

© Viola F. Holtz - Fotolia.com

2.4 Wasser als Verkehrsträger

HARRO HEYER & ANDREAS SCHMIDT

Water as a means of transport: Coastal and fluvial waters provide sea and hinterland routes to many places where the people live and work. The global und European trade has caused the development of economic areas mainly near the water. Constructions and facilities were developed where the sea-borne and the river-borne traffic can meet with the transport by rail and lorry. Rising freight rates for transport of goods on waterways made it necessary to build vessels with larger draft, length and width. Therefore, many fairways in estuaries and rivers are deepened in several stages with the growth of vessel sizes. The river engineering work is associated with the assessment and forecast of complex physical, morphological and biological processes. Today it becomes more and more noteworthy that the ongoing development of coastal and inland waterways is done in an interdisciplinary and consensual manner. This essay outlines the development of waterways und emphasizes aspects of hydraulic engineering with respect to climate change scenarios.

Das Netz der Bundeswasserstraßen Deutschlands umfasst rund 7.350 km Binnenwasserstraßen und rund 17.800 km² Seewasserstraßen. Es dient der nationalen und internationalen Schifffahrt als leistungsfähiger, sicherer und umweltfreundlicher Verkehrsträger. Über die seewärtigen Zufahrten an der Nord- und Ostseeküste sind die Seehäfen in den Welthandel eingebunden. Das durch die globalisierte Wirtschaft stark steigende Transportaufkommen erfordert im Seeverkehr und im Hinterland vernetzte Wasserstraßen mit effizienten Übergängen zu Schiene und Straße. Ziel ist es, die Zukunftsfähigkeit des wassergebundenen Verkehrs unter den Randbedingungen des Klimawandels zu gestalten und das zunehmende Transportaufkommen auf dem Wasser so weit wie möglich unter umweltfreundlichen Randbedingungen zu bewältigen. Hierzu ist es zunächst erforderlich, die möglichen bzw. die zu erwartenden Folgen des Klimawandels für den Verkehr und die Infrastruktur an den Wasserstraßen zu erforschen und geeignete Anpassungsmaßnahmen natur- und umweltverträglich zu entwickeln. Das für die Wasserstraßen in Deutschland zuständige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

(BMVBS) hat sich dieser Herausforderung mit der Initiative »Zukunft gestalten im Zeichen des Klimawandels« gestellt und die Ressortforschungseinrichtungen Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und Deutscher Wetterdienst (DWD) mit dem Forschungsprogramm KLIWAS (Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen) beauftragt, hierfür die erforderlichen Grundlagen zu erarbeiten (BMVBS 2008). Diese Initiative ist Teil der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, die vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen wurde. Auch die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekte wie z.B. KLIMZUG-NORD (Klimawandel in Regionen zukunfts-fähig gestalten) sollen zur Anpassung an künftige Verhältnisse in küstennahen Metropolregionen beitragen.

Die auf dem Wasser zu gewährleistende Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs wird durch permanente Zustandsbeobachtungen (wertvolle Datenbasis) und wirtschaftliche Unterhaltungsmaßnahmen der Fahrri-

nen und Bauwerke ermöglicht. Der wissenschaftliche Verkehrswasserbau beschäftigt sich vornehmlich mit Strömungs- und Transportprozessen, den Wirkungen von Wasserbauwerken (z.B. Buhnen) auf diese Prozesse, mit Sedimenten aus Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen sowie mit schiffserzeugten Belastungen auf die Gewässersohle und die Ufer. Mehr und mehr sind dabei die Wirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen vor dem Hintergrund der natürlichen und der klimatischen Veränderungen fachlich umfassend und räumlich übergreifend für mittel- und langfristige Zeiträume abzuschätzen. Die Wasserstraßen stellen mit ihren Fahrrinnen und angrenzenden Ufer- und Vorlandbereichen bereits Bauwerke in einer Naturumgebung dar, die je nach Örtlichkeit verschiedenen physikalischen, chemischen und biologischen Randbedingungen unterliegen. Daher ist die Wasserstraße heute, auch angesichts der vielfältigen Nutzungsansprüche, als ein komplexes System zu sehen, das durch sehr unterschiedliche Wirkmechanismen charakterisiert ist. Die Untersuchungen zur Binnen- und Seeschifffahrt zeichnet daher ein ausgeprägt interdisziplinärer Charakter aus. Fragen zu den Auswirkungen des Klimawandels müssen in diesem umfassenden Kontext bearbeitet werden.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels fordern Wissenschaft und Bevölkerung politisches Handeln. Die Ursachen des durch den Menschen beeinflussten Klimawandels müssen dabei im globalen Maßstab wirksam bekämpft werden (Klimaschutz). Der Klimawandel zeigt sich global in Trendentwicklungen physikalischer Primärgrößen wie Lufttemperatur am Boden, Eisbedeckung und mittlerem Niederschlag. Die Untersuchung wahrscheinlicher Entwicklungen des Klimas ist Gegenstand der Klimasystemforschung, die man als Bestandteil der Erdsystemforschung betrachten kann. Die auf den Klimawandel bezogene Forschung an den Wasserstraßen und im Verkehrswasserbau benötigt die Ergebnisse der Klimasystemforschung und der Klima-beobachtung als unverzichtbare Randbedingungen. Bei einer Einordnung des Forschungsbedarfs geht es zunächst um Fragen, wie man die möglichen, unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels regional – bezogen auf die Wasserstraßen auch lokal – erfassen und analysieren kann. Mit diesen Ergebnissen ist dann zu untersuchen, ob angemessene Konzepte und Maßnahmen entwickelt werden können, um in der Zukunft den Auswirkungen des Klimawandels wirksam und nachhaltig begegnen zu können. Dies ist sowohl eine sektoral ausgerichtete Klimafolgenforschung (mit dem oben ausgeführten interdisziplinären Charakter) als auch eine spezifische Anpassungsforschung für die Küsten- und Binnenwasserstraßen.

Einfluss des Klimawandels im Bereich der Seeschifffahrtsstraßen

Seit Jahrhunderten orientieren sich Seehafenzufahrten an den Mündungen der großen Flüsse, die viel Süßwasser in das Meer abführen und dadurch schon verhältnismäßig tief sein können. Mit Größenzunahme der Seeschiffe wurden die Querschnitte der Seehafenzufahrten in mehreren Stufen angepasst. Für Öltanker wurde das Fahrwasser der Außen- und Innenjade in den 1970er-Jahren bereits auf Seekartennull (SKN) -18,5 m vertieft. Die Fahrrinnen zu den Containerhäfen in Bremerhaven und Hamburg wurden bis in die 1960er-Jahre auf SKN-11,0 m und weiter bis zur Jahrtausendwende bis auf SKN-14 m in der Außenwaser bzw. SKN-14,4 m in der Unter- und Außenelbe angepasst. Weitere Anpassungen stehen bevor. Die überwiegende Anzahl der Zufahrten zu den Seehäfen ist in Deutschland vom Brackwasser geprägt, einem Gemisch aus dem Süßwasser des landseitigen Abflusses und dem Salzwasser des Meeres. Flussgebiete mit einer Brackwasserzone heißen Ästuarare. Man spricht von Tideästuararen, wenn die Flussmündungen und die sich anschließenden Flussabschnitte mit den Gezeiten des Meeres mitschwingen (s. mehr Details in Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren).

Die Veränderung der Primärgrößen des Klimas bewirken im globalen Klimasystem komplexe (durch vielfältige Rückkopplungsprozesse geprägte) physikalische Reaktionen, die sich insbesondere an der Küste zeitlich und räumlich sehr unterschiedlich auswirken werden. Dabei sind es in der Küstenzone insbesondere die Ästuarare und damit die Seeschifffahrtsstraßen, die sozusagen von zwei Seiten betroffen sind:

- einerseits können durch regional veränderte Niederschlags-Abfluss-Verhältnisse die landseitigen fluvialen Zuflüsse in das Ästuar verändert werden und
- andererseits kann es seeseitig zu Veränderungen des lokalen mittleren Meeresspiegels kommen.

Für mittlere und häufig auftretende Verhältnisse kann es in den Ästuaren im Zusammenspiel dieser beiden Wirkpfade zu erheblichen, zum Teil schleichenden Veränderungen kommen, weil heute bestehende dynamische Gleichgewichtsbedingungen zwischen Strömung, Sedimenttransport und Gewässermorphologie verändert werden.

Regionale Klimamodelle beschreiben auf der Grundlage von globalen Klimamodellen für abgestimmte Szenarien insbesondere die Veränderungen der regionalen bodennahen Temperatur sowie der Niederschläge. Da der mittlere Meeresspiegel durch sehr verschiedene klimabedingte Faktoren verändert werden kann (von denen insbesondere die Änderungen

in der globalen thermohalinen Ozeanzirkulation und die Beiträge aus den großen landgebundenen Eismassen Grönlands und der Antarktis noch unsicher sind), ist die Klimasystemforschung sehr zurückhaltend mit vollständigen Aussagen zu wahrscheinlichen Veränderungen des Meeresspiegels. Im Rahmen einer Veranstaltung des Deutschen Klima-Konsortiums (DKK) am 22.11.2010 in Berlin wurden aktuelle wissenschaftliche Grundlagen, die in der Klimasystemforschung seit 2007 gewonnen wurden, für die Klimaverhandlungen in Cancún dargelegt und diskutiert. Hier hat Peter Lenke, Leiter des Fachbereichs Klimawissenschaften am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), die folgende These vertreten: »Die Bestimmung der Massenbilanz der beiden Eisschilde ist immer noch mit einem großen Fehler behaftet. (...) Zudem sind die gegenwärtig diskutierten Instabilitäten der Eisschilde nur wenig verstanden, was Projektionen für die kommenden 100 Jahre schwierig gestaltet. Insgesamt scheint aber ein Meeresspiegelanstieg von deutlich mehr als 1 Meter bis 2100 wenig realistisch« (DKK 2010). Aus dem Dargelegten ist zu folgern, dass noch keine fachlich belastbaren Regionalmodelle zur klimabedingten Veränderung des lokalen mittleren Meeresspiegels beispielsweise für die Deutsche Bucht vorliegen können.

In der gesamten Küstenzone ist die Frage nach möglichen Veränderungen der episodisch auftretenden Sturmfluten von existenziellem Interesse. Ein Sturmflutereignis entsteht im lokalen Küstenbereich aus der Überlagerung einer Windstauwelle mit einer Tidewelle (ggf. auch einer Fernwelle aus dem Nordatlantik) sowie durch den lokalen Brandungsstau und Wellenaufbau am Deich. Alle Komponenten des Sturmflutereignisses können im Zuge des Klimawandels intensiviert werden. Im oberen Abschnitt eines Ästuars kann der Sturmflutcheitelwasserstand noch signifikant durch eine Hochwasserwelle verstärkt werden. Die KLIWAS-Ressortforschung des BMVBS kann mit Blick auf die zukünftigen Sturmflutcharakteristiken wichtige Grundlagen für die Küstenschutzprogramme der Küstenländer beitragen.

Wenn die möglichen bzw. die zu erwartenden Folgen des Klimawandels für die Seeschiffahrtsstraßen, die Schifffahrt, die Infrastruktur sowie für Natur und Umwelt an den Wasserstraßen zu erforschen und dafür nachhaltige Anpassungsoptionen auf den Prüfstand zu heben sind, muss man den Blick über das Jahr 2100 hinaus richten, weil sich insbesondere im Bereich der Ästuare über lange Zeitspannen vielfältige Nutzungen entwickelt haben und weiter entwickeln werden. Die Zunahme von Wohn- und Industriegebieten mit dem Bedarf an und der Behandlung von Prozess- und

Brauchwasser, die Zunahme des modernen Tourismus, der Naherholung und des privaten Bootsverkehrs, der expandierende internationale Seeverkehr mit abgeschlossener Küsten- und Binnenschifffahrt, die Ausweitung von Logistikzentren zur Lagerung und zum Umschlag von Waren und die Expansion der Häfen für sehr tiefgehende Seeschiffe als Knoten einer sich ausweitenden Verkehrsinfrastruktur sind nur einige Beispiele für diese Nutzungsansprüche, die auch noch in den kommenden Jahrhunderten bestehen werden. Der insbesondere im Bereich der Ästuare stetig zunehmende Nutzungsdruck trifft gemeinsam mit den Auswirkungen des Klimawandels auf gesellschaftlich verstärkte Anforderungen zur Erhaltung und Verbesserung der besonderen naturgegebenen Lebensräume an der Küste und im Ästuar. Die niederländische Delta Commission (DELTAREPORT 2008) geht z.B. von einem regionalen Anstieg des Meeresspiegels zwischen 0,65 m und 1,3 m bis zum Jahr 2100 aus und blickt auch schon auf das folgende Jahrhundert mit denkbaren Szenarien für einen Anstieg des Meeresspiegels von 2 m bis 4 m bis zum Jahr 2200.

Die durch einen Klimawandel beeinflussten abiotischen Systemzustände (Wasserstände, Strömungen, Transporte von Meersalz, Sediment und Eis, fluvi-ale Abflüsse; Vermischungsprozesse von Süß- und Meerwasser, Lage der Brackwasserzone; Grundwasserbeschaffenheit; Seegang und Morphodynamik) verändern die biotischen Prozesse und die Natur- und Lebensräume der Meere und Küsten. Die Zustandsgrößen und Prozesse müssen insbesondere im Gebiet der vielgestaltigen Küstengewässer regional und lokal differenziert betrachtet werden. Lokale Prozesse wie Strömung, Seegang und Stofftransport stehen in enger Wechselwirkung mit der Morphodynamik (Formänderungen des Meeresbodens, der Wattgebiete und Vorländer). In der Brackwasserzone treffen die Arten des Süßwassers auf einen stromabwärts zunehmenden Salzgehalt. Sie sterben ab, wenn sie nicht die Fähigkeit besitzen, stromauf zu schwimmen oder den Salzgehalt zu tolerieren. Die durch Strömungen stromab transportierten Schweb- und Sinkstoffe des Flusswassers und die stromauf mit der Flutströmung transportierten Schweb- und Sinkstoffe des Salz- bzw. Brackwassers erzeugen eine Trübungszone. In dieser Zone kommt es zu einer erhöhten Sedimentation der transportierten Stoffe, die sich als Schlack mit einer weichen, breiigen Konsistenz in Nebengewässern, Nebenflüssen, Hafenzufahrten und Häfen anreichern. Aufgrund komplexer physikalischer Prozesse können auch in der Fahrinne sogenannte Weichsedimentstrecken entstehen.

Zur Bedeutung der küstenspezifischen Sedimente

Die Bedeutung der Sedimente ist insbesondere für den tidebeeinflussten Küstenraum hervorzuheben. Sie bestehen im Wesentlichen aus Sand, Schluff und Ton. Sie werden durch hydromorphologische Prozesse permanent umgelagert und sortiert und bilden damit die Grundlage für die geomorphologische Entwicklung der Küstenzone. Sie sind darüber hinaus ein entscheidender Faktor für das küstennahe Ökosystem und die Biodiversität in spezifischen Gewässerbereichen. Auf der anderen Seite sind die Sedimente auch Träger von Schadstoffen, die als industrielle Hinterlassenschaften in die Flusssysteme und damit zum Teil über sehr lange Wege aus dem Hinterland in die Küstenregionen gelangt sind. Das für alle Hafenzufahrten und Häfen notwendige Sedimentmanagement wird bereits heute nicht allein als Sicherung der Zufahrtstiefen verstanden. In der Managementstrategie sind eine Vielzahl weiterer Faktoren und Entwicklungsziele zu berücksichtigen. Dabei spielt vor allem auch die Erkenntnis eine entscheidende Rolle, dass die aus künstlichen Sedimentumlagerungen und natürlichen Erosionen resultierenden Feststofftransporte und Sedimentationen langfristig

zu unerwünschten morphologischen Entwicklungen in den Ästuaren und in der Küstenzone führen können. Mit diesem fachlichen Hintergrund wird deutlich, dass der Klimawandel für das Sedimentmanagement in der Küstenzone, das Bestandteil von Anpassungsstrategien sein muss, eine erhebliche Herausforderung darstellen wird.

Exemplarisches Untersuchungsergebnis zum Klimawandel an der Küste

Die regionalen und lokalen Auswirkungen des Klimawandels sind bisher, z.B. für die Küsten der Deutschen Bucht oder für die Tideästuare, nur sehr sporadisch auf der Grundlage wissenschaftlich gesicherter Methoden und Verfahren untersucht worden. Die Bundesanstalt für Wasserbau nutzt bereits seit vielen Jahren eine Kette von Simulationsmodellen für die Analyse der heutigen Systemzustände der Seeschiffahrtsstraßen und angrenzenden Gewässer und entwickelt diese den gestellten Anforderungen (z.B. für Ausbauforderungen) entsprechend schrittweise weiter. Mit diesem Werkzeugkasten können und werden auf wissenschaftlicher Grundlage nun auch regionale und lokale Auswirkungen untersucht, die sich aus möglichen Klimaentwicklungen an den deutschen Küsten von Nord- und Ostsee und in den Ästuaren ent-

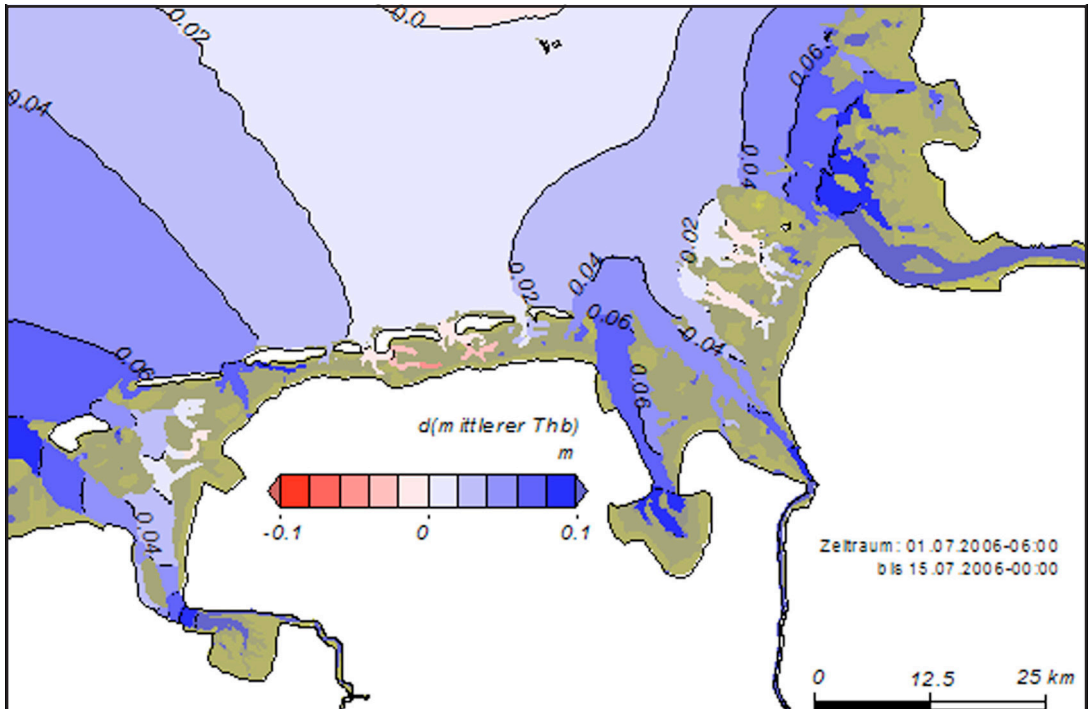


Abb. 2.4-1: Veränderung des näherungsweise mittleren Tidehubes in der inneren Deutschen Bucht für ein Meeresspiegelanstiegsszenario von 0,8 m.

wickeln können. Diese Untersuchungen basieren auf Szenarien, die noch nicht aus Regionalmodellen zur Berechnung des lokalen Meeresspiegelanstiegs abgeleitet werden konnten, weil diese Regionalmodelle noch nicht existieren. Die Szenarien (Randwerte für die Küstenmodelle) werden deshalb künstlich im Rahmen der derzeit diskutierten Veränderungsspannen gewählt.

Als ein wichtiges exemplarisches Ergebnis wird die Veränderung des Tidehubes in der inneren Deutschen Bucht dargestellt, die sich ergibt, wenn man den mittleren Wasserstand an den Rändern der Nordsee (im Übergangsbereich zum Nordatlantik) um 0,8 m anhebt und zunächst einmal in erster Näherung annimmt, dass sich in diesen Randbereichen die Gezeiten nicht signifikant verändern werden. Weiterhin basiert dieses Ergebnis noch auf der weniger realistischen Annahme, dass sich die morphologischen Strukturen in der Zeitspanne, die dem angenommenen Meeresspiegelanstieg entspricht, nicht verändern werden (s. *Abb. 2.4-1*).

Aus den Simulationsergebnissen mehrerer angenommener Szenarien können detaillierte Trendaussagen zu allen Zustandsgrößen abgeleitet werden, die im Rahmen der klimaverursachten Betroffenheiten von Bedeutung sein können. Diese Betroffenheiten ergeben sich aus der Veränderung der Wasserstände, Strömungen, Salzgehalte, Sedimenttransporte, Sedimentumlagerungen und damit auch der Veränderungen im Substrat. Die Simulationsergebnisse bieten somit eine hervorragende Grundlage für die Entwicklung denkbarer Anpassungsoptionen, die dazu dienen sollen, die durch Klimaänderungen entstehenden Betroffenheiten zu minimieren.

Besonders wichtig ist, dass die vorhandenen Methoden und Verfahren zur Simulation der verschiedenen Systemzustände von gestern, von heute und von morgen Schritt für Schritt weiter entwickelt und in einer langfristig gesicherten Anwendung vorgehalten werden können. Im Rahmen der Weiterentwicklung stehen insbesondere die Fragen zur morphologischen Anpassung der Küstengebiete in Folge der durch Klimawandel veränderten hydrodynamischen Belastungen im Fokus des Interesses.

Einfluss des Klimawandels im Bereich der Binnenwasserstraßen

Auch für den Binnenbereich lassen die gegenwärtig verfügbaren Klimaprojektionen weitreichende Auswirkungen möglich erscheinen. Als Folge des Klimawandels können wesentliche, die nautischen Verhältnisse bestimmende Faktoren (Abfluss, Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, deren Verteilung in Raum und Zeit, Gewässergeometrie, etc.) Änderungen erfahren und

ganz allgemein die Randbedingungen für die Binnenschifffahrt infolge ausgeprägterer Extrema und einer höheren hydrologischen und morphologischen Varianz ungünstiger werden.

Welche Änderungen wann und vor allem in welchem Ausmaß eintreten werden, lässt sich derzeit vor allem aufgrund der Unsicherheiten der gegenwärtig verfügbaren Klimaprojektionen in der für Planungen erforderlichen Verlässlichkeit nicht angeben. Ungeachtet dessen können natürlich für angenommene Änderungen im Rahmen von Szenarienbetrachtungen die Konsequenzen für die schiffahrtlichen Verhältnisse ermittelt und die Eignung unterschiedlicher Gegenmaßnahmen bewertet werden. Dies gelingt umso besser, je mehr über die Bandbreiten der möglichen Änderungen bekannt ist und die Szenarien ein realistisches Spektrum möglicher Entwicklungen abdecken.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen auf den verschiedenen, das System Schiff-Wasserstraße betreffenden Gebieten (Meteorologie, Hydrologie, Hydrographie, Hydraulik, Morphologie, Wasserbau, Gewässergüte, Ökologie) müssen jedoch nicht nur Antworten finden auf die Fragen, wie sich klimabedingte Veränderungen auf Schifffahrt und Wasserstraßen auswirken und welche Einschränkungen für die Schiffbarkeit und andere Nutzungen damit verbunden sind. Antworten werden auch erwartet auf die Fragen, welche Möglichkeiten zur Anpassung bestehen, mit welchen Anpassungsmaßnahmen in welchen Bereichen welche Verbesserungen erzielbar sind und ob diese Maßnahmen hinreichend wirtschaftlich sind, um geeignete Bausteine für eine langfristig orientierte Anpassungsstrategie zu bilden.

Auswirkungen und Betroffenheit

Das von der meteorologischen und hydrologischen Situation im Flusseinzugsgebiet abhängige Wasserdargebot und seine saisonale Verteilung bestimmen wesentlich die von der Binnenschifffahrt nutzbaren Wassertiefen und damit die verkehrliche Leistungsfähigkeit der Wasserstraße. Für die Schifffahrt ist daher die zukünftige Entwicklung der Abflusssituation von eminenter Bedeutung. Klimaprojektionen deuten auf Veränderungen der Häufigkeit und Intensität extremer Wetterperioden hin. Klimatische Änderungen können sich auch auf die Charakteristik der Abflussregime auswirken, wenn z.B. die puffernde Wirkung von Schneedecken in höheren Gebirgslagen abnimmt mit der Folge höherer Winter- und geringerer Sommerabflüsse.

Neben dem Abfluss sind auch der Feststoffhaushalt und der Zustand des Gewässerbetts für die Schiffbarkeit der Wasserstraßen entscheidend. Größere und schnellere Abflussschwankungen werden voraussicht-

lich zu vermehrten Umlagerungen an der Sohle und Veränderungen der Kornzusammensetzung der Sohlensedimente führen. Damit steigt für die Schifffahrt das Risiko, den Verkehrsweg hinsichtlich seiner örtlichen Tiefenverhältnisse falsch einzuschätzen, was sich in geringeren möglichen Tiefgängen bemerkbar machen wird. Hiervon ist natürlich insbesondere die auf eine Stabilisierung der Tiefenverhältnisse ausgerichtete Unterhaltungstätigkeit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) betroffen. Eine ganz zentrale Frage wird daher sein, ob und wie Baggerstrategien sowie Unterhaltungs- und Strombaukonzepte anzupassen sind, um auch angesichts der zu erwartenden Änderungen eine sichere, leichte und wirtschaftliche Schifffahrt zu gewährleisten.

Die als Schifffahrtswege dienenden Flüsse und Kanäle unterliegen grundsätzlich zahlreichen, teilweise konkurrierenden Nutzungen. Die Nutzung für Transportzwecke, für Zwecke der Wasserversorgung von Haushalten, Industrie und Gewerbe, der Bewässerung für den landwirtschaftlichen Bedarf, der Abwasserentsorgung, der Energiegewinnung, der gefahrlosen Hochwasser- und Eisabfuhr, der Fischerei sowie für Freizeit und Erholung ist verbunden mit jeweils eigenen Ansprüchen, für deren hinreichende Befriedigung die verschiedenen Systemparameter oft unterschiedlich zu optimieren sind. Vor diesem Hintergrund ist bei wesentlichen Veränderungen, z.B. zur Anpassung an klimabedingte Entwicklungen, im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren ein Ausgleich der unterschiedlichen sektoralen Interessen sicherzustellen.

Aus Sicht der Schifffahrt ist mit einer möglichen Zunahme extremer Abflusssituationen die größte Problematik verbunden. Zwei Auswirkungen sind hierbei von besonderer Bedeutung:

- die Verringerung der Abladetiefen bei Niedrigwasserabflüssen und die Verkürzung der möglichen Betriebszeiten infolge Zunahme von Niedrig- und Hochwasserphasen mit entsprechenden wirtschaftlichen Verlusten,
- die zunehmenden Belastungen von Gewässersohle und Ufer durch größere Strömungsgeschwindigkeiten bei Hochwasser und durch schiffsinduzierte Strömungen und Wellen.

Mit einer Zunahme von Abflusssituationen, an denen der Höchste Schifffahrtswasserstand (HSW) überschritten wird, nehmen die Ausfalltage für die Schifffahrt in gleichem Maße zu. Aus Sicht des Hochwasserschutzes ist von Bedeutung, wie markant diese Überschreitungen zukünftig ausfallen. Für die wirtschaftliche Situation der Binnenschifffahrt ist jedoch die Anzahl der Ausfalltage entscheidend. Diese resultieren natürlich - wie

der Sommer 2003 eindrücklich gezeigt hat - ebenso aus Niedrigwassersituationen. Aus Sicht der Befahrbarkeit ist die Situation bei Niedrigwasser allerdings anders zu bewerten als bei Hochwasser: Während ab einem bestimmten Hochwasserstand kein Schiffsverkehr mehr erlaubt ist, kann der Niedrigwassersituation in gewissen Grenzen durch Abladeverringerung und/oder Einsatz von kleineren Schiffen mit geringerem Tiefgang, also unter Inkaufnahme wirtschaftlicher Nachteile, begegnet werden. Bereits heute reagiert die Schifffahrt durch Teilabladung auf niedrigere Wasserstände.

Neben der Binnenschifffahrt selbst sind von diesen Änderungen aber auch die mit ihr zusammenhängenden Sektoren betroffen: Hafenbetreiber, die Lagerwirtschaft und vor allem die Industrien, die auf einen kostengünstigen Transport von Massengütern angewiesen sind. Letztlich können ungünstigere Schifffahrtsverhältnisse die Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit wasserstraßengebundener Transporte und damit die Wettbewerbsfähigkeit insbesondere von massengutaffinen Branchen stark beeinträchtigen (BMVBS 2009).

Anpassungsoptionen für die Binnenschifffahrt

Die Anforderungen der Binnenschifffahrt sind im Wesentlichen beschrieben mit Bedingungen, die einen sicheren, leichten und gleichzeitig wirtschaftlichen Betrieb gewährleisten. Dies setzt neben einer geeigneten Trassierung der Fahrinne vor allem deren ausreichende Tiefe und Breite voraus. Darüber hinaus erfordern Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs eine weitgehend lagestabile Fahrinne sowie moderate Fließgeschwindigkeiten.

Der Situation im Niedrigwasserbereich kann nicht nur von Seiten der Schifffahrt, sondern auch von Seiten des Verkehrswasserbaus flexibler begegnet werden als im Fall der vergleichsweise starren HSW-Grenze. Es ist daher folgerichtig, dass die verkehrswasserbaulichen Anstrengungen auf die Entwicklung insbesondere solcher Maßnahmen gerichtet sind, die es ermöglichen, die nutzbare Abladetiefe und damit das Transportvermögen für geringe Abflüsse zu erhöhen ohne die schiffsinduzierten Belastungen auf Sohle und Ufer zu vergrößern.

Grundsätzlich kann die Befahrbarkeit bei Niedrigwasser sowohl mit betrieblichen als auch mit baulichen Maßnahmen auf Seiten der Wasserstraße bzw. des Wasserstraßensystems und auf Seiten des Schiffbaus verbessert werden. Neben den Optimierungsmöglichkeiten mit Hilfe der klassischen, starren Regelungsbauelemente (Buhnen, Parallelwerke etc.) sind hier insbesondere auch neue Formen flexibler, d. h. temporär wirkender Flussbauwerke denkbar (WURMS et al. 2010).

Darüber hinaus bieten betriebliche Maßnahmen auf Seiten des Wasserstraßensystems (z.B. Wassermengenbewirtschaftung, Geschiebewardirtschaftung), auf verkehrlicher Seite (z.B. Verkehrsregelung, Telematikeneinsatz, automatisierte Schiffssteuerung) sowie auf schiffbaulicher Seite (z.B. Antriebs- und Steuersysteme, Tiefgang) Potential zur Anpassung an zunehmende Niedrigwassersituationen. Dem verstärkten Einsatz telematischer Dienste und der kontinuierliche Bereitstellung von Informationen über die vorhandenen Tiefen, damit die Binnenschiffe das vorhandene Fahrwasser bestmöglich ausnutzen können, kommen dabei besondere Bedeutung zu.

Ziel muss es sein, durch eine optimale Kombination von Fahrriennausbau und -unterhaltung sowie betrieblichen, verkehrlichen und schiffstechnischen Maßnahmen den Zeitraum der Befahrbarkeit zu maximieren.

Die freifließenden Binnenwasserstraßen verfügen derzeit regional über unterschiedliche Ausbaustände und somit streckenabhängig über ein unterschiedliches Ausbaupotential im Hinblick auf Niedrigwasserhältnisse. Daher erfordert jede klimaveranlasste Anpassungsstrategie zunächst die Untersuchung der Möglichkeiten eines Niedrigwasserