe in Abhängigkeit von abiotischen Faktoren



An der Weser wird untersucht, wie sich winterliche Schilfmahd auf die Bestandsstruktur des Schilfröhrichts und das Vorkommen von Neophyten in diesem Lebensraum auswirkt. Abb. 3 zeigt, dass die Mahd Struktur und Biodiversität der Bestände beeinflusst. Die Gesamtzahl der Halme und der Anteil fruchtender Halme nehmen nach Mahd zu. Nach den bisherigen Untersuchungen fördert die Schilfmahd an der Weser keine Neophyten.

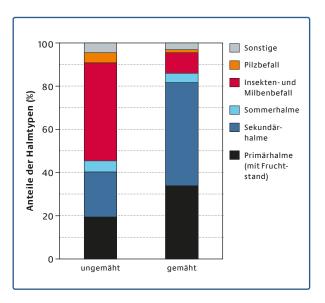


Abb. 3: Auswirkung der Schilfmahd auf die Bestandsstruktur von Schilfröhrichten an der Unterweser

3 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden Projektionen zur Klima bedingten Veränderung der Habitate erarbeitet und die Nutzung in ihrer Auswirkung auf die Biotoptypen beleuchtet. Hiervon werden Handlungsoptionen für das Vorlandmanagement abgeleitet, z. B. zum möglichen Einsatz der Ufervegetation für den Vorlandschutz sowie zu Nutzungs- und Unterhaltungsoptionen im Vorland unter Berücksichtigung von Erosionsschutzfunktion und Naturschutzwert der Lebensräume. Empfehlungen zum zukünftigen Umgang mit Neophyten werden erarbeitet. Des Weiteren wird zu ausgewählten WRRL-Maßnahmen vor dem Hintergrund der Projektergebnisse Stellung genommen.

Literatur

- ALCAMO, J., MORENO, J. M., NOVÁKY, B., BINDI, M., COROBOV, R., DEVOY, R. J. N., GIANNAKOPOULOS, C., MARTIN, E., OLESEN, J. E., SHVIDENKO, A., EUROPE, PARRY, M. L., CANZIANI, O. F., PALUTIKOF, J. P., VAN DER LINDEN, P. J., HANSON, C. E. (EDS.) (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541–580, 2007.
- DINSE, V. (1989): Beurteilung der Schilfmahd im Naturschutzgebiet "Die Reit", Gutachten für die Umweltbehörde Hamburg, 1989.
- DRACHENFELS, O. v. (2011): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen, NLWKN, 2011.
- FÜRST, P. (2000): Rund um die Strohauser Plate. eine Beschreibung der Weserinsel, der Menschen am Fluß und an den Sielhäfen, Verlag Wilhelm Böning, Nordenham, 2000.
- GEMEINDE SEESTERMÜHE (2008): Ein Dorf schreibt Geschichte, Arbeitsgemeinschaft Dorfentwicklung Seestermühe, 2008.
- STILLER, G. (2010): Überblicksmonitoring der Qualitätskomponenten Makrophyten und Angiospermen in der Tideelbe, Auftraggeber: Flussgebietsgemeinschaft Elbe, 2010.

Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf Haushalt und Qualität der Sedimente am Beispiel der Tideelbe

Axel Winterscheid, Nicole Gehres & Carmen Kleisinger (alle BfG)

Einleitung

Die Projekte 3.03 und 3.06 untersuchen im Forschungsprogramm KLIWAS den Einfluss von Klimaveränderungen auf Haushalt und Qualität der Sedimente in den Nordseeästuaren. Dazu sind umfangreiche Analysen von Naturmessdaten und Messzeitreihen durchgeführt und die Ergebnisse dann vertieft vor dem Hintergrund Klimawandel diskutiert worden. Für die weitere Projektlaufzeit bilden diese Ergebnisse eine Wissens- und Datengrundlage über die klimarelevanten Wirkungszusammenhänge, die bis zum Projektabschluss von KLIWAS Ende 2013 weitergehend analysiert werden. Untersuchungsziel sind belastbare, nach Möglichkeit auch quantitative Aussagen über die möglichen Auswirkungen eines zukünftig veränderten Klimas auf den ästuarinen Sedimenthaushalt. Dieser Beitrag wird über die Ergebnisse von zwei Untersuchungsschwerpunkten an der Tideelbe berichten.

Zum methodischen Untersuchungskonzept sei erwähnt, dass der ästuarine Sedimenthaushalt und die Dynamik seiner Prozesse sowie die Qualität der Sedimente nicht unmittelbar durch Klimaparameter wie Niederschlag oder Lufttemperatur, sondern indirekt über andere, klimasensitive Faktoren beeinflusst werden. Als ein solcher Faktor ist in der Fachliteratur der Oberwasserzufluss beschrieben (z. B. GKSS 2007 oder BFG 2008), also der binnenseitige Zufluss der Elbe in das Ästuar. Ein zweiter Faktor ist die Wassertemperatur, die betrachtet werden muss, weil sie eine steuernde Einflussgröße bei zahlreichen Teilprozessen ist. Damit beeinflusst sie den aktuellen, sowohl quantitativen als auch qualitativen Zustand des Sedimenthaushaltes. Der Einfluss von Klima, oder präziser ausgedrückt, der Ein-

fluss von Wetterlagen – bzw. die in Folge dessen aufgetretenen hydrologischen Randbedingungen – auf den Zustand des Sedimenthaushaltes ist anhand von beobachteten Messzeitreihen des Oberwasserzuflusses und der Wassertemperatur untersucht worden. Von besonderem Interesse sind solche Situationen, die zukünftig unter einem veränderten Klima häufiger und extremer auftreten könnten, z. B. heiße Sommer mit lang anhaltenden, geringen Oberwasserabflüssen oder niederschlagsreiche Winter. Die zukünftige Entwicklung des Meeresspiegels ist ein weiterer klimasensitiver Faktor, der den Haushalt und die Qualität der Sedimente beeinflussen könnte.

Dynamik von subaquatischen Transportkörperstrukturen in der Tideelbe

Der erste Untersuchungsschwerpunkt befasst sich mit der Dynamik subaquatischer Transportkörperstrukturen (Dünen). Diese Strukturen prägen in großen Flussabschnitten die Gewässersohle der Tideelbe. Ihre Wanderrichtung, -geschwindigkeiten sowie geometrischen Kenngrößen geben wichtige Hinweise auf die sohlnah transportierten, sandigen Sedimentfrachten in Raum und Zeit. Erfasst man diese Dynamik langfristig und großräumig, kann man daraus morphodynamische Trends für das Ästuar ableiten. Solche Transportkörperstrukturen können die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt beeinträchtigen, da sie in den Bereich der Sollwassertiefen aufwachsen können. Daraus entstandene Einzeluntiefen werden dann z.B. durch den Einsatz von Wasserinjektionsverfahren entfernt. Durchschnittlich müssen in der Tideelbe jährlich etwa 1,5 Mio. m³ Sedimente im Bereich der Fahrrinne auf diese Weise gebaggert werden (ENTELMANN 2010).

Ein Untersuchungsgebiet liegt im Elbeabschnitt bei St. Margarethen zwischen Elbe-km 685,5 und 689,8, etwa 5 km stromaufwärts des Nord-Ostsee Kanals bei Brunsbüttel. Dieser Bereich wurde im Zeitraum März bis August 2010 insgesamt achtmal per Fächerecholotpeilung erfasst. Durch Auswertung dieser Peilungen bzw. durch den Vergleich von zwei zeitlich aufeinander folgenden Peilungen mit Hilfe der Fachsoftware Dune Tra-

cking 2D (vgl. Wesseling & Wilbers 2000) können Längen und Höhen aller Transportkörperstrukturen sowie die Bewegung der Strukturen analysiert werden. Die Ergebnisse aus zwei weiteren, methodisch vergleichbaren Auswertungen von Transportkörperstrukturen bei Elbe-km 627 (Nasner 1974) und zwischen Elbe-km 636 und 639 (ZORNDT 2009) vervollständigen die Ergebnisdarstellung in Abbildung 1. Beide Untersuchungsgebiete liegen im Elbeabschnitt zwischen dem Hamburger Hafen und der Stadtlage von Wedel. Differenziert nach Untersuchungsbereich sind in dieser Abbildung die mittleren Wandergeschwindigkeiten der erfassten Strukturen in Relation zum Oberwasserzufluss am letzten binnenseitigen Pegel der Elbe (Neu Darchau) zum Zeitpunkt der Peilaufnahme aufgetragen.

Bei geringen Oberwasserzuflüssen kann in allen drei Untersuchungsbereichen eine stromaufwärts gerichtete Bewegung der Transportkörperstrukturen in Richtung Hamburger Hafen beobachtet werden bzw. eine solche Bewegung erwartet werden. Bei höheren Oberwasserzuflüssen kommt es zu einer Richtungsumkehr und damit zu einer stromabwärts gerichteten Bewegung dieser Strukturen in Richtung Nordsee. In Abbildung 1 ist dieser standortspezifische Grenzabfluss zu erkennen. Ziel der weiteren Projektarbeit an der Tideelbe wird es sein, die hier gezeigte Abbildung um Auswerteergebnisse an weiteren Flussabschnitten zu ergänzen. Sobald für das Elbeeinzugsgebiet die KLIWAS-Abflussprojektionen vorliegen (Erstellung durch KLIWAS-Projekt 4.01) können auf Grundlage dieser Ergebnisse für die untersuchten Flussabschnitte Projektionen für zukünftige Sedimentfrachten abgeschätzt werden. Die Auswertungen zeigen aber bereits jetzt, dass Änderungen im Abflussregime der Binnenelbe Einfluss auf den Sedimenthaushalt der Tideelbe haben werden.

Untersuchungen zur Dynamik des Feinsedimenthaushaltes und der Qualität seiner Sedimente

Der zweite Untersuchungsschwerpunkt betrachtet die Dynamik des Feinsedimenthaushaltes in dem Elbeabschnitt vor Wedel bei Elbe-km 642/643, etwa 15 bis

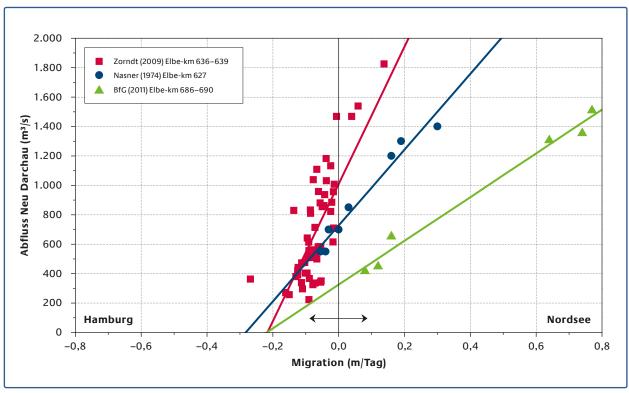


Abb. 1: Oberwasserabhängigkeit der Wandergeschwindigkeiten von Transportkörpern in drei untersuchten Abschnitten der Tideelbe, aus BFG (2011)

20 km stromabwärts des Hamburger Hafens. Die Sedimente der Gewässersohle in diesem Abschnitt können als ein breiiges Gemenge aus Schluff mit unterschiedlich starken Feinsandbeimischungen beschrieben werden. Wedel ist ein Baggerschwerpunkt des WSA Hamburg für Feinsedimente und zugleich betreibt hier die Hamburg Port Authority einen Sedimentfang (siehe http://www.tideelbe.de). In Abbildung 2 dargestellt sind die mittleren Sohlhöhenänderungsraten in den Baggerschwerpunkten dieses Baggerabschnittes. Im Zuge eines Sedimentfangmonitorings sind diese Raten 2-wöchentlich mittels Fächerecholotpeilung seit dem Frühjahr 2008 erfasst worden. Keine Peilungen sind zu Zeiten einer Unterhaltung des Sedimentfangs durchgeführt worden. Diese Zeiträume sind in der Abbildung schraffiert dargestellt.

Die Sohlhöhenänderung muss als eine integrale Größe aus den Anteilen Deposition, Erosion und Konsolidierung von Sedimenten aufgefasst werden. Die genauen Anteile sind zeitlich variabel und unbekannt, es ist einzig die totale Sohlhöhenänderung bekannt. Erheblicher Forschungsbedarf besteht auf der Ebene des hieran beteiligten Prozessgeschehens, deren Teilprozesse grob aber hinreichend in die nachfolgend genannten Kategorien gegliedert werden können: (1) Sinkverhalten des Einzelkorns und von Flocken, (2) Interaktion Strömung und Sohle, (3) Bodenmechanik, (4) physikochemische Prozesse auf der Partikel-Partikel-Ebene (Mikroskala) sowie (5) biogene Prozesse.

Die in Abbildung 2 dargestellten Zeitreihen lassen erkennen, dass hohe Sedimentationsraten stets zu Zeiten geringer Oberwasserzuflüsse, aber zugleich auch

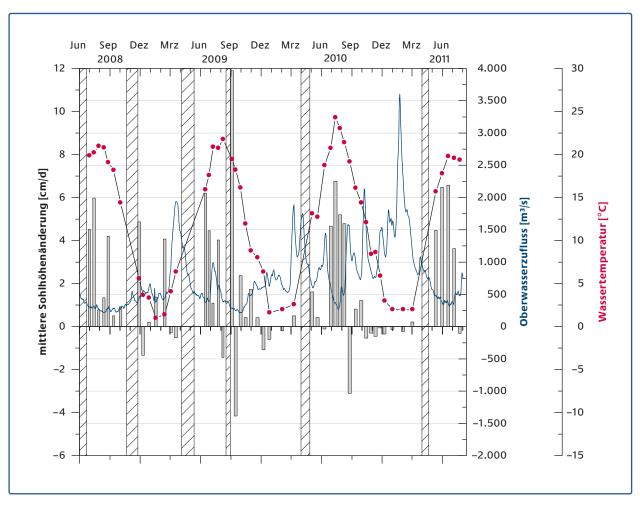
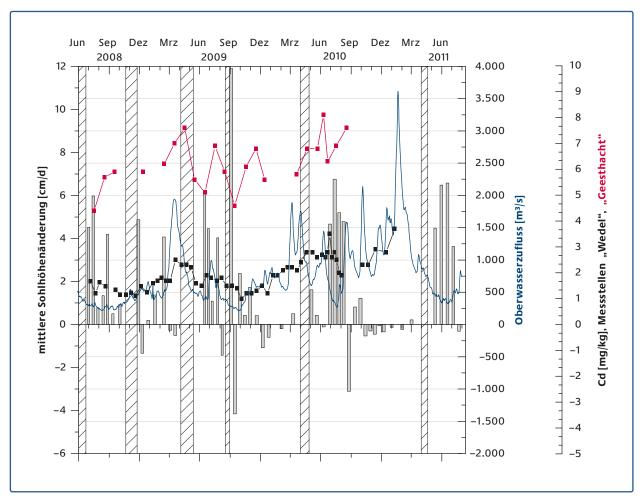


Abb. 2: Entwicklung der mittleren Sohlhöhenänderung im Bereich eines Sedimentationsschwerpunkts im Elbeabschnitt vor Wedel

bei hohen Wassertemperaturen auftreten. Ein geringer Oberwasserzufluss bewirkt eine Verlagerung der ästuarinen Trübungszone stromaufwärts sowie einen verstärkten flutstromorientierten Eintrag von Sedimenten in diesen Bereich. Diesen Effekt zeigen Modellrechnungen und Messungen und er ist auch in der Fachliteratur hinreichend beschrieben (siehe z. B. GKSS 2007 oder Ergebnisse KLIWAS-Projekte 2.04 und 3.01). Umgekehrt ist in einer Phase hoher Oberwasserzuflüsse eine Abnahme der Sohlhöhe oder nur geringe Änderungen bei der Sohlhöhe zu beobachten. Es ist unbekannt, ob diese

Abnahme auf eine erhöhte Erosion bzw. Konsolidierung von bereits abgelagerten Sedimenten oder einzig auf eine stark verminderte Deposition bei konstanten Erosions- bzw. Konsolidierungsraten zurückgeführt werden kann. Ebenfalls auf Grundlage dieser Daten nicht abgeschätzt werden kann der relative Einfluss von Wassertemperatur auf die Anteile Erosion, Deposition und Konsolidierung. Auf Seiten der Teilprozesse ist die Wassertemperatur eine zu beachtende Einflussgröße. Als nur ein Beispiel hat die Wassertemperatur Einfluss auf Dichte und kinematische Viskosität von Wasser und ver-



 $\textbf{Abb.3:} \ Einfluss \ Oberwasserzufluss \ auf \ Sohlh\"{o}hen\"{a}nderung \ und \ Schadstoffbelastung \ von \ schwebstoffb\"{u}rtigen \ Sedimenten \ am \ Beispiel \ von \ Cadmium$

ändert damit das Sinkverhalten von suspendierten Sedimenten und Schwebstoffen. Der integrale Effekt über sämtliche Teilprozesse ist jedoch unbekannt. Insgesamt erscheint der Einfluss des Oberwasserzuflusses dominant, da sowohl eine sommerliche als auch eine winterliche Hochwasserwelle unabhängig von der deutlich unterschiedlichen Wassertemperatur stets eine negative oder stark verringerte Entwicklung der Sohlhöhenänderung im Elbeabschnitt vor Wedel bewirkt. In sommerlichen Zeitperioden mit Randbedingungen,

welche einen Netto-Zuwachs der Sohlhöhe stark begünstigen, treten aber zugleich auch extrem "negative" Änderungsraten bzw. maximale Sprünge zwischen zwei aufeinander folgenden Änderungsraten auf. Dieses abrupte, extrem nicht-lineare Systemverhalten muss Folge des komplexen Wechselspiels zwischen den Teilprozessen sein.

Aber auch die Sedimentzusammensetzung und damit die Zusammensetzung von potenziellem Baggergut unterliegt dem Einfluss von Oberwasserzufluss und Wassertemperatur. Bei Auswertungen von Sedimentproben der Gewässersohle in diesem Elbeabschnitt vor Wedel ist festgestellt worden, dass ein geringer Oberwasserzufluss in Verbindung mit hohen Wassertemperaturen einen ansteigenden Feinkornanteil im potenziellen Baggergut bewirkt. An dieser Stelle ist es nun geboten, ebenfalls die Qualität des potenziellen Baggerguts zu betrachten, denn vorwiegend feststoffgebundene Schwermetalle und die im Projekt untersuchten organischen Schadstoffe reichern sich bevorzugt in der Feinkornfraktion < 20 µm von Sedimenten und Schwebstoffen an. Entsprechende Auswertungen zeigen ebenfalls eine Oberwasserabhängigkeit der Belastung schwebstoffbürtiger Sedimente mit Schadstoffen. Diese wird an verschiedenen Dauermessstationen der BfG sowie der Flussgebietsgemeinschaft Elbe entlang der Tideelbe erfasst und analysiert. Quellregion der meisten Schadstoffgruppen ist das Elbeeinzugsgebiet. Höhere Abflüsse führen zu einem erhöhten Eintrag schadstoffbelasteter Schwebstoffe. In Abbildung 3 sind nun zusätzlich die an den BfG-Dauermessstationen Geesthacht und Wedel erfassten Schadstoffgehalte am Beispiel von Cadmium aufgetragen.

Die am Wehr Geesthacht gelegene Station erfasst die Eingangsgehalte aus dem Einzugsgebiet in das Ästuar. Weiter stromabwärts im hier untersuchten Elbeabschnitt vor Wedel werden die Schadstoffgehalte an der BfG-Dauermessstation Wedel erfasst. Die Konzentrationen bei Wedel im Vergleich zur Station Geesthacht sind geringer. Ursache hierfür ist eine Vermischung der fluviatilen Schwebstoffe mit stromauf transportierten, marinen und daher geringer belasteten Schwebstoffen. Bei hohen Oberwasserzuflüssen ist jedoch ein Anstieg der Schadstoffbelastung deutlich zu erkennen. Zum einen kommt es dann zu einer verstärkten Mobilisierung von schadstoffbelasteten Feinsedimenten im Einzugsgebiet. Zum anderen bewirkt der hohe Oberwasserzufluss einen verminderten Stromauftransport von marinen Schwebstoffen in den Elbeabschnitt vor Wedel (siehe auch Erläuterungen zu Abbildung 2). Vergleicht man den zeitlichen Verlauf der an der Station Wedel erfassten Schadstoffbelastung und der Sohlhöhenänderung

im Elbeabschnitt vor Wedel, so ist zu erkennen, dass beide Kurven sich in der Tendenz gegenläufig entwickeln, also geringe Sedimentationsraten zu Zeiten höherer Belastungen und umgekehrt auftreten.

Schlussfolgerungen

Quantität und Qualität des potenziellen Baggerguts sind zentrale Vorgaben für ein Baggergutmanagement. Die hier dargestellten, ersten Ergebnisse verdeutlichen, dass ein sich veränderndes Klima Haushalt und Qualität der Sedimente – also auch potenzielles Baggergut – beeinflussen wird. Damit haben die bisher in den Projekten 3.03 und 3.06 durchgeführten Untersuchungen die Notwendigkeit einer Anpassung der dem Baggergutmanagement zugrunde liegenden Konzepte bzw. Strategien aufgezeigt. Art und Umfang der Anpassungsoptionen werden abhängig von der Stärke des Klimaänderungssignals und den Zukunftsprojektionen von Oberwasserzufluss, Wassertemperatur und Meeresspiegellage sein.

In der Zusammenfassung zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass unter der häufig genannten Annahme von zukünftig wärmeren und niederschlagsärmeren Sommern ein Anstieg der Unterhaltungsbaggermengen im Elbeabschnitt vor Wedel möglich sein kann und mit vermutlich feineren Korngrößen beim Baggergut zu rechnen ist. Negative Auswirkungen auf die Qualität der zu baggernden Sedimente sind dagegen bei dieser Annahme nicht zu erwarten. Im Fall von niederschlagsreicheren Wintern mit höheren Abflüssen im Einzugsgebiet der Elbe ist jedoch mit erhöhten Schadstofffrachten in das Ästuar zu rechnen. Nicht in die Formulierung dieser ersten qualitativen Auswirkungsprognose eingeflossen ist der zukünftig veränderte Meeresspiegel, wie dieser gemeinsam in dem KLIWAS-Projekt 2.04 untersucht wird. Um diesen Aspekt sollen die Untersuchungen aber noch bis zum Projektabschluss von KLIWAS Ende 2013 ergänzt werden.

Danksagung

Die Durchführung der in diesem Bericht beschriebenen Untersuchungen war nur durch Bereitstellung umfangreicher Messdaten möglich, welche durch die Hamburg Port Authority sowie das WSA Hamburg erfasst worden sind. Bei beiden Organisationen möchten sich an dieser Stelle die Projekte 3.03 und 3.06 für die Unterstützung bedanken.

Literatur

- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2008): WSV-Sedimentmanagement Tideelbe, Strategien und Potenziale eine Systemstudie. Ökologische Auswirkungen der Umlagerung von Wedeler Baggergut, BfG-1584, Koblenz.
- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2011): Untersuchungen der Dynamik von Transportkörpern sowie deren Oberwasserabhängigkeit an ausgewählten Flussabschnitten der Tideelbe, BfG-1710, Koblenz.
- ENTELMANN, I. (2010): WI-Einsatz im Kontext des Strombau- und Sedimentmanagementkonzeptes Tideelbe. Beitrag zur BfG-Veranstaltung Umweltauswirkungen von Wasserinjektionsbaggerungen, BfG-2/2011, Koblenz.
- GKSS (2007): Sedimenttransportgeschehen in der tidebeeinflussten Elbe, der Deutschen Bucht und in der Nordsee, GKSS Forschungszentrum Geesthacht, GKSS 2007-20, Geesthacht.
- NASNER, H. (1974): Über das Verhalten von Transportkörpern im Tidegebiet. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurswesen der technischen Universität Hannover, Heft 40, Hannover.
- WESSELING, C. & A. W. E. WILBERS (2000): Handleiding DT2D versie 2.3. Software voor dune-tracking in twee dimensies. Manual. Utrecht.

■ ZORNDT, A. (2009): Einfluss hydrodynamischer Randbedingungen auf die Mobilität von Transportkörpern in der Tideelbe bei Hamburg. Leibniz Universität Hannover. Diplomarbeit, Hannover.

Sensitivitätsstudie zum Einfluss von veränderten Abflüssen auf den Transport von Salz, Schadstoffen und Sedimenten in den Nordseeästuaren sowie Ausblick auf Anpassungsoptionen

Norbert Winkel, Benjamin Fricke, Fred Hesser, Ingrid Holzwarth, Ariane Paesler, Annette Schulte-Rentrop, Aissa Sehili, Rita Seiffert, Guntram Seiß & Holger Weilbeer (alle BAW)

1 Einleitung

Die Deutschen Küsten von Nord- und Ostsee einschließlich der Ästuare werden in weiten Bereichen als Seeschifffahrtsstraßen genutzt. Der Klimawandel kann zu erheblichen Betroffenheiten für die Schifffahrt und den Zustand der Wasserstraßen führen. Für diese Betroffenheiten stehen die Stichworte: Deichsicherheit, Veränderung der Wasserstände, Zunahme der Strömungen, große unerwünschte Sedimentumlagerungen, Zunahme der Nassbaggermengen, Sicherung der Ufer und Bauwerke sowie veränderte nautische Zugangsbedingungen zu den Häfen. Die durch einen Klimawandel veränderte hydrologische Situation zeitigt Konsequenzen für Betrieb, Unterhaltung und Ausbau der Seeschifffahrtsstraßen. Deshalb ist das zukünftige Management für die Reviere auf wissenschaftliche Erkenntnisse angewiesen. Politische Weichenstellungen für die langfristige Entwicklung des Seeverkehrs erfordern rechtzeitig erarbeitete, fachlich gesicherte Grundlagen.

Für das Spektrum möglicher Klimaentwicklungen ist ein Spektrum möglicher Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Diese können schon gegenwärtig in einem übergreifenden Management für Seeschifffahrtsstraßen, für Hafenkonzepte und Industrieansiedlungen Berücksichtigung finden. Sehr wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, dass Planungs- und Entscheidungsgrundlagen für zukünftig erforderliche Vorsorgemaßnahmen erarbeitet werden.

2 Untersuchungskonzept

Die Verhältnisse an der Deutschen Küste werden maßgeblich durch die Lage des mittleren Meeresspiegels geprägt. Für diesen wichtigen Parameter sind die Prognosen bezogen auf einen möglichen Klimawandel unsicher (Heinrich et al. 2012, in diesem Band). Es gibt eine Bandbreite von möglichen Veränderungen (GÖNNERT 2009). Damit geprüft werden kann, ob und unter welchen Umständen sich eine Betroffenheit der Wasserstraßen in der Deutschen Bucht, den Nordseeästuaren sowie der Ostsee einstellen kann, wird im Rahmen von KLIWAS die gesamte Bandbreite von möglichen Veränderungen, die sich aus der Klimafolgenforschung ergibt, mit Hilfe von Sensitivitätsstudien (KWADIJK et al. 2010) untersucht. Diese Studien beinhalten alle für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs relevanten Parameter wie Wasserstand, Strömung, Salzgehalt und Sedimenttransport. Die Untersuchung wird mit den schon in vielen WSV-Projekten bewährten Modellen für Nordund Ostsee sowie die Ästuare Ems, Jade-Weser und Elbe durchgeführt. Die Ergebnisse aus den mit diesen Modellen simulierten Studien, die für jeden Berechnungspunkt und Zeitschritt zur Verfügung stehen, werden analysiert und als Tidekennwerte dargestellt. Die Tidekennwerte können dann mit den Bemessungsparametern von Infrastrukturelementen der Wasserstraßen zur Ermittlung der Betroffenheit in Beziehung gesetzt werden. Die Ermittlung der Betroffenheit genauso wie die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen kann nur in Zusammenarbeit mit der WSV erfolgen. Dafür sollen alle notwendigen Daten der WSV so zur Verfügung gestellt werden, dass sie z. B. mit Geoinformationssystemen weiterverarbeitet werden können.

In die modellbasierten Sensitivitätsstudien geht nicht nur die Bandbreite eines möglichen Meeresspiegelanstiegs sondern auch die Bandbreite möglicher Windgeschwindigkeiten (BECKER 2012, in diesem Band) sowie Abflussveränderungen aus der Modellkette Binnenland (HORSTEN et al. 2012, in diesem Band) ein. Außerdem werden die Einflussparameter auch miteinander kombiniert.

3 Sensitivitätsstudie Meeresspiegelanstieg

Um den Einfluss eines Meeresspiegelanstiegs im Atlantik auf die Gezeiten in der Nordsee zu untersuchen, sind mit dem mathematischen Modell der Nordsee zwei Simulationen durchgeführt und miteinander verglichen worden. Zuerst ist der gegenwärtige Zustand simuliert worden und dann ein Zustand bei einem Meeresspiegelanstieg. Dafür wird am "atlantischen" Rand des Nordseemodells ein Meeresspiegelanstieg von 80 cm auf die eingesteuerten Zeitreihen des Wasserstandes addiert. Dieser Betrag, der der Übersicht für die Deutsche Bucht von Gönnert et al. (2009) entnommen ist, entspricht den aktuellen Abschätzungen des IPCC (2007).

Diese lineare Anhebung des Wasserstandes am Rand der Nordsee pflanzt sich nicht linear bis zu den deutschen Ästuaren fort. In Abb. 1 ist zu erkennen, wie sich ein Meeresspiegelanstieg von 80 cm auf das Tideniedrigwasser (Thw) in der Deutschen Bucht mit den angeschlossenen Ästuaren auswirkt. Überall dort, wo in der Deutschen Bucht weiße Flächen ausgewiesen werden, verschiebt sich das Tnw nur um den Betrag des Meeresspiegelanstiegs. Rot weist Flächen aus, wo das Tnw um mehr als 80 cm angehoben wird und blau um weniger als 80 cm.

Im Bereich des Pegels Brake in der Unterweser sind blaue Flächen zu sehen (Abb. 1), was darauf hinweist, dass das Tideniedrigwasser um weniger als 80 cm angehoben wird. Gleichzeitig ergibt dort die Analyse des Tidehochwassers (Thw) eine Anhebung um etwas mehr als 80 cm, was insgesamt zu einem größeren Tidehub führt. Außerdem verschiebt sich die Eintrittszeit des Thw, wodurch der Flutast steiler wird. Damit wird die Asymmetrie der Tidekurve verstärkt. Die Flutstromdauer verkürzt sich, was durch die Verschiebung der Kenterpunkte belegt wird. Die Flutstromgeschwindigkeit wird dadurch insgesamt größer als die Ebbstromgeschwindigkeit.

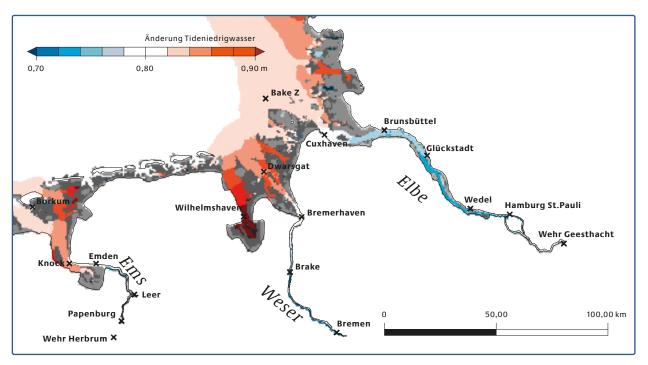


Abb.1: Änderung des Tideniedrigwassers bei einem Meeresspiegelanstieg von 80 cm.

Der Vergleich der mittleren Schwebstoffgehalte ergibt für den Zustand mit einem Meeresspiegelanstieg Abnahmen im Bereich des Blexer Bogens und Zunahmen bei Brake. Diese Veränderungen weisen auf eine Verschiebung der Trübungszone nach stromauf hin. Für die Unterhaltung entsteht damit eine ungünstige Situation, denn dadurch müsste im oberen Teil des Ästuars mehr gebaggert werden.

Die durch einen Meeresspiegelanstieg veränderte Tidedynamik wird nicht nur dazu führen, dass sich die Trübungszone sondern auch die Brackwasserzone nach oberstrom verlagert. Dadurch können sich folgende Einschränkungen ergeben:

- in der Elbe für die Frostschutzberegnung der Obstplantagen oder als Prozesswasser für die Industrie,
- in der Weser für die Viehtränke und
- in der Ems bei der Unterbringung von Baggergut an Land, da hier ein Salzgehaltsgrenzwert zu beachten ist.

Die Auswirkungen eines Meeresspiegelanstiegs sind in den drei Nordseeästuaren vergleichbar. Sie haben aber eine unterschiedliche Charakteristik, die insbesondere durch die Lage und die Ästuargeometrie bestimmt wird. Außerdem ist bei der Untersuchung eines Meeresspiegelanstiegs die Wechselwirkung mit dem Oberwasserzufluss zu beachten.

4 Sensitivitätsstudie Oberwasserzufluss

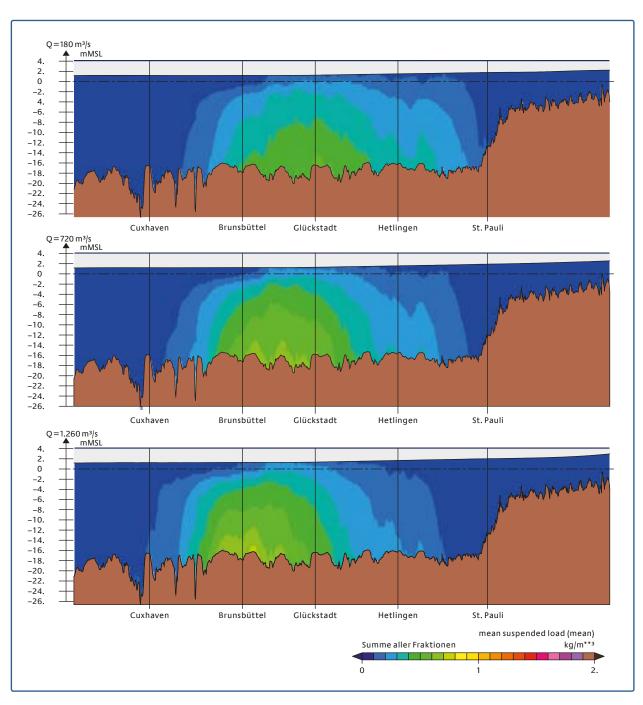
Die Auswirkungen von veränderten Oberwasserzuflüssen sind in den Ästuaren vergleichbar. Die unterschiedliche Charakteristik ist dabei nicht nur von der Geometrie abhängig sondern auch vom Abfluss selber, da dieser im besonderen Maße vom Einzugsgebiet der Flüsse geprägt wird. Die Lage und Größe der Einzugsgebiete der Flüsse bestimmen die Menge und Qualität des Abflusses, der als Oberwasserzufluss über das Wehr

- bei Geesthacht in die Tideelbe,
- bei Hemelingen in die Tideweser und
- bei Herbrum in die Tideems

fließt. Unter natürlichen Verhältnissen bestimmen der Oberwasserzufluss und die Gezeiten die Lage der Brackwasserzone. Die Brackwasserzone passt sich veränderten Situationen an; z. B. bei einem abnehmenden Oberwasserzufluss verlagert sie sich nach oberstrom. Die Verlagerung der Brackwasserzone durch Advektion und turbulente Vermischung erfolgt nicht instantan, sondern unterliegt einer Trägheit. Bei einem gleichbleibenden Oberwasserzufluss sowie einem gleichförmigen Spring-Nippzyklus stellt sich erst nach einer Zeitspanne (abhängig von Historie in Kombination mit der Oberwassermenge) eine quasi stationäre Lage der Brackwasserzone ein. An einem Ort innerhalb der Brackwasserzone ist dann der maximale Salzgehalt abhängig von der jeweiligen Höhe der auflaufenden Tide.

Der Oberwasserzufluss beeinflusst wie der Meeresspiegel nicht nur die Brackwasserzone, sondern auch die Trübungszone. Dieser Einfluss ist für die drei Ästuare untersucht worden. Daraus sind beispielhaft für die Elbe die mittleren Schwebstoffkonzentrationen für verschiedene Oberwassermengen in Abb. 2 im Tiefenprofil entlang der Fahrrinnenmitte von der Elbmündung bis zum Wehr bei Geesthacht dargestellt. Die berechneten Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmender Oberwassermenge die Trübungszone stromab verschoben wird. Allgemein kann daraus abgeleitet werden, dass hohe Oberwasserzuflüsse zu einer Entlastung der Unterhaltungssituation insbesondere im oberen Teil der Ästuare führen.

Bei großen Oberwasserzuflüssen werden aber von einigen Schadstoffen, z.B. Cadmium, Quecksilber, Zink, Hexachlorbenzol, Verbindungen der DDT-Gruppe, die die Hauptquelle im Oberlauf der Elbe haben, große Mengen in die Tideelbe eingetragen (ACKERMANN UND SCHUBERT 2007). Von oberstrom kommend lagern sich die feststoffgebundenen Schadstoffe in strömungsruhigen Zonen wie z.B. Hafenbecken ab, die bei einer Unterhaltung zu einer Belastung des Baggergutes führen.



 $\textbf{Abb. 2:} \ \ \text{Mittlere Schwebstoffkonzentration in der Elbe von der M\"{u}ndung bis zum Wehr bei Geesthacht als Tiefenprofil in Fahrrinnenmitte. Oben bei einem Oberwasserzufluss von 180 m³/s, in der Mitte bei 720 m³/s und unten bei 1.260 m³/s.$

5 Ausblick auf Anpassungsoptionen

Um den stromaufwärtsgerichteten Transport von Feststoffen zu reduzieren, haben Hamburg Port Authority und die WSV gemeinsam ein Konzept für die Elbe entwickelt, das im Wesentlichen auf drei Eckpunkten beruht:

- Optimierung des Sedimentmanagements unter Berücksichtigung des Gesamtsystems,
- Dämpfung der einschwingenden Tideenergie durch Maßnahmen im Mündungsbereich und
- Schaffung von Flutraum im oberen Teil des Ästuars.

Diese Eckpunkte sind auch Grundlage für Konzepte an Ems und Weser, wie z.B. für das Aktionsprogramm Ems. Die im Rahmen dieses Konzeptes entwickelten Maßnahmen sollen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit unter durch den Klimawandel bedingten Veränderungen untersucht werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse haben gezeigt, dass Sensitivitätsstudien eine adäquate Methode sind, um Betroffenheiten durch mögliche Folgen eines Klimawandels festzustellen. Die Sensitivitätsstudien können jederzeit dem neusten Stand der Klimaforschung angepasst und ergänzt werden. Dabei können die bisherigen Erkenntnisse weiter genutzt werden.

Die eingesetzten Methoden und Verfahren der BAW ermöglichen es, die Entwicklung eines aus dem Atlantik durch die Nordsee in die Ästuare laufenden Signals zu verfolgen und zu bestimmen. Dadurch, dass in den BAW-Modellen die Wechselwirkung zwischen Hydrodynamik und Sedimenttransport berücksichtigt wird, kann der für die dargestellten Untersuchungen notwendige ganzheitliche Ansatz gewährleistet werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Untersuchungsergebnisse auch für z. B. ökologische Fragestellungen zu nutzen. Damit dieses Potenzial auch ausgeschöpft werden kann, werden Untersuchungskonzepte für bestimmte Frage-

stellungen gemeinsam mit anderen KLIWAS-Projekten abgestimmt. Diese Abstimmung wird nicht nur innerhalb von KLIWAS praktiziert sondern auch z.B. mit dem Biozentrum Grindel der Universität Hamburg im Rahmen von KLIMZUG-Nord, wo die BAW ebenfalls Projektpartner ist.

Im Rahmen von Sensitivitätsstudien ist der Einfluss eines Meeresspiegelanstiegs und veränderten Oberwasserzuflüssen auf die Verhältnisse in den Nordseeästuaren untersucht worden. Durch einen Meeresspiegelanstieg und/oder geringe Oberwasserzuflüsse wird sich die Brackwasser- bzw. die Trübungszone stromaufwärts verlagern. Diese Verlagerung wird sich negativ auf die Unterhaltung der Wasserstraße sowie die Nutzung von Wasser aus den Ästuaren auswirken. Höhere Abflussraten wirken sich dagegen grundsätzlich positiv aus, wobei aber mehr Schadstoffe aus dem Oberlauf der Elbe in die Tideelbe transportiert werden.

Schon heute muss die Unterhaltung der Wasserstraße flexibel auf veränderliche Abflüsse reagieren. Die Möglichkeit einer flexiblen Unterhaltung sollte bei der Entwicklung eines Sedimentmanagementkonzeptes als Teil eines integrierten Bewirtschaftungsplans im Hinblick auf den Klimawandel berücksichtigt werden. Strombaumaßnahmen, die heute entwickelt werden, sollten auch auf ihre Wirkung bezogen auf die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen geprüft werden.

Literatur

- ACKERMANN, F. & B. SCHUBERT (2007): Trace metals as indicators for the dynamics of (suspended) particulate matter in the tidal reach of the River Elbe. In: U. Förstner & B. Westrich (ed.): Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers, Chapter 7.4, S. 926–304. Springer-Verlag Berlin, ISBN 978-3-540-34782-8.
- BECKER, P. (2012): Die deutsche Klima- und Klimafolgenforschung wo stehen wir? In diesem Band.

- GÖNNERT, G., JENSEN, J., VON STORCH, H., THUMM, S., WAHL, T. & R. WEISSE (2009): Der Meeresspiegelanstieg. Ursachen, Tendenzen und Risikobewertung. Die Küste 76. 225–256. 2009.
- HEINRICH, H., KLEIN, B., GANSKE, A., HÜTTL-KABUS, S., MÖLLER, J., SCHADE, N., KLEIN, H., ROSENHAGEN, G., TINZ, B., MIKOLAJEWICZ, U. & D. SEIN (2012): Aktueller Stand der Meeresspiegel-Projektionen für den nordwesteuropäischen Schelf. In diesem Band.
- KWADIJK, J. C. J. et al. (2010): Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study for the Netherlands. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. Vol. 1, Issue 5, pages 729–740. September/October 2010.
- HORSTEN, T., NILSON, E., EBNER VON ESCHENBACH, A. D., BELZ, J.-U. & M. LARINA (2012): Änderung der Wasserhaushaltskomponenten im Elbegebiet Herausforderungen und Lösungsansätze. In diesem Band.
- WINTERSCHEID, A., GEHRES, N. & C. KLEISINGER (2012): Untersuchung zum Einfluss des Klimawandels auf Haushalt und Qualität der Sedimente am Beispiel der Tideelbe. In diesem Band.

Konsequenzen für das weitere Handeln – Diskussion und Ausblick

Verkehrswissenschaftliche Aspekte bei der Klimaanpassung

Karl-Hans Hartwig (Univ. Münster)

Thesen für den Impulsvortrag zur Podiumsdiskussion

1.

Mobilität als Raumüberwindung von Personen und Gütern ist eine zentrale Voraussetzung für Wohlstand und Wachstum von Gesellschaften. Aus verkehrsökonomischer Sicht erfüllt die Schifffahrt – Binnenschifffahrt, Küstenschifffahrt und Seeschifffahrt – für Europa wichtige Funktionen bei der Befriedigung von Transportbedürfnissen, vor allem bei Massengütern und Containern. Bei hoher Auslastung ist sie das betriebs- wie volkswirtschaftlich kostengünstigste Transportmittel mit relativ geringem Energiebedarf und geringen Schadstoffemissionen

2.

Voraussetzung für eine leistungsfähige Schifffahrt ist eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur wie Fahrrinnen und Flussbetten, Schleusen und Brücken, Häfen und Kaianlagen, Deiche und Liegeplätze.

3.

Die Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur wird durch den Klimawandel beeinträchtigt. So verursacht der Klimawandel Änderungen der Abflüsse und Wasserstände für die Binnenschifffahrt und Veränderungen von Wind, Strömungen, Seegang und Wasserständen für die Küstenschifffahrt. Das Ergebnis sind sowohl niedrigere und höhere Wasserstände als auch längere Phasen vor allem von Niedrigwasser.

4.

Kommt es durch den Klimawandel vermehrt zu Niedrigwasser, verringert sich die Ladekapazität der bestehenden Flotte und damit das effektive Angebot an Transporten. Die Angebotsverringerung führt am Transportmarkt zu steigenden Preisen. Die steigenden Preise bewirken einen Rückgang der Nachfrage nach Schiffstransporten und eine Veränderung des Modal Split. Verstärkt wird dieser Effekt bei Unsicherheiten über die Wasserstände, weil für die Verlader die Transportkostenrisiken ebenso zunehmen wie die Risiken der Zuverlässigkeit der Transporte.

5.

Der Klima bedingte Kostenanstieg für die Schifffahrt, vor allem aber die Verlagerung von Transporten auf Straße und Schiene verursachen Wohlfahrtsverluste: zum einen, weil damit die Frachtraten für alle Verkehrsmittel steigen, zum anderen, weil nachfragebedingt zunehmende Engpässe im Straßen- und Schienennetz und die CO_2 -Emissionen des Straßen- und Schienenverkehrs dessen externe Kosten weiter erhöhen.

6.

Eine Verkehrspolitik, die bedarfsgerechte und reibungsfreie Verkehrsabläufe mit möglichst geringen Umweltbelastungen erreichen will, muss nach Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel suchen. Ein zentrales Element sind infrastrukturelle Maßnahmen für die Schifffahrt, da der Klimawandel die Funktionsfähigkeit der Infrastrukturbauwerke beeinträchtigt.

7.

Vor allem infrastrukturelle Anpassungsmaßnahmen verursachen hohe Kosten. Daher ist bei ihrem Einsatz sicherzustellen, dass die generierten Nutzen die Kosten übertreffen, um Wohlfahrtsverluste für die Gesellschaft zu vermeiden. Gleichzeitig sind entsprechende Maß-

nahmen rechtzeitig zu ergreifen, denn sie benötigen aufgrund ihres investiven Charakters einen hohen Vorlauf und eine lange Amortisationsdauer.

8.

Erforderlich für eine effiziente Verkehrspolitik sind möglichst genaue numerische Kenntnisse der Wirkungskette: Klimawandel – Abflüsse und Wasserstände – Transportkosten – Frachtraten – Anpassungsreaktionen von Schifffahrt und Verladern – volkswirtschaftliche Effekte – Nutzen und Kosten von verkehrspolitischen Anpassungsmaßnahmen.

9.

Genau an dieser Wirkungskette setzt das Forschungsprogramm KLIWAS "Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland – Entwicklung und Anpassungsoptionen" an. Es versucht, die Wirkungszusammenhänge möglichst umfassend und exakt zu bestimmen. KLIWAS ist daher ein Forschungsprogramm mit einer dezidiert verkehrsökonomischen Ausrichtung. Seine empirisch belastbaren Ergebnisse sind wichtige Voraussetzungen für rationale Anpassungsstrategien von Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik.

Umgang mit Unsicherheiten aus wissenschaftlicher und politikberatender Sicht

Petra Mahrenholz (UBA)

1 Einleitung

Da der politikberatende Auftrag zu Umweltfragen im Errichtungsgesetz des Umweltbundesamtes verankert ist, gehört die Kommunikation von wissenschaftlichen Ergebnissen an politische Entscheidungsträger seit fast 40 Jahren zum Kerngeschäft seiner Mitarbeitenden. Weil diese wissenschaftlichen Ergebnisse oft mit Unsicherheiten behaftet sind - wie die Wirkungsabschätzung von Chemikalien oder auch Projektionen zum künftigen Klima und seinen Folgen – gibt es im Umweltbundesamt viele Erfahrungen mit guter wie mit misslungener Kommunikation von Unsicherheiten. Diese Erfahrungen bilden die Grundlage des vorliegenden Artikels und basieren insbesondere auf eigener Arbeit mit nationalen und internationalen Institutionen, wie verschiedenen Interministeriellen Arbeitsgruppen des Bundes zu Klimafragen, dem IPCC oder den Gremien der UN-Klimarahmenkonvention.

2 Komplexe Probleme, die Forderung nach "vollständigen Erkenntnissen" und der Vorsorgeansatz

Der Bund hat 2008 die Deutsche Strategie zur Anpassung an den Klimawandel beschlossen. Das setzte voraus, dass alle beteiligten Bundesministerien den Klimawandel nicht nur als real existierende Herausforderung der nächsten Jahrhunderte sondern auch sein Ausmaß und jenes seiner Folgen anerkannten und zwar unter der Randbedingung einer unsicheren Faktenlage. Dieses Anerkennen bildet nun die Grundlage für Anpassungsentscheidungen: Der Bund beschloss in den Grundprinzipien der Strategie, wissensbasiert, vorsorgeorientiert, zukunftsfähig und verhältnismäßig über

integrierte Anpassungskonzepte unter Unsicherheit zu entscheiden (Deutscher Bundestag 2008).

Warum ist das der einzig gangbare Weg mit der Herausforderung des Teiles des Klimawandels umzugehen, der nicht mehr vermeidbar ist? Wir wissen einerseits, dass Politik in Zeiten immer knapper werdender Ressourcen immer komplexere Probleme lösen muss. Politische Entscheidungsträger erwarten deshalb sicheres Wissen für Entscheidungen. Beispielsweise forderte Staatssekretär Klaus-Dieter Scheurle in seinem Eröffnungsstatement "KLIWAS soll möglichst belastbare Aussagen zu Klimafolgen liefern". Hans Moser (Bundesanstalt für Gewässerkunde) zitierte im selben Zusammenhang die Berlin-Brandenburgische Akademie: Entscheidungen verlangten eine "... verlässliche Kenntnis des Regelungsstandes sowie eine vollständige Vorstellung über Regelungsoptionen ...". Andererseits bringt Forschung und Entwicklung neben Wissen immer auch Einsicht in die Grenzen dieses Wissens hervor. Sokrates formulierte "Ich weiß, dass ich nichts weiß." Albert Einstein präzisierte "Je mehr ich weiß, desto mehr erkenne ich, dass ich nichts weiß."

Daraus leitet sich mein erstes Argument ab: "Vorhandene Unsicherheit" bedeutet nicht die "Abwesenheit von Wissen", sondern lediglich die Gewissheit, dass Wissen begrenzt ist und immer sein wird. Die Klimawissenschaft kann deshalb per se keine sicheren Klimaprojektionen liefern.

Diese Einsicht scheint auf den ersten Blick wie ein Dilemma. Es ist aber keines, weil wir die Wahl zwischen Entscheidungen haben, die mit Eintrittswahrscheinlichkeiten für Risiken und Chancen unterlegt sind. Ein Dilemma wäre es, wenn wir uns bei der Wahl zwischen zwei positiven Möglichkeiten – die Vulnerabilitätsforschung bietet klare Lösungsoptionen – nicht entscheiden könnten, weil die Wahlnotwendigkeit selbst ein Ergebnis unmöglich machte. Ein klassisches Beispiel hierfür ist das Dilemma von Buridans Esel, der exakt zwischen zwei gleichen Heuhaufen stand und verhungerte, da er sich mangels einleuchtenden Grundes, entweder vom linken oder vom rechten Haufen zu fressen, für keinen der beiden entscheiden konnte.

Wir aber können entscheiden, weil die Wissenschaft robuste Trends zu Klimaänderungen und seinen Folgen sowie ein ganzes Optionenset anbietet, auf den Klimawandel zu reagieren, um Risiken zu mindern und Chancen auszubauen. Wichtig sind Fortschreibungsintervalle beispielsweise für eine Anpassungsstrategie, so dass bei Erkenntniszuwachs dieses Set von Wahlmöglichkeiten flexibel weiterentwickelt und umgesetzt wird.

Wer Maßnahmenpläne entwickelt, priorisiert erst Risiken, dann Maßnahmen und bewertet Entwicklungen wie Entscheidungen immer wieder mit Blick auf das Politikziel. Die schematische Darstellung des Politikentscheidungszyklus macht dieses Vorgehen deutlich (Abb. 1).

In diesem Prozess der Bewertung und Priorisierung spielen Werte und Interessen der beteiligten Entscheidungsträger eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Sollten dann im ungünstigsten Falle Verhandlungsergebnisse entstehen, die die ursprünglich adressierten relevanten Fragen nicht wirksam lösen, kommt zu den wissenschaftlichen Unsicherheiten noch eine zusätzliche Unschärfe durch normative Entscheidungen hinzu. Im wissensbasierten Entscheidungsprozess verbleiben Unsicherheiten.

Jedes Ding hat zwei Seiten. Das gilt auch für Unsicherheiten. Nur wer die gesamte Bandbreite beispielsweise von Klimaprojektionen und deren Folgen kennt, hat Einblick in das Spektrum dessen, was auf uns zukommen könnte. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit für umsichtiges, vorsorgendes Handeln, welches beide "Ränder" des Spektrums mit einbezieht. Das führt zum zweiten Argument: Die Kenntnis der quantifizierten und/oder qualifizierten Unsicherheiten kann den Vorsorgeansatz motivieren.

Die Bandbreiten künftiger Entwicklungen können also – neben der unbefriedigenden Erkenntnis, nicht alles zu wissen – weitaus mehr liefern. Sie enthalten wichtige Informationen für klimarobuste Maßnahmenentscheidungen. Klimarobuste Maßnahmen – auch noregret-Maßnahmen genannt, wie Warnsysteme – sind beispielsweise wirkungsvoll bei Hoch- wie bei Niedrig-

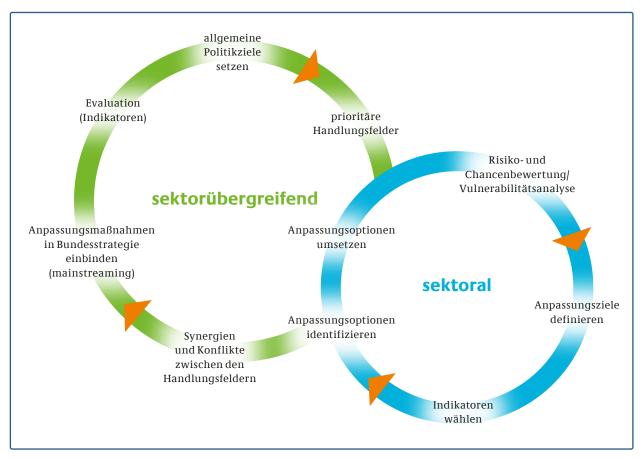


Abb. 1: Politikentscheidungszyklus bei der Identifizierung und Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (HARLEY et al. 2008).

wasser und bringen schon auf kurze Sicht Vorteile. Deshalb hat der Bund für die Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie festgeschrieben, Chancen und Risiken frühzeitig zu erkennen, um vorsorgend tätig zu werden und auch im Klimawandel zukunftsfähig zu sein (DEUTSCHER BUNDESTAG 2008). Während der Bund eine solche zukunftsfähige, das heißt wirtschaftlich leistungsfähige, sozial verantwortliche Gesellschaft mit intakter Umwelt anstrebt, sollten Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen "im vernünftigen Verhältnis" stehen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2011). Die hier vorhandene Lücke oftmals fehlender Kosten-Nutzen-Analysen durch

verstärkte Forschungsanstrengungen zu schließen, bleibt ein Forschungsschwerpunkt.

3 Alltagspraxis und wie beginnen?

Mit dem dritten Argument ordne ich das Unsicherheitsproblem in unsere Alltagspraxis ein. Unsere Gesellschaft ist gewohnt, Unsicherheiten in Entscheidungen einzubinden. Paul Becker (Deutscher Wetterdienst) bemerkte während der Eröffnung der KLIWAS-Status-Konferenz, Wirtschaft sei schwieriger zu projizieren als Klima. Beider treibende Kräfte, determinierende Prozesse und Randbedingungen sind in unterschiedlichem Maße bestimmt oder auch bestimmbar. Als Bespiel einer Entscheidung unter Unsicherheit sei hier der Beschluss des Europäische Rats vom 26.10.2011 zur Schuldenkrise angeführt: Griechenland wird die Hälfte seiner Ausstände erlassen und der European Financial Stability Facility (EFSF) wird auf bis zu eine Billion Euro gehebelt (EU CONCIL 2011).

Wichtig bei Entscheidungen unter Unsicherheit ist, offensiv mit der Unsicherheit umzugehen und die Entscheidungen transparent zu machen. Das ist mutig, erhöht Vertrauen und funktioniert, wenn die inhärenten Unsicherheiten präzise, verständlich und konsistent kommuniziert werden.

Ein Beispiel vorbildlicher Kommunikation von Unsicherheiten liefert der Deutsche Wetterdienst, dessen probabilistische Szenarien zur künftigen Klimaentwicklung Entscheidungsgrundlage für den Aktionsplan Anpassung des Bundes im August 2011 waren: "Für den Zeitraum 2071–2100 kann eine Temperaturerhöhung von mindestens 1,5 °C und maximal 3,5 °C in Norddeutschland bzw. 4 °C in Süddeutschland als wahrscheinlich angesehen werden." (Deutscher Bundestag 2011). Der Nachteil solcher Szenarien besteht in ihrem sehr hohen Ressourceneinsatz. Ebenso braucht der Nutzer probabilistisch aufbereiteter Klimainformation Anleitung und Interpretationshilfe, um mit den Daten zu arbeiten (van Pelt et al. 2010).

Beides scheint im KLIWAS-Programm sehr gut angelegt, denn Staatssekretär Klaus-Dieter Scheurle sagte in seinem Eröffnungsstatement: "Auch im Angesicht der Unsicherheit ist die KLIWAS-Bandbreite eine belastbare Grundlage für Investitionsentscheidungen."

KLIWAS verfolgt einen integralen Ansatz, denn es betrachtet das gesamte Gewässersystem. Da KLIWAS Anpassungsmaßnahmen vorschlägt, die nicht nur auf Wasserstraßen als Schifffahrtswege wirken, sollte KLIWAS diese Wirkungen auch auf Naturschutz, Stadtplanung, Wasserhaushalt und Landnutzung untersuchen, Abflussverhältnisse im ökosystemaren Zusammenhang gesehen werden. Die Deutsche Strategie zur Anpassung an den Klimawandel verfolgt ebenfalls einen integrierten

Ansatz. Deswegen priorisiert die Strategie Maßnahmen, die Synergien zwischen verschiedenen Politikzielen liefern. Ein offener Dialog mit unterschiedlichen Interessenvertretern hilft, solche Maßnahmen (sogenannte win-win-Optionen) zu finden. Deshalb sollten die Stakeholder-Dialoge in KLIWAS fortgeführt werden, um Anpassungsmaßnahmen zu finden, die die Funktionsfähigkeit der Wasserstraßen sichern und die gleichzeitig möglichst viele Interessen wahren. Denn solche winwin-Maßnahmen können – neben zusätzlich befähigenden Maßnahmen für Anpassungsakteure, wie Wissenserhebung und -distribution - das Bündel bereits angedachter technischer Maßnahmen in KLIWAS sinnvoll ergänzen. Damit wäre auch der vierte Punkt klar. No regret- und win-win-Maßnahmen im Dialog zu suchen und mit der Umsetzung dieser Maßnahmen zu beginnen, ist eine erfolgreiche Strategie zur Anpassung an den Klimawandel.

4 Schlussfolgerung

Inhärente Unsicherheiten in Klima- und Anpassungspolitik sollten unseren Vorsorgeansatz motivieren. Sie sind insofern für unsere Gesellschaft nichts Außergewöhnliches. Letztendlich erhalten informierte, wissenschaftsbasierte Entscheidungen, die der Bund unter Risiko trifft, unsere Handlungsfähigkeit in der Zukunft.

Literatur

- DEUTSCHER BUNDESTAG (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Drucksache 16/11595. Berlin. 2008.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Drucksache 17/6550. Berlin. 2011.
- EU COUNCIL (2011): Euro Summit Statement, Brussels, 26 October 2011: http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/125644.pdf.

- HARLEY, M., L. HORROCKS, N. HODGSON & J. v. MINNEN (2008): Climate change vulnerability and adaptation indicators. ETC/ACC Technical Paper, p 7. 2008.
- VAN PELT, S., D. AVELAR, T. CAPELA LOURENÇO, M. DES-MOND, M. LEITNER, C. NILSSON & R. SWART (2010): Communicate uncertainties – design climate adaptation measures to be flexible and robust. Proceedings of CIR-CLE-2 workshop on uncertainties in climate change impacts, vulnerability and adaptation, Stockholm, 11–12 November 2010.

Zusammenfassung und Ausblick

Reinhard Klingen (BMVBS, Abteilungsleiter Wasserstraßen und Schifffahrt)

Entscheider in Politik und Verwaltung erhalten mit KLIWAS für die großen schiffbaren Gewässer eine deutlich verbesserte wissenschaftliche Entscheidungsgrundlage. Mit dem KLIWAS-Modellverbund können jetzt komplexe Berechnungen über den zukünftigen Klima bedingten Zustand der Gewässer schnell aktualisiert und neue Entwicklungen besser berücksichtigt werden. Die Ergebnisse werden eine wichtige Grundlage für unsere künftigen Investitionsentscheidungen, für die Aufgabenwirtschaftlichkeit und die Daseinsvorsorge rund um die Gewässer sein.

Für die aktuell anstehenden Investitionsentscheidungen lösen die vorliegenden Ergebnisse noch keine unmittelbaren Konsequenzen aus. Die von KLIWAS projizierten Klima bedingten Auswirkungen für die nächsten Jahrzehnte sind moderat. Dies kann mit den vorhandenen Planungswerkzeugen berücksichtigt werden. Wir werden bereits ab jetzt beginnen mit den neuen Erkenntnissen Vorschläge für ökologisch und ökonomisch geeignete Anpassungsmaßnahmen zu erarbeiten, da die Planung und Umsetzung größerer Anpassungsmaßnahmen Jahrzehnte dauern kann.

Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts müssen wir uns voraussichtlich auf weitergehende Anpassungsmaßnahmen einstellen. Wir werden also die heutigen Erkenntnisse mit den neuen Erkenntnissen und Werkzeugen von KLIWAS fortschreiben und bei zukünftigen Investitionen die Robustheit der Infrastruktur gegenüber möglichen Klimaveränderungen auf aktuellster Grundlage berücksichtigen. Dabei werden "Maßnahmen ohne Reue" ("no-regret") bevorzugt, also Maßnahmen, die bereits jetzt einen Nutzen entfalten und gleichzeitig der Anpassung an den Klimawandel dienen können.

Wir blicken also mit großem Interesse dem weiteren Fortschritt von KLIWAS entgegen. Diesen werden wir auf einer dritten Statuskonferenz im Herbst 2013 mit allen Interessierten in offener und konstruktiver Weise teilen, diskutieren und bewerten. Ich bedanke mich bei allen Beteiligten für ihr Engagement, Interesse und die rege Beteiligung und freue mich auf ein Wiedersehen.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 167

Abkürzungsverzeichnis

BASt Bundesanstalt für Straßenwesen

BAW Bundesanstalt für Wasserbau

BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumentwicklung

BfG Bundesanstalt für Gewässerkunde

BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

BSH Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

C-BSB₅ Menge an Sauerstoff, die innerhalb von fünf Tagen zum mikrobiellen Abbau von im Gewässer vorhandenen organischem Kohlenstoff benötigt wird.

CIS Common Implementation Strategy (WRRL)

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

DAS Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

DST Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg

DWD Deutscher Wetterdienst

DWD-SH Deutscher Wetterdienst – Seewetteramt Hamburg

GIQ Gleichwertige Wassermenge, definierter Niedrigwasserabfluss

GIW Gleichwertiger Wasserstand, definierter Niedrigwasserstand

GMS Großmotorgüterschiff

HFR Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

IKSD Internationale Kommission zum Schutz der Donau

IKSE Internationale Kommission zum Schutz der Elbe

IKSR Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

IPCC Inter-Governmental Panel on Climate Change

ITF International Transport Forum

OECD Organisation for Economic Cooperation and Development

KIT Karlsruher Institut für Technologie

KLIMZUG Forschungsprogramm des BMBF "Klimawandel in Regionen"

KLIWAS Forschungsprogramm des BMVBS "Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland"

MPI Max-Planck-Institut

MPI-M Max-Planck-Institut für Meteorologie

MQ Mittlerer jährlicher Abfluss

NM7Q kleinster über 7 Tage gemittelter Abfluss eines Bezugszeitraums

REMO regionales Klimamodell des MPI Meteorologie

SRES Special Report on Emissions Scenarios

UBA Umweltbundesamt

WMO World Meteorological Organisation

WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

WSD Wasser- und Schifffahrtsdirektion

WSV Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

ZKR Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

Glossar

Abfluss

Der Abfluss Q gibt das Volumen an, das einen bestimmten Querschnitt in einer Zeiteinheit durchfließt und einem Einzugsgebiet zugeordnet ist.

Abflussprojektion

 \rightarrow Projektion des \rightarrow Abflusses

Abflusssimulation

 \rightarrow Simulation des \rightarrow Abflusses

Ästuar

Trichterförmiger Bereich eines in das Meer mündenden Tideflusses

Bandbreite

hier: maximale Differenz zwischen dem jeweils kleinsten und größten Wert eines → Ensembles zu einem Zeitpunkt; z. B. Differenz zwischen dem kleinsten und größten vieljährig gemittelten Monatswert des → Abflusses.

Benthos

Das Benthos bezeichnet alle Lebewesen, die im Gewässer in der Bodenzone leben

Biotoptyp

Einheit einer in einem bestimmten Gebiet vorkommenden Lebensgemeinschaft z.B. Auwald oder Grünland

Chlorophyll

"Blattgrün", bezeichnet eine Klasse natürlicher Farbstoffe, die von Organismen gebildet werden, die Photosynthese betreiben

Downscaling

Methode zur Ableitung von lokalen oder regionalen Informationen aus großskaligen Modellen oder Daten (z. B. \rightarrow Globalmodelle). Zwei Hauptansätze werden unterschieden:

- a) Das Dynamische Downscaling verwendet
- \rightarrow Regionale Klimamodelle.
- b) Das Statistische (oder empirische) Downscaling verwendet statistische Beziehungen, die großskalige

atmosphärische Variablen mit lokalen/regionalen Klimavariablen verknüpfen.

Emissionsszenarien

- → Szenarien zukünftiger Emissionsmengen von
- \rightarrow Treibhausgasen; z. B. \rightarrow SRES.

Auf Grundlage der Emissionsszenarien werden Treibhausgaskonzentrationen berechnet, die letztlich Grundlage für Klimaprojektionen sind.

Ensemble (meteorologisch)

Eine Gruppe von parallelen → Modellsimulationen $f\ddot{u}r \rightarrow Projektionen oder \rightarrow Vorhersagen.$ Die → Bandbreite der Ergebnisse der einzelnen Ensemble-Läufe erlaubt die Einschätzung der Unsicherheiten. Ensembles, die auf ein und dem selben (Klima-)Modell beruhen, dessen Anfangsbedingungen jedoch variiert werden, charakterisieren die Unsicherheiten, die mit der internen Variabilität des modellierten Systems (z. B. des Klimasystems) verbunden sind. Multimodell-Ensembles, die auf Simulationen mit unterschiedlichen (Klima-)Modellen beruhen zeigen darüber hinaus die Unsicherheiten, die mit unterschiedlichen Modellversionen, -typen und -varianten einhergehen. Ensembles, bei denen einzelne Modellparameter in einer systematischen Art und Weise variiert werden (sog. Perturbed-parameter Ensembles) zielen darauf, eine objektivere Einschätzung der Modellunsicherheit zu geben als traditionelle Multimodell-Ensembles.

Evapotranspiration

Summe aus Bodenverdunstung, Seeverdunstung, Interzeptionsverdunstung (Verdunstung von den Pflanzenoberflächen) und Transpiration (biotische Prozesse, Stomataatmung)

Globalmodell,

Globales Klimamodell, GCM → Klimamodell der gesamten Erde. Die GCM, die dem 4. Sachstandsbericht des IPCC zugrunde liegen sind für regionale oder lokale Fragestellungen zu grob aufgelöst. Zu diesem Zweck wird ein sog. → Downscaling durchgeführt.

GIQ (Gleichwertiger Abfluss)

Abfluss, der sich bei \rightarrow Gleichwertigem Wasserstand an einem Flussquerschnitt ergibt.

GIW (Gleichwertiger Wasserstand)

Niedrigwasserstand, der im langjährigen Mittel an 20 eisfreien Tagen/Jahr erreicht oder unterschritten wird. Wichtiger Wasserstand für die Beurteilung der Fahrwasserverhältnisse.

Habitat

Lebensraum

Habitatpotenzial

Verfügbarkeit von geeignetem Lebensraum für das Vorkommen von Arten/Vegetationstpyen

Klima

Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren.

Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerwerte u. a.) über einen genügend langen Zeitraum. Im allgemeinen wird ein Zeitraum von 30 Jahren zugrunde gelegt, die sog. Normalperiode (z. B. 1961–1990), es sind aber durchaus auch kürzere Zeitabschnitte gebräuchlich.

Klimaelement

(oft synonym: Klimagröße, Klimavariable)

(Primäre) Klimaelemente sind direkt mess- oder beobachtbare Klimagrößen; z.B. Lufttemperatur, Wind, Bewölkung, Niederschlag, Sonnenscheindauer etc.

Klimamodell

 \rightarrow Modell zur \rightarrow Simulation des \rightarrow Klimas

Klimaprojektion

 \rightarrow Projektion des \rightarrow Klimas

Klimasimulation

 \rightarrow Simulation des \rightarrow Klimas

Klimavariable

synonym zu → Klimaelement

Modell

Schematische Nachbildung eines Systems bezüglich ausgewählter Eigenschaften und Vorgänge; z.B. für ein Einzugsgebiet.

Modellkette

Mehrere → Modelle, die sequentiell miteinander gekoppelt sind, indem jeweils ein nachgeschaltetes Modell Daten des vorausgehenden Modells weiterverarbeitet.

Multi-Modell-Ansatz

 $s. \rightarrow Ensemble$

Neophyten

Pflanzen, die bewusst oder unbewusst, direkt oder indirekt in Gebiete eingeführt wurden, in denen sie natürlicherweise nicht vorkamen.

Nivales Abflussregime

Von Schneefall und Schneeschmelze dominiertes Abflussregime

Objektive Wetterlagenklassifikation

Die Objektive Wetterlagenklassifikation ist eine Methode zur Klassifizierung von Wetterlagen auf der Datengrundlage von Gitterpunktswerten von Wettervorhersage- oder Klimamodellen. Die Kriterien zur Einteilung der Wetterlagen sind unterschiedlich. Ein vom DWD entwickeltes Verfahren bezieht folgende Kriterien ein: a) Zyklonalität bzw. Antizyklonalität der bodennahen und mitteltroposphärischen Strömung, b) großräumige Anströmrichtung und c) Feuchtegehalt der Atmosphäre.

Pardé-Koeffizient

Hier: beschrieben durch die mit dem mittleren Abfluss normierten langjährigen Monatsmittelwerte

Phytoplankton

 $Pflanzliches \rightarrow Plankton$

Plankton

Sammelbezeichnung für alle im Wasser schwebenden Organismen, die keine größere Eigenbewegung ausführen

Pluviales Abflussregime

Vom Regen dominiertes Abflussregime

Prognose

hier: synonym zu → Vorhersage

Projektion

hier: Schätzung des zukünftigen Klimas (oder Abflusses etc.) mit Hilfe von → Modellen auf Basis von vorgegebenen → Szenarien

Referenzklima

Klima während einer → Referenzperiode (z. B. Normalperiode 1961–1990)

Referenzperiode

Eine Referenzperiode ist ein Zeitraum, dessen Messwerte als Norm zum Vergleich mit Messungen aus einem anderen Zeitraum gelten sollen

Regionalisierung

hier: synonym zu → Downscaling

Regionalmodell, Regionales Klimamodell, RCM

→ Klimamodell, das die speziellen Prozesse und Charakteristika einer ausgewählten Region der Erde durch höhere räumliche Auflösung und damit verfeinerte Prozessnachbildung berücksichtigt. Dient der → Regionalisierung von Daten aus einem → Globalmodell.

Ressortforschung

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Bundes- und Landeseinrichtungen mit der wesentlichen Aufgabe, Politikberatung durchzuführen, d.h. wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse als Entscheidungsgrundlagen für die Ressorts bereitzustellen. Außerdem erbringen die meisten Einrichtungen wichtige, zum Teil gesetzlich festgelegte forschungsbasierte Dienstleistungen auf den Gebie-

ten der Prüfung, Zulassung, Regelsetzung und des Monitorings.

Sediment-Delivery-Ratio-Ansatz (SDR)

Berechnungsansatz zur Bestimmung des Anteils an erodiertem Boden im Einzugsgebiet, der ins Fließgewässer eingetragen wird, als Funktion des Geländereliefs

Sensitivität

hier: Sensitivität ist der Grad, in dem ein System (negativ oder positiv) von Klimawandel oder Klimavariabilität beeinflusst werden kann.

Der Effekt kann dabei direkt sein (z.B. durch den Einfluss der mittleren jährlichen Temperaturamplitude auf die Ernteerträge) oder indirekt (z.B. Schäden, die durch Flutereignisse infolge eines klimawandelbedingten Meeresspiegelanstiegs verursacht sind).

Sestonbiomasse

Biomasse im \rightarrow Seston

Seston

Gesamtheit der ungelösten Stoffe in einem Gewässer, die durch Sieben, Zentrifugieren oder Sedimentation abzutrennen sind

Simulation

Einsatz eines \rightarrow validierten \rightarrow Modells zur Untersuchung des Verhaltens eines betrachteten Systems unter bestimmten Gegebenheiten (z. B. \rightarrow Szenarien)

SRES-Szenarien

SRES-Szenarien sind Emissions-Szenarien, deren → Storylines im "Special Report on Emissions Scenarios" (kurz: SRES) niedergelegt sind (NAKIĆENOVIĆ et al. 2000). Sie dienen u. a. als Grundlage für die Klimaprojektionen des 4. Sachstandsberichtes des IPCC. In den Beiträgen dieses Bandes werden 3 ausgewählte SRES berücksichtigt (Kürzel: A2, B1 und A1B), deren Storylines auf unterschiedlichen Gewichtungen zwischen a) Wirtschafts- und Umweltorientierung der Gesellschaft sowie b) Globalisierung und regionaler Entwicklung beruhen.

SRES-Szenarienfamilien

→ SRES-Szenarien, die von einer ähnlichen demographischen, gesellschaftlichen, ökonomischen und technischen Entwicklung ausgehen, sind in Szenario-Familien (A1, A2, B1, B2) zusammengefasst.

Storyline

Eine erzählte Beschreibung eines Szenarios, die die wesentlichen Charakteristika und Zusammenhänge zwischen den treibenden Kräften und deren Entwicklungsdynamik erfasst.

Szenario

Eine plausible und oft vereinfachte Beschreibung der zukünftigen Entwicklung.

Ein Szenario basiert auf einem kohärenten und intern konsistenten Bündel von Annahmen bzgl. der zukünftigen Antriebe und deren Zusammenhänge. Szenarien können aus \Rightarrow Projektionen abgeleitet werden, erfordern jedoch oft zusätzliche Informationen aus anderen Quellen, manchmal in Kombination mit sogenannten \Rightarrow Storylines.

Die Szenarien, die den aktuellen \rightarrow Klimaprojektionen zugrunde liegen sind die \rightarrow SRES-Szenarien.

Treibhausgase

Gasförmige Bestandteile der Erdatmosphäre, die den Treibhauseffekt verursachen. Die Gase (u. a. H_2O , CO_2 , N_2O , CH_4 , O_3) sind natürlichen und anthropogenen Ursprungs. Sie absorbieren die durch die Erdoberfläche, Wolken oder die Atmosphäre selber emittierte Strahlung in spezifischen Wellenlängen innerhalb des Spektrums der thermalen Infrarotstrahlung.

Validierung

hier: Prüfung der Gültigkeit eines Modells. Nachweis der Fähigkeit eines → Modells, beobachtetes Verhalten des durch das Modell repräsentierten Systems nachbilden zu können.

Verifizierung

Prüfung des Wahrheitsgehaltes eines Ergebnisses oder einer Methode

Unsicherheit

Ein Ausdruck des Grades, in dem ein Wert (z.B. einer → Klimagröße für die Zukunft) bekannt ist. Unsicherheiten können aus unvollständigen oder falschen/fehlerhaften Informationen resultieren. Im Kontext der Klimafolgenforschung können Unsicherheiten viele Quellen haben. Nicht alle sind exakt quantifizierbar, einige sind unvermeidbar.

Vorhersage

hier: Wenn eine → Projektion als "sehr wahrscheinlich" eingestuft wird, wird sie zu einer Vorhersage. Eine Vorhersage wird mit Hilfe von deterministischen → Modellen erstellt, die Aussagen zu einem Vertrauensniveau erlauben.

Vulnerabilität, Verwundbarkeit

Anfälligkeit eines Systems gegenüber veränderten Bedingungen und seine Unfähigkeit, mit diesen Bedingungen umzugehen

Wetter

Als Wetter wird der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet, wie er durch die → Klimaelemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist, bezeichnet.

Wettervorhersage

 \rightarrow Vorhersage des \rightarrow Wetters

Zirkulationsmuster

Typische Erscheinungsform (meist) großräumiger (atmosphärischer oder ozeanischer) Strömungen.

Zooplankton

Tierisches \rightarrow Plankton

KLIWAS-Vorhaben und -Projekte

(Übersicht, Stand April 2012)

Meteorologische Klimaszenarien, Vorhaben 1:

Validierung und Bewertung der Klimaprojektionen – Bereitstellung von Klimaszenarien für den Wirkungsbereich Wasserstraßen und Schifffahrt

Federführung: Deutscher Wetterdienst,

Dr. Annegret Gratzki, Ref. KU 41, Tel. 069/8062-2989, annegret.gratzki@dwd.de

PJ-Nr.	Projektleitung/Ansprechpartner	Projekt (PJ)
1.01	DWD Fr. Dr. A. Gratzki	Erstellung von flussgebietsbezogenen Referenzdaten
1.02	DWD J. Namyslo	Bereitstellung anwendungsorientierter und bewerteter Klima- projektionsdaten
1.03	BSH- Dr. H. Heinrich DWD Fr. G. Rosenhagen	Referenzdaten und Klimaprojektionen für den marinen Bereich

Klimawandel im Küsten- und Ästuarbereich, Vorhaben 2:

Erfassung der Veränderungen des hydrologischen Systems der Wasserstraßen

Federführung: Bundesanstalt für Gewässerkunde,

Dr.-Ing. Stephan Mai, Referat M1, Tel. 0261/1306-5322, mai@bafg.de

PJ-Nr.	Projektleitung/Ansprechpartner	Projekt (PJ)
2.01	BSH- Dr. H. Heinrich DWD Fr. G. Rosenhagen	Parametrisierung von Klimawandelszenarien Küste/See
2.02	BfG Fr. Dr. A. Sudau	Validierung von Wasserstandsänderungen hinsichtlich anthropogener und tektonischer Einflüsse (Küstenbereich)
2.03	BfG DrIng. St. Mai	Veränderung der Tidekennwerte und der Seegangsstatistik – Nordseeküste und Ästuare
2.04	BAW Dr. N. Winkel	Analyse der Verwundbarkeit von wasserbaulichen Anlagen der Nordseeküste und Ästuare unter Klimawandelaspekten
ARGO	BSH Dr. H. Heinrich	Array for Real-time Geostrophic Oceanography

Klimawandel im Küsten- und Ästuarbereich, Vorhaben 3:

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

Federführung: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Dr. Werner Manz, Referatsleiter G3, ab dem 1.10.2009: **Dr. Birgit Schubert**, Referat G1, Tel. 0261-1306-5312, schubert@bafg.de

PJ-Nr.	Projekt	leitung/Ansprechpartner	Projekt (PJ)
3.01	BSH- DWD	Dr. H. Heinrich Fr. G. Rosenhagen	Auswirkungen klimabedingter physikalischer Veränderungen auf Schifffahrt, Küsten und Meeresnutzungen
3.02	BAW	Dr. N. Winkel	Anpassungsoptionen zur Nutzung von Wasserstraßen, Häfen und Küstenschutz bei Extremereignissen in der Nordsee
3.03	BfG	Dr. A. Winterscheid	Einfluss von klimabedingten Änderungen auf den Schwebstoffhaushalt der Nordsee-Ästuare
3.04	BfG	Dr. G. Reifferscheid	Änderung von Aspekten der Gewässerhygiene und Auswirkungen auf das Baggergutmanagement im Küstenbereich
3.05	BfG	Dr. L. Düster	Auswirkungen klimabedingter Veränderungen auf die Lebensdauer und das Umweltverhalten von Wasserbaumaterialien im Küstenbereich
3.06	BfG	Fr. Dr. Schubert	Änderung des Transportverhaltens schadstoffbelasteter Sedimente und Auswirkung auf die Unterhaltung von Schifffahrtsstraßen in den Nordsee-Ästuaren
3.07	BfG	Dr. M. Schlüsener	Klimabedingte Veränderungen organischer Schadstoffmuster in Bundeswasserstraßen der Küstengewässer
3.08	BfG	Hr. A. Schöl	Veränderte Stoffeinträge und Oberwasserabflüsse und Sauerstoffproblematik der Nordsee-Ästuare – Folgen für Fahrrinnenanpassungen und Sedimentbewirtschaftung
3.09	BfG	Fr. EM. Bauer Fr. M. Heuner	Änderung der Vorlandvegetation und ihrer Funktionen in Ästuaren sowie Anpassungsoptionen für die Unterhaltung

Klimawandel im Binnenbereich, Vorhaben 4:

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

Federführung: Bundesanstalt für Gewässerkunde

Dr.-Ing. Thomas Maurer, Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen

Tel. 0261/1306-5242, thomas.maurer@bafg.de

PJ-Nr.	Projektleitung/Ansprechpartner	Projekt (PJ)
4.01	BfG Dr. E. Nilson	Hydrologie und Binnenschifffahrt - Klimaprojektionen und Auswirkungen auf die Abflusscharakteristika und Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt
4.02	BfG Dr. M. Promny	Projektionen des Sedimenthaushaltes und der Flussbett- entwicklung
4.03	BAW Dr. M. Schröder	Quantifizierung des Regelungspotenzials und wasserbauliche Anpassungsoptionen
4.04	BAW Prof. Dr. B. Söhngen	Ermittlung notwendiger Fahrrinnenbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt
4.05	BAW Dr. T. Maurer	Prozessstudien zur Entwicklung der Eisbildung auf Wasserstraßen

Klimawandel im Binnenbereich, Vorhaben 5:

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

Federführung: Bundesanstalt für Gewässerkunde,

Dr. Helmut Fischer, Referat U2, 0261/1306-5458, helmut.fischer@bafg.de

PJ Nr.	Projektl	eitung/Ansprechpartner	Projekt (PJ)
5.01	BfG	Dr. Gudrun Hillebrand	Änderungen im Sedimenthaushalt und Risiken durch kohäsive Sedimente
5.02	BAW	Dr. H. Fischer	Einfluss von Temperatur- und Abflussveränderungen auf Stoffhaushalt und Algenentwicklung
5.03	BfG	Dr. G. Reifferscheid	Veränderungen in der gewässerhygienischen Situation und Auswirkungen auf die Situation bei Unterhaltungsbaggerungen
5.04	BfG	Dr. T. Ternes	Klimabedingte Veränderungen organischer Schadstoffmuster (Binnenbereich)*
5.05	BfG	NN, Dr. T. Ternes	Klimabedingte Veränderungen im Umweltverhalten von Wasserbaumaterialien im Binnenbereich (Bearbeitung des Themas wird mit Hilfe von Vergaben angestrebt)
5.06	BfG	Dr. P. Horchler	Klima bedingte Änderungen der Vegetation und deren Auswirkungen auf Planungsvorhaben der WSV
5.07	BfG	Dr. J. H. E. Koop	Anpassung tierökologischer Bewertung in Planverfahren
5.08	BfG	Dr. S. Kofalk	Konzeption eines regelbasierten Bewertungssystems zur Abschätzung von ökologischen Klimafolgen auf Flussgebietsskala

 $^*finanziert\,vom\,BM\,U$

TEILNEHMERLISTE 177

Teilnehmerliste

Angres, Volker

ZDF.umwelt

55126 Mainz

Aster, Detlef

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd

97082 Würzburg

Auerbach, Markus

Bundesanstalt für Straßenwesen

51427 Bergisch Gladbach

Barion, Dirk

Deutsche Vereinigung für Wasser,

Abwasser und Abfall

53773 Hennef/Sieg

Bastuck, Karlheinz

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

55127 Mainz

Bauer, Eva-Maria

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Baumhauer, Roland

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

97074 Würzburg

Becker, Paul

Deutscher Wetterdienst

63067 Offenbach

Beerheide, Joachim

Wirtschaftsvereinigung Stahl

40237 Düsseldorf

Behrendt, Michael

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Beiser, Rüdiger

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

55127 Mainz

Belz, Jörg Uwe

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Beul, Birgitta

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein

47198 Duisburg

Biebeler, Hendrik

Institut der deutschen Wirtschaft Köln

50459 Köln

Bittner, Ruth

Senatsverwaltung für Gesundheit,

Umwelt und Verbraucherschutz Berlin

10179 Berlin

Bley, Dirk

Verein für europäische Binnenschiffahrt

und Wasserstraßen e. V.

47119 Duisburg

Bloege, Yves

BUWATEC

39179 Barleben

Böer, Simone

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Bogumil, Heide

Wasserstraßen-Neubauamt Berlin

10965 Berlin

Borges, Uwe

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte

30169 Hannover

Borstelmann, Mareike

Wasser- und Schifffahrtsamt Regensburg

93059 Regensburg

Bosbach, Anja

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Braunroth, Nils

Wasser- und Schifffahrtsamt Köln

50668 Köln

178 TEILNEHMERLISTE

Brütt, Christian

Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH

22761 Hamburg

Bugner, Carola

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost

39108 Magdeburg

Buiteveld, Hendrik

Rijkswaterstaat Waterdienst 8200 AA, Lelystad, Nederland

Buthe, Bernd

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

53179 Bonn

Bütow, Detlef

Sächsische Binnenhäfen Oberelbe GmbH

01067 Dresden

Carambia, Maria

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Cemus, Jiri

Wasser- und Schifffahrtsamt Hann. Münden

34346 Hann. Münden

Dax, Günter

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

de Boer, Reinhard

Wasser- und Schifffahrtsamt Emden

26725 Emden

Dister, Emil

Karlsruher Institut für Technologie

76437 Rastatt

Dröge, Benno

Bundesanstalt für Gewässerkunde

 $56068\,Koblenz$

Düster, Lars

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Ebel, Martin

DELTARES, Delft

2629 HD Delft

Egel-Hess, Wolfgang

BASF SE

67056 Ludwigshafen

Ehlerding, Susanne

Freie Journalistin

Eichler, Dörthe

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte

30169 Hannover

El Khafif, Raschid

Deutscher Bundestag

11011 Berlin

Ellwardt, Katrin

Bundesministerium für Bildung und Forschung

53175 Bonn

Engelbart, Dirk

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Entelmann, Ingo

Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg

20148 Hamburg

Esser, Birgit

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Fiedler, Michael

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Finck, Henning

Handelskammer Hamburg

10178 Berlin

Fischer, Helmut

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Flecken, Claudia

Hamburg Port Authority 20457 Hamburg

Follner, Klaus

Bundesamt für Naturschutz 04277 Leipzig

Frindik, Roland

MARLO Consultants GmbH 76131 Karlsruhe

Fritz-Taute, Birgit

Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin 10179 Berlin

Gäbe, Björn

Wasser und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven 26382 Wilhelmshaven

Gabel, Friederike

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin 12587 Berlin

Gabriel, Thomas

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost 39108 Magdeburg

Gang, Chen

Lianyungang Port Group Limited Company

Gerlinger, Kai

Hydron - Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH 76131 Karlsruhe

Gladbach, Hubert

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 53175 Bonn

Gratzki, Annegret

Deutscher Wetterdienst 63067 Offenbach

Grohnwald, Karin

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 10115 Berlin

Grope, Norbert

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Grünewald, Uwe

Technische Universität Cottbus 03046 Cottbus

Hackenauer, Margarete

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Hamann, André

Sparte See- und Krabbenfischer der Nordsee 25761 Büsum

Hampe, Oliver

Museum für Naturkunde Berlin 10115 Berlin

Hardenbicker, Paulin

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Härtel. Friederike

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost 39108 Magdeburg

Hartwig, Karl-Hans

Westfälische Wilhelms-Universität Münster 48143 Münster

Hein, Hartmut

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Heinrich, Hartmut

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 20359 Hamburg

Heinrich, Jörg

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord 24106 Kiel

Heinrich, Ralf Rüdiger

Wirtschaftsverband Weser e. V. 28199 Bremen

Heinz, Michael

Wasser- und Schifffahrtsdirektion West 48147 Münster

Heise, Susanne

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg 21033 Hamburg

Helmecke, Manuela

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 53175 Bonn

Henneberg, Simon

Flussgebietsgemeinschaft Weser 31135 Hildesheim

Hering, Ingelore

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte 30169 Hannover

Herzog, Gustav

Deutscher Bundestag, MdB 11011 Berlin

Herzog, Petra

Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim 68150 Mannheim

Heymann, Hans-Jürgen

Wasser- und Schifffahrtsamt Eberswalde 16225 Eberswalde

Hildebrandt, Tjark

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost 39108 Magdeburg

Hillebrand, Gudrun

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Hils, Michael

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Hinz, Klaus-Peter

Schiffahrt und Technik

Holtmann, Berthold

DST Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. 47057 Duisburg

Holzwarth, Fritz

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 53175 Bonn

Holzwarth, Ingrid

Bundesanstalt für Wasserbau 22559 Hamburg

Hommes, Alfred

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Hopfer, Jerzy

Europäische Schiffer Organisation (ESO) und Verband der Polnischen Reeder und Partikulierer 70642 Stettin

Horchler, Peter

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Horsten, Theresa

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Hunger, Martin

Aquantec GmbH 76227 Karlsruhe

Hurtienne, Wolfgang

Hamburg Port Authority

 $20457\,Hamburg$

Ijmker, Janneke

Deltares - Enabling delta life

2600 MH Delft

Imbery, Florian

Deutscher Wetterdienst

63067 Offenbach

Jaegers, Gunther

 $Bundes verband\ der\ deutschen\ Binnenschiffahrt\ e.\ V.$

47119 Duisburg

Jakob, Adrian

Bundesamt für Umwelt Bern

CH-3003 Bern

Janssen, Stefanie

DLR

Jialiang, Wang

Lianyungang Port Group Limited Company

Jianhua, Zhu

Waterborne Transportation Institute

Joeris, Heinz-Josef

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

55127 Mainz

Kaune, Heinz-Clemens

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Kauppert, Klemens

Ingenieurbüro Kauppert

76137 Karlsruhe

Kautz, Klaus

Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden

01129 Dresden

Keßler, Stephan

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Kieseleit, Holger

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,

Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz

Nordrhein-Westfalen 40476 Düsseldorf

Kinkartz, Werner

Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven

27568 Bremerhaven

Kirsche, Uwe

Deutscher Wetterdienst

63067 Offenbach

Klein, Bastian

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Klimmer, Martin

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

55127 Mainz

Klingen, Reinhard

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Kluge, Boris

Bundesverband Öffentlicher Binnenhäfen e. V.

10117 Berlin

Klute, Andreas

Bundesministerium für Verkehr, Bau

und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Koch, Hagen

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung

14473 Potsdam

Kofalk, Sebastian

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Koldehofe, Wilhelm

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen

28195 Bremen

Kolokotronis, Vassilis

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76185 Karlsruhe

Konermann, Vera

BUND Landesverband Niedersachsen e. V. 30161 Hannover

Koop, Friedrich

Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg 39104 Magdeburg

Korck, Jane

Bayerisches Landesamt für Umwelt 95030 Hof

Köthe, Harald

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Kottmeier, Christoph

Karlsruher Institut für Technologie 76131 Karlsruhe

Krauß, Manfred

Büro Stadt-Wald-Fluss 14059 Berlin

Kreienkamp, Frank

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH 14469 Potsdam

Krieger, Beata

Bundesanstalt für Straßenwesen 51427 Bergisch Gladbach

Krieger, Jürgen

Bundesanstalt für Straßenwesen 51427 Bergisch Gladbach

Kröger, Martin

Zentralverband der deutschen Seehäfenbetriebe e. V. 20457 Hamburg

Krug, Andreas

Bundesamt für Naturschutz 04277 Leipzig

Krukenberg, Brigitta

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung 14473 Potsdam

Kurik, Petr

Internationale Kommission zum Schutz der Elbe 39104 Magdeburg

Langenbach, Peter

Hülskens GmbH & Co. KG

46483 Wesel

Larina, Maria

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Liebenstein, Hubert

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Lienau, Gerhild

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz 30169 Hannover

Lingemann, Imke

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Lorenz, Stefan

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin 12587 Berlin

Lorleberg, Carsten Brunsbüttel Ports GmbH 25541 Brunsbüttel

Lückert, Hans-Hermann

Bundeslotsenkammer 22761 Hamburg

Lücking, Winfried

BUND Flussbüro 10827 Berlin

Macke, Andreas

Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. 04318 Leipzig

Maehmel, Ralf

Imperial Baris GmbH 12557 Berlin

Mahrenholz, Petra

Umweltbundesamt 06844 Dessau

Mai, Stephan

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Maltry, Regina

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 10115 Berlin

Marquardt, Ralf Sören

Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. 20459 Hamburg

Marusic, Niksa

Wasser- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven 26382 Wilhelmshaven

Maurer, Thomas

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Mehling, Andrea

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Messing, Sebastian

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Meyer, Elke

Helmholtz-Zentrum Geesthacht 21502 Geesthacht

Meyer, Jürgen

Samtgemeinde Elbtalaue 29451 Dannenberg (Elbe)

Meyerdirks, Jürgen

Universität Oldenburg 26382 Wilhelmshaven

Möllenkamp, Sabine

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Montenegro, Héctor

Bundesanstalt für Wasserbau 76187 Karlsruhe

Moser, Hans

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Mosner, Eva

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Müller, Burkhard

Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr 30159 Hannover

Nestmann, Franz

Universität Karlsruhe 76131 Karlsruhe

Neumann, Margit

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Niehoff, Frank

Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Brandenburg 14467 Potsdam

Nilson, Enno

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Nordmeyer, Lothar

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 19048 Schwerin

Obrdlik, Pavel

WELL Consulting s.r.o.

Babice nad Svitavou, Tschechien

Ohlhof, Jaqueline

Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG 26725 Emden

Oldewurtel, Ralph

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr 01097 Dresden

$Otto, Claus\hbox{-} Joachim$

23795 Fahrenkrug

Paul, Dorothée

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 10115 Berlin

Peper, Jan

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Petersen, Maren

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg 26111 Oldenburg

Pfützner, Bernd

Büro für Angewandte Hydrologie 13156 Berlin

Plagemann, Sabrina

Deutscher Wetterdienst 63067 Offenbach

Pohl, Reinhard

Technische Universität Dresden 01062 Dresden

Pohlert, Thorsten

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Polenz, Ines

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz 55116 Mainz

Porsch, Norbert

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Prüter, Johannes

Biosphärenreservat Niedersachsen Elbtalaue 29456 Hitzacker

Oun, Gu

Waterborne Transportation Institute

Ramm, Kerstin

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz 55116 Mainz

Rast, Georg

WWF Deutschland 10117 Berlin

Redeker, Marq

ARCADIS Deutschland GmbH 50999 Köln

Reusch, Herbert

Büro für angewandte Limnologie und Landschaftsökologie 29562 Suhlendorf

Richter, Karl-Gerd

Aquantec GmbH 76227 Karlsruhe

Riediger, Ulf

Deutscher Wetterdienst 63067 Offenbach

Roberts, Marc

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Rodiek, Wilfried

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest

26603 Aurich

Rosenhagen, Gudrun

Deutscher Wetterdienst

20359 Hamburg

Rosenstein, Thomas

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Rudolf, Bruno

Deutscher Wetterdienst

63067 Offenbach

Rudolph, Elisabeth

Bundesanstalt für Wasserbau

22559 Hamburg

Rutschke, Thomas

Technische Universität Berlin

10557 Berlin

Saha, Dieter Michael

Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

F-67082 Strassbourg Cedex

Schade, Johannes

Projektträger Jülich

10969 Berlin

Schaipp, Bernhard

Bayerisches Staatsministerium

für Umwelt und Gesundheit

81925 München

Scharnke, Moritz

Technische Universität Hamburg-Harburg

21073 Hamburg

Schauser, Inke

Umweltbundesamt

06844 Dessau

Schernikau, Stefanie

Landkreis Ludwigslust-Parchim

19288 Ludwigslust

Scheurle, Klaus-Dieter

Staatssekretär, Bundesministerium

für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

10115 Berlin

Schmid-Breton, Adrian

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

56068 Koblenz

Schmidt, Christoph

RMD Wasserstraßen GmbH

80636 München

Schmidt, Eckard

Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH

22761 Hamburg

Schneller, Matthias

Landkreis Elbe-Elster

04916 Herzberg

Scholten, Anja

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

97074 Würzburg

Schönauer, Sebastian

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

63860 Rothenbuch

Schöpflin, Albert

Wasser- und Schifffahrtsamt Saarbrücken

66121 Saarbrücken

Schormann, Jan

BR Flusslandschaft Elbe-Brandenburg

19322 Rühstädt

Schrum, Corinna

University of Bergen

5007 Bergen

Schubert, Andrea

Bürgerbüro "Grüne Ecke"

01097 Dresden

Schubert, Birgit

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Schulz, Sven

Flussgebietsgemeinschaft Elbe

39104 Magdeburg

Schumacher, Frank

Ingenieurbüro für Wasser und Umwelt

12161 Berlin

Schumann, Anne

Büro für Angewandte Hydrologie

13156 Berlin

Schwarz, Thomas

Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau

24159 Kiel

Siegel, Gina

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

10117 Berlin

Singer-Posern, Sonja

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

65203 Wiesbaden

Socher, Martin

Staatsministerium für Umwelt

und Landwirtschaft Sachsen

01097 Dresden

Söhngen, Bernhard

Bundesanstalt für Wasserbau

76187 Karlsruhe

Sommer, Thomas

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e. V.

01217 Dresden

Stanneveld, Anja

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Stedtfeld, Ariane

Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

F-67082 Strassbourg Cedex

Steege, Volker

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Steinl, Christina

Sächsisches Landesamt für Umwelt,

 $Landwirt schaft \, und \, Geologie$

01109 Dresden

${\bf Stenglein, Jens}$

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

55127 Mainz

Stenschke, Felix

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Stive, Marcel

Delft University of Technology

2600 GA Delft

Stöcklein, Karl-Hermann

Wasser- und Schifffahrtsamt Regensburg

93059 Regensburg

Stommel, Andreas

DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband e. V.

53113 Bonn

Stosius, Annette

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Sudau, Astrid

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Täger, Hendrik

Wasserstraßen-Neubauamt Magdeburg 39114 Magdeburg

Teichmann, Claas

Max-Planck-Institut für Meteorologie 20146 Hamburg

Thode, Karsten

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord 24106 Kiel

Thurau, Cornelia

Wasser- und Schifffahrtsdirektion West 48147 Münster

Tinz, Birger

Deutscher Wetterdienst 20359 Hamburg

Tölle, Lothar

39112 Magdeburg

Uhlendorf, Hans-Joachim

Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG 26122 Oldenburg

Van der Werf, Hans

Commission Centrale Pour La Navigation Du Rhin F-67082 Strassbourg Cedex

van Groenewoud, Yolanda

Kgl. Niederländische Botschaft 10179 Berlin

van Riesen, Dirk

Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein 25813 Husum

Vogel, Jörg

Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg 79104 Freiburg

Vogt, Reinhard

Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR 51109 Köln

Vollmer, Stefan

Bundesanstalt für Gewässerkunde 56068 Koblenz

Vosika, Slavomir

Internationale Kommission zum Schutz der Elbe 39104 Magdeburg

Wachholz, Matthias

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg 14476 Potsdam

Waldner, Hans-Martin

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 70178 Stuttgart

Weber, Johann

Bayerisches Landesamt für Umwelt 95030 Hof

Wehrmann, Achim

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 53175 Bonn

Weiß, Heinz

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost 39108 Magdeburg

Weller, Philip

Internationale Kommission zum Schutz der Donau 1220 Wien

Wempe, Michael

Wasser- und Schifffahrtsdirektion West 48147 Münster

Wende, Frank

13597 Berlin

Wernicke, Peter

Evonik Services GmbH

45764 Marl

Wessel, Magnus

Naturschutzbund Deutschland e. V.

10117 Berlin

Weßeling, Ralf

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest

26603 Aurich

West, Michael

Bundesministerium für Umwelt,

Naturschutz und Reaktorsicherheit

53175 Bonn

Wiechert, Katharina

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

53175 Bonn

Wienholdt, Dietmar

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche

Räume des Landes Schleswig-Holstein

24106 Kiel

Willems, Winfried

IAWG

85521 Ottobrunn

Winkel, Norbert

Bundesanstalt für Wasserbau

22559 Hamburg

Winterscheid, Axel

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Wöhl, Günter

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern

19048 Schwerin

Wolf-Schumann, Ulrich

Hydrotec - Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

52066 Aachen

Worreschk, Bernd

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung,

Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz

55116 Mainz

Wurms, Sven

Bundesanstalt für Wasserbau

76187 Karlsruhe

Wyrwa, Jens

Bundesanstalt für Gewässerkunde

56068 Koblenz

Xianchao, Yang

Waterborne Transportation Institute

Zeiger, Jochen

Industrie- und Handelskammer Magdeburg

39108 Magdeburg

Zierul, Robert

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord

24106 Kiel

Zimmer, Matthias

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

55116 Mainz

Zirpel, Michael

Bundesministerium für Verkehr,

Bau und Stadtentwicklung

10115 Berlin

Zur Person



Markus Auerbach

Kurzbiografie

Jahrgang: 1970

1991

Auslandsaufenthalt: Praktikum bei Hoechst-Celanese, Summit, New Jersey, USA

1991-1997

Studium der Physik an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

1994-2002

Studium der Gesangspädagogik an der staatlichen Hochschule für Musik Freiburg

2002

Promotion zum Dr.-Ing. der Mikrosystemtechnik

ab 2003

Wissenschaftlicher Angestellter bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Referat Umweltschutz (Akustik)

ab 2011

BASt, Projektgruppe Innovationen im Straßenwesen, Klimawandel, Leiter der AG Klimawandel der BASt

Kontakt

Dr. Markus Auerbach Bundesanstalt für Straßenwesen Brüderstraße 53 51427 Bergisch Gladbach

Tel.: 02204/43-581 Fax: 02204/43-159

E-Mail: auerbachm@bast.de



Eva-Maria Bauer

Kurzbiographie

1990-1997

Studium Biologie an den Universitäten Tübingen und Freiburg (Schwerpunkt: Vegetationskunde)

1998-1999

Wissenschaftliche Mitarbeit an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

1999-2006

Wissenschaftliche Mitarbeit an der Universität Freiburg, Lehrstuhl Geobotanik

seit 2006

Wissenschaftliche Angestellte an der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projekt be arbeit ung:

2006–2009: u.a. im F&E-Projekt "Untersuchungen zu

alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen"

seit 2009: KLIWAS 3.09 "Klimabedingte Änderung

der Vorlandvegetation und ihrer Funktionen in Ästuaren sowie Anpassungsoptionen für die Unterhaltung" (Projekt-

leitung)

Kontakt

Eva-Maria Bauer Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat Vegetationskunde, Landschaftspflege Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5575

Fax: 0261/1306-5575 E-Mail: bauer@bafg.de



Paul Becker

Kurzbiografie

Jahrgang: 1958

1980-1984

Studium der Meteorologie an der Universität Hamburg

1984-1989

wissenschaftlicher Angestellter an der Universität Hamburg bzw. am Max-Planck-Institut für Meteorologie

seit 1989

Beamter beim Deutschen Wetterdienst

2005-2008

Leiter der Abteilung Medizinmeteorologie

seit 2008

Leiter des Geschäftsbereiches Klima und Umwelt des Deutschen Wetterdienstes und Vorstandsmitglied

seit 2010

Zusätzlich Vizepräsident des Deutschen Wetterdienstes

Kontakt

Dr. Paul Becker Deutscher Wetterdienst Frankfurter Straße 135 63067 Offenbach Tel.: 069/8062-2972

Tel.: 069/8062-2972 Fax: 069/8062-2959

E-Mail: paul.becker@dwd.de



Katrin Ellwardt

Katrin Ellwardt, MA, MBA, ist Referentin im Bundesministerium für Bildung und Forschung. Ihre Aufgabenschwerpunkte sind: Klimaschutz und -anpassung, Klimavorhersage und Monitoring, Klimawandel und Versorgungssicherheit.

Kontakt

Katrin Ellwardt BMBF, Ref. 723 Globaler Wandel Heinemannstraße 2 53175 Bonn

Tel.: 0228/9957-3280 Fax: 0228/99578-3280

E-Mail: katrin.ellwardt@bmbf.bund.de



Helmut Fischer

Kurzbiografie

1987-1994

Studium der Biologie, Univ. Freiburg und Konstanz

1994-1996

Freiberufliche Tätigkeit

1996-2000

Doktorand, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Berlin und Univ. Freiburg

2000-2003

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, IGB Berlin; Wissenschaftler (Post-Doc), Uppsala Universität, Abt. Limnologie, Schweden

Seit 2005

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Projekte mit Bezug zur Klimafolgenfoschung:

2005–2010: GLOWA-Elbe (BMBF 01LW0603I1)

seit 2008: KLIWAS (BMVBS)

seit 2010: Methanemissionen aus Flussstau-

haltungen (DFG);

SCARCE (CONSOLIDER Ingenio); NITROLIMIT (BMBF 033L041G)

Kontakt

Dr. Helmut Fischer Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1

Tel.: 0261/1306-5458 Fax: 0261/1306-5152

E-Mail: helmut.fischer@bafg.de



Paulin Hardenbicker

Kurzbiografie

Jahrgang: 1982

2002-2005

Grundstudium Biologie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

2005-2009

Hauptstudium Biologie (Biologische Meereskunde) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

seit 2009

Wissenschaftliche Angestellte der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

2009–2011: KLIWAS-Projekt 5.02, Klimabedingte

Änderung des Stoffhaushalts und der Algenentwicklung in Bundeswasser-

straßen

Kontakt

Paulin Hardenbicker Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5261

Tel.: 0261/1306-5261 Fax: 0261/1306-5302

E-Mail: hardenbicker@bafg.de



Karl-Hans Hartwig

Wissenschaftlicher Beirat für das Fachgebiet Verkehrsökonomie im Forschungsprogramm KLIWAS

Kurzbiografie

Jahrgang: 1948

1966-1967

Studium der Soziologie an der Universität Marburg

1967-1971

Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Marburg

1976

Promotion (Uni Marburg)

1972-1983

Wiss. Mitarbeiter/Assistent an den Universitäten Marburg, Essen und Bochum (LS für Volkswirtschaftspolitik und Volkswirtschaftstheorie)

1983

Habilitation (Uni Bochum)

1983-1998

Prof. für Volkswirtschaftslehre und Volkwirtschaftspolitik an den Universitäten Bochum und Münster Gastprofessuren an der Oskar-Lange-Universität Breslau und Lomonosov-Universität Moskau

Seit 1989

Prof. für Wirtschaftspolitik und Direktor des Instituts für Verkehrswissenschaft der Universität Münster

Kontakt

Prof. Dr. Karl-Hans Hartwig Institut für Verkehrswissenschaft Westfälische Wilhelms-Universität Am Stadtgraben 9 48143 Münster

Tel.: 0251/832-2990 Fax: 0251/832-8395

E-Mail: 10kaha@wiwi.uni-muenster.de



Birte Hein

Kurzbiografie

Jahrgang: 1978

2005

Diplom Geoökologie, TU Braunschweig

2005-2006

Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Universität Kassel; Ökosystemmodellierung

2006

Lehmann + Partner GmbH – Ingenieurgesellschaft für Straßeninformationen, Kirchheim; Datenbanken und GIS

2006-2009

Zentrum für Marine und Atmosphärische Wissenschaften, Universität Hamburg; Hydrodynamische Modellierung

seit 2009

Bundesanstalt für Gewässerkunde

KLIWAS-Projekt 3.08:

Einfluss von klimabedingt veränderten Stoffeinträgen und Oberwasserabflüssen auf die Sauerstoffgehalte der Nordsee-Ästuare – Folgen für die Sedimentbewirtschaftung

Kontakt

Birte Hein Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat U2 Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5958

E-Mail: birte.hein@bafg.de



Hartmut Hein

Kurzbiografie

1994-1998

Studium Vermessungswesen an der an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg

1998-2002

Studium Hydrographie an der an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg

2003-2007

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hamburg, Promotion in der Ozeanographie, Thema: Kaltwasserauftrieb im Bereich der Küste von Vietnam

2007-2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hamburg, Projektbearbeitung: Sedimentdynamik im Mekong-Ästuar und Küstenvorfeld

seit 2009

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

KLIWAS 2.03 - Tidekennwerte und Seegangsstatistik

Kontakt

Dr. Hartmut Hein Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1 Tel.: 0261/1306-5226 E-Mail: hein@bafg.de



Hartmut Heinrich

Kurzbiografie

Jahrgang 1952

1972-1977

Studium der Geologie an der Universität Göttingen

1983

Promotion in Meeresgeologie an der Universität Kiel Arbeiten: 1983 Sand-Kies-Exploration in Schleswig-Holstein, ab 1983 Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

1983-1987

Sedimentologie/Paläoklimatologie Nordost-Atlantik

1988-1989

Sedimentologie Nordsee

1990-1993

Projekt TUVAS (Meeresmonitoring Nordsee)

1994-2005

Sekretariat Bund-Länder Messprogramm Nord- und Ostsee

seit 2005

Referatsleiter Physik des Meeres mit Schwerpunkt Klimaüberwachung

Kontakt

Dr. Hartmut Heinrich Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Bernhard-Nocht-Straße 78 20359 Hamburg Tel.: 040/3190-3200

Tel.: 040/3190-3200 Fax: 040/3190-5000 hartmut.heinrich@bsh.de



Gudrun Hillebrand

Kurzbiografie

Jahrgang: 1977

1997-2003

Studium Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe (TH)

2003-2008

Wissenschaftliche Angestellte am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe (TH), Dissertation zum Thema: Transportverhalten kohäsiver Sedimente in turbulenten Strömungen

seit 2009

Wissenschaftliche Angestellte an der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat M3 – Grundwasser, Geologie, Gewässermorphologie

Projektbearbeitung (Auszug):

2003–2006: DFG-Forschergruppe "Peloide", Laborun-

tersuchungen zum Transportverhalten kohäsiver Sedimente in Strömungen

2005–2008: RIMAX-HoT, Bestimmung des Stoffrück-

halts in Hochwasserretentionsräumen mit Hilfe von Feldversuchen und morphody-

namischer Modellierung

seit 2009: F&E-Projekt zur Untersuchung der Inter-

aktion HCB/PCB–Sediment an Oberrhein

und Elbe

seit 2009: KLIWAS-Projekt "Klimaprojektionen für

Sedimenthaushalt und Risiken durch

kohäsive Sedimente"

Kontakt

Dr.-Ing. Gudrun Hillebrand Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5425 Fax: 0261/1306-5280

E-Mail: hillebrand@bafg.de



Berthold Holtmann

Kurzbiografie

Jahrgang: 1962

Studium Fachrichtung Bauingenieurwesen an der RWTH-Aachen, 1991 Diplom

1991-1997

Verkehrsplanung und Consulting im öffentlichen Verkehr, Spiekermann GmbH & Co., Düsseldorf

1997

Projektingenieur im Europäischen Entwicklungszentrum für die Binnenschiffahrt, heute DST-Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

1998-2004

Fachbereichsleiter Verkehrswirtschaft im Europäischen Entwicklungszentrum für die Binnenschiffahrt, heute DST – Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

2005-heute

Fachbereichsleiter Transportsysteme im DST – Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

Kontakt

Berthold Holtmann DST – Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. Oststraße 77, 47057 Duisburg Tel.: 0203/99 369 55

Fax: 0203/9936955

E-Mail: holtmann@dst-org.de



Theresa Horsten

Kurzbiografie

Jahrgang: 1983

2003-2009

 $Studium\,der\,Hydrologie\,an\,der\,TU\,Dresden$

2009-2011

Wissenschaftliche Angestellte der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

seit 2009: KLIWAS "Wasserhaushalt, Wasserstand, Transportkapazität" (BMVBS)



Bastian Klein

Kurzbiografie

Jahrgang: 1975

1996-2003

Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Berlin

2003-2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum

seit 2009

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

seit 2009: KLIWAS "Wasserhaushalt, Wasserstand,

Transportkapazität" (BMVBS)

seit 2009: Aktualisierung Wasserstandsvorhersage-

system WAVOS Donau

2009–2011: AdaptAlp (EU INTERREG IV)

seit 2010: ECCONET (EU FP7)

Kontakt

Dr.-Ing. Bastian Klein Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5256 Fax: 0261/1306-5280 E-Mail: klein@bafg.de



Reinhard Klingen

Kurzbiografie

Jahrgang: 1955

1976-1981

Studium der Rechtswissenschaften an der Universität Bonn

2005-2009

Leiter der Unterabteilung Wasserstraßen im ${\tt BMVBS}$

seit 2009

Leiter der Abteilung Wasserstraßen und Schifffahrt im ${\tt BMVBS}$

Kontakt

MDir Reinhard Klingen Abteilungsleiter Wasserstraßen und Schifffahrt Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Robert-Schuman-Platz 1 53175 Bonn

Tel.: 0228/99-300-4400 Fax: 0228/99-300-4499

E-Mail: al-ws@bmvbs.bund.de



Petra Mahrenholz

Kurzbiografie

1982-1987

Studium Meteorologie an der Humboldt-Universität zu Berlin

1987-1991

Wissenschaftliche Angestellte des Deutschen Wetterdienstes, Forschungsinstitut für Bioklimatologie

seit 1991

Wissenschaftlerin im Umweltbundesamt Ursachen und Auswirkungen von Klimaänderungen; Anpassungsstrategie und -maßnahmen; Identifizierung, Weiterentwicklung und Umsetzung der Deutschen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel; Internationale Gremienarbeit, z. B. IPCC und UNFCCC

seit 2006

Leiterin des Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung, KomPass

Kontakt

Petra Mahrenholz Umweltbundesamt Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung, KomPass Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau

Tel.: 0340/2103-2084 Fax: 0340/2104-2084

E-Mail: petra.mahrenholz@uba.de



Hans Moser

Kurzbiografie

Jahrgang: 1962

1983-1989

Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Stuttgart

1990-1995

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Berlin, Promotion

1995-2001

Leitungsaufgaben in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes beim Ausbau der Bundeswasserstraßen

2002-2004

Referent im Referat Technik, Umweltschutz und Gewässerkunde im Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Dienstsitz Bonn

seit 2004

Leiter der Abteilung Quantitative Gewässerkunde in der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

seit 2012

Präsident der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hans Moser Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5303 Fax: 0261/1306-5280 E-Mail: moser@bafg.de



Eva Mosner

Kurzbiografie

1998-2004

Studium der Biologie an der Universität Marburg und der Universität Potsdam

2005

Wissenschaftliche Hilfskraft an der Universität Potsdam und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Umweltforschungszentrum Leipzig

2006-2009

Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Marburg

seit 2009

Wissenschaftliche Angestellte an der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

seit 2009: KLIWAS-Projekt 5.06: Auswirkungen des Klimawandels auf die Flussauenvegetation

Kontakt

Dr. Eva Mosner Bundesanstalt für Gewässerkunde U2 Ökologischer Wirkungszusammenhänge Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5979 Fax: 0261/1306-5333 E-Mail: mosner@bafg.de



Franz Nestmann

Sprecher des wissenschaftlichen Beirates für das Forschungsprogramm KLIWAS

Kurzbiografie

1972-1978

Bauingenieurstudium an der Universität Karlsruhe (TH)

1978-1986

Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe (TH), 1984 Promotion

1986-1990

Referatsleiter (Referat: "Flussbau und Hydraulik des Gewässerbettes" mit dem Fachbereich "Mathematische Modellierung von Gerinneströmungen") in der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1990-1993

Abteilungsleiter (Abteilung: "Wasserbau/Hydraulik") in der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe und Berlin

seit 1994

Ordentlicher Professor für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU Karlsruhe (heute: KIT) und Leiter des Institutes für Wasser und Gewässerentwicklung

1996-2000

Studiendekan für Bauingenieurwesen an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

2000-2010

Dekan der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

seit 2010

Präsident des Wasserwirtschaftverbandes Baden-Württemberg

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Wasser und Gewässerentwicklung Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik – Institutsleiter –

Engesserstraße 22

76131 Karlsruhe

Tel.: 0721/608-42194/-46388

Fax: 0721/606046

E-Mail: franz.nestmann@kit.edu



Enno Nilson

Kurzbiografie

Jahrgang: 1969

1992-1999

Studium der Geographie, Geologie, Bodenkunde und Forstwirtschaft an der Universität Bonn

1999-2001

Consultant für GIS, Software-Engineering und Datenbanken

2001-2007

Wissenschaftlicher Angestellter des Geographischen Instituts der RWTH Aachen

seit 2007

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung

seit 2007: KLIWAS "Wasserhaushalt, Wasserstand,

Transportkapazität" (BMVBS)

2008-2010: Rheinblick2050 (KHR)

 $2009-2011: \quad Szenarien studie \, f\"ur \, das \, Abflussregime \, des$

Rheins (IKSR)

2008-2011: AdaptAlp (EU INTERREG IV)

Kontakt

Dr. rer. nat. Enno Nilson Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5325

Fax: 0261/1306-5280 E-Mail: nilson@bafg.de



Jan Peper

Kurzbiografie

Studium Landschaftsökologie und Naturschutz mit Abschluss zum Diplom-Landschaftsökologen 2006 und Promotion 2010

Seit 2010

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Kontakt

Dr. Jan Peper Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5412

Fax: 0261/1306-5333 E-Mail: peper@bafg.de



Thorsten Pohlert

Kurzbiografie

Jahrgang: 1974

1995-2002

Studium der Angewandten Umweltwissenschaften an der Universität Trier

2003-2006

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Justus-Liebig-Universität Gießen, Promotion zum Dr. rer. nat. über das Thema "Modellierung des Stickstoffhaushaltes für den Gewässerschutz mittelgroßer Flusseinzugsgebiete"

2007-2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Umweltforschung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

seit 2009

wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat G1

Projektbearbeitung:

seit 2009:

KLIWAS-Forschungsprojekt "Klimaprojektionen für Sedimenthaushalt und Risiken durch kohäsive Sedimente (PJ 5.01)".

Kontakt

Dr. Thorsten Pohlert Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat G1 Postfach 200253 56002 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5454 Fax: 0261/1306-5363 E-Mail: pohlert@bafg.de



Marc Roberts

Kurzbiografie

Jahrgang: 1978

2001-2006

Studium Bauingenieurwesen an der Fachhochschule Lippe und Höxter

2006-2009

Studium Bauingenieurwesen an der Bauhaus-Universität Weimar

seit 2009

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

seit 2009: KLIWAS-Projekt 4.02: Aufbau und Betrieb des dreidimensionalen morphologischen Modells SSIIM 3D.

Kontakt

Marc Roberts Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5978

Fax: 0261/1306-5280 E-Mail: roberts@bafg.de



Elisabeth Rudolph

Kurzbiografie

Jahrgang: 1961

1980-1988

Studium der Meteorologie an den Universitäten Frankfurt am Main und Kiel

1988-1994

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Forschungszentrum Geesthacht GKSS

1993

Promotion an der Universität Hamburg

seit 1994

Wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg im Referat Ästuarsysteme II

Gutachterliche Tätigkeit:

Sturmflutuntersuchungen zu Ausbauvorhaben der WSV in den Bundeswasserstraßen/Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems

Kontakt

Dr. Elisabeth Rudolph Bundesanstalt für Wasserbau Wasserbau im Küstenbereich Referat Ästuarsysteme II (K3) Wedeler Landstraße 157 22559 Hamburg Tel.: 040/81908-361

Fax: 040/81908-373

E-Mail: elisabeth.rudolph@baw.de



Michael Schleuter

Kurzbiografie

Jahrgang 1954

Studium der Biologie und Chemie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität zu Bonn mit einem Abschluss als Diplom-Biologe und anschließender Promotion zum Dr. rer. nat.

Berufliche Praxis durch mehrjährige Tätigkeit in der Studentenausbildung an der Universität Bonn im Bereich Limnologie und am Fuhlrott-Museum in Wuppertal im Rahmen der Untersuchung der Wirkungen von Umweltchemikalien auf die Fauna in Waldökosystemen

Seit 1986

in der BfG Koblenz über zwanzig Jahre verantwortlich für den Bereich Tierökologie mit dem Arbeitsfeld der staugeregelten Bundeswasserstrassen

Seit 2006

Referatsleiter U2, Ökologische Wirkungszusammenhänge in der Abteilung U Ökologie für Gewässerkunde

Kontakt

Dr. Michael Schleuter Bundesanstalt für Gewässerkunde Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5469

Fax: 0261/1306-5333 E-Mail: schleuter@bafg.de



Anja Scholten

Kurzbiografie

1999-2004

Studium der Meteorologie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

2005-2007

Projektmitarbeiterin am Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Seit 2007

Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Kontakt

Dr. rer. nat. Anja Scholten Universität Würzburg Physische Geographie Am Hubland 97218 Würzburg Tel.: 0931/318 5435

E-Mail: anja.scholten@uni-wuerzburg.de



Gina Siegel

Kurzbiografie

Ausbildung

Maschinenbautechnikerin Architektin

Berufliche Stationen

Technikerin im Anlagenbau, Hessen Projektentwicklerin bei der LEG, NRW

Seit 1995

im Bundesbauministerium, Abteilung Bauwesen, Projektmanagerin im Umzugsstab Berlin für die Regierungsgebäude.

Gina Siegel ist Referentin im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Ihre Aufgabenschwerpunkte sind: Entwicklung von raumbedeutsamen umweltpolitischen Planungen und Maßnahmen, insbesondere räumliche Auswirkungen des Klimawandels und Klimaschutzes durch regionale Energieversorgungskonzepte.

Kontakt

Dipl.-Architektin Gina Siegel Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Referat SW 15 Krausenstrasse 17–20, 10117 Berlin Tel.: 030/18300-6151

E-Mail: gina.siegel@bmvbs.bund.de



Bernhard Söhngen

Kurzbiografie

1970-1977

 $Studium\,Bauingenieurwesen\,an\,der\,TU\,Darmstadt$

1978-1986

Wissenschaftlicher Assistent am Inst. für Wasserbau/ TUD (GW- und offene Gerinneströmungen)

1987

Promotion zum Thema Formbeiwert offener Gerinnenströmungen

1986-1987

Agrar und Hydrotechnik Essen (Bewässerungsanlagen)

seit 1987

Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe 1987–2001: Projektgruppe Donau

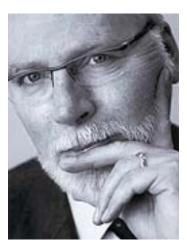
seit 2001: Referatsleiter des Referats W4

Kontakt

Prof. Dr. Bernhard Söhngen Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17 76187 Karlsruhe

Tel.: 0721/9726-4540 Fax: 0721/9726-4540

E-Mail: bernhard.soehngen@baw.de



Marcel J. F. Stive

Wissenschaftlicher Beirat für das Fachgebiet Küsteningenieurwesen im Forschungsprogramm KLIWAS

Kurzbiografie

Prof. Stive hat mehr als 30 Jahre Erfahrung in Forschung und Projekten in den Feldern Wasserbau, Morphodynamik der Küsten, Bio-Geomorphologie der Küsten und Management von Küsten und Ästuaren. Seine Arbeitsgebiete umfassen Küsten, Ästuare, Häfen und Offshore-Projekte in Europa, Asien, Afrika und Amerika. Er ist wissenschaftlicher Berater für Regierungsinstitutionen in den Niederlanden, Vietnam und China.

Seit 2001

Lehrstuhl für Küsteningenieurwesen an der Delft University of Technology

Seit 2003

Wissenschaftlicher Direktor des Water Research Center der Delft University of Technology

Seit 2009

Abteilungsleiter Wasserbau der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geowissenschaften an der Delft University of Technology

Kontakt

Marcel J. F. Stive Technische Universität Delft Fakultät Ingenieurbau und Geowissenschaften Stevinweg 1 2628 CN Delft Niederlande

Tel.: +31-152785487 Fax: +31-152785124

E-Mail: m.j.f.stive@tudelft.nl



Philip Weller

Philip Weller ist Exekutivsekretär der Internationalen Kommission zum Schutz der Donau (IKSD) in Wien (Österreich). In dieser Position ist er für die Leitung der IKSD zuständig, die für die 14 größeren Donaustaaten und die Europäische Kommission das Forum zur Erfüllung ihrer Verpflichtungen im Hinblick auf die Verbesserung der Wasserqualität und der Wasserbewirtschaftung im Donaueinzugsgebiet bildet.

Er ist ausgebildeter Umweltplaner und hat Allgemeine Ökologie an der Universität Waterloo (Kanada) studiert, wo er auch einen Mastertitel in Stadt- und Regionalplanung erworben hat.

In seiner vorherigen Position als Leiter des Donau-Karpaten-Programms von WWF International war Philip Weller die treibende Kraft hinter dem Projekt "Grüner Korridor Untere Donau", das Gegenstand eines Übereinkommens zwischen Rumänien, Bulgarien, Moldau und der Ukraine ist und die weitreichendste Initiative zum Schutz und zur Sanierung von Feuchtgebieten in Europa darstellt.

Vorher war er Direktor von Great Lakes United, einer einmaligen binationalen Vereinigung von Interessengruppen, zu der örtliche Gemeinden, Forschungsorganisationen, Unternehmen und Nichtregierungsorganisationen gehören, die sich auf die Sanierung der Großen Seen konzentrieren.

Philip Weller hat drei Bücher über Umweltthemen geschrieben, darunter "Freshwater Seas", eine Umweltgeschichte der Großen Seen von Nordamerika.

Kontakt

Ständiges Sekretariat der IKSD Vienna International Centre, D0412 Postfach 500 1400 Wien Österreich

Tel.: +43-1-26060-5738 Fax: +43-1-26060-5895 E-Mail: icpdr@unvienna.org



Norbert Winkel

Kurzbiografie

Jahrgang: 1954

1981-1989

Studium der Geowissenschaften an der Universität Hamburg

1988-1992

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungszentrum Geesthacht GKSS

seit 1992

Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg im Referat Ästuarsysteme II

1994

Promotion an der Universität Hamburg

seit 2003

Referatsleiter Ästuarsysteme II

Kontakt

Dr. rer. nat. Norbert Winkel Bundesanstalt für Wasserbau Wasserbau im Küstenbereich Referat Ästuarsysteme II (K3) Wedeler Landstraße 157 22559 Hamburg

Tel.: 040/81908-325 Fax: 040/81908-373

E-Mail: norbert.winkel@baw.de



Axel Winterscheid

Kurzbiografie

1996-2002

Studium Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Darmstadt, Vertiefungsrichtungen Wasserbau, Geotechnik und Umweltwissenschaften

2002-2009

Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt, Dissertation zum Thema: Szenariotechnik im Hochwasserrisikomanagement

2009-heute

Wissenschaftlicher Angestellter an der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat Grundwasser, Geologie, Gewässermorphologie

Projektbearbeitung (Auszug):

2003–2009: INTERREG-IIIB-Projekt nofdp (nature-

oriented flood damage prevention), Projektkoordination und Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems

nofdp-IDSS

2009–2011: Untersuchung der morphologischen,

ökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen eines Sedimentfangs vor Wedel an der Tideelbe, im Auftrag der

Hamburg Port Authority

seit 2009: KLIWAS-Projekt: "Einfluss klimabeding-

ter Änderungen auf den Sedimenthaus-

halt der Nordseeästuare"

Kontakt

Dr.-Ing. Axel Winterscheid Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat Grundwasser, Geologie, Gewässermorphologie Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5190 Fax: 0261/1306-5280

E-Mail: winterscheid@bafg.de



Sven Wurms

Kurzbiografie

Jahrgang: 1977

1998-2004

Studium der Umweltschutztechnik an der Universität Stuttgart

2005-2009

Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart

Seit 2009

Bundesanstalt für Wasserbau

2010

Promotion

Kontakt

Dr.-Ing. Sven Wurms Bundesanstalt für Wasserbau Kussmaulstraße 17 76187 Karlsruhe Tel.: 0721/9726-5510

E-Mail: sven.wurms@baw.de



Jens Wyrwa

Kurzbiografie

Jahrgang: 1963

1991

Diplom Physikalische Ingenieurwissenschaften, TU Berlin

1992-1997

Ingenieurbüro Björnsen, Koblenz

2003

Dissertation über Turbulenzmodellierung für stabil dichtegeschichtete Strömungen bei der Simulation des Transports von kohäsiven Sedimenten in Ästuaren, TU Berlin

2003-2011

 $Selbst\"{a}ndig, Hydroin formatik, Str\"{o}mungs simulation$

seit 2011

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Mehrdimensionale Gütemodelle für Tidegewässer

Kontakt

Dr.-Ing. Jens Wyrwa Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat U2 Am Mainzer Tor 1 56068 Koblenz Tel.: 0261/1306-5254

Tel.: 0261/1306-5254 E-Mail: wyrwa@bafg.de

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt Robert-Schuman-Platz 1 53175 Bonn

Bezugsquelle

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Referat Bürgerservice Invalidenstraße 44 10115 Berlin Telefon +49 (0) 3018/300-3060 Telefax +49 (0) 3018/300-1942

Redaktion

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Referat WS 14 "Klima- und Umweltschutz für die Wasserstraßen, Gewässerkunde, BfG" Robert-Schuman-Platz 1 53175 Bonn

Gestaltung

Weißensee Verlag, Berlin www.weissensee-verlag.de

Download unter: www.bmvbs.de

Titelfotos

Benno Dröge, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz Peter Schneider, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz WSA Schweinfurt Michael Schleuter, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Druck

Druckerei des BMVBS, Bonn

Stand

Mai 2012

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung: Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.

ISBN 978-3-940247-04-9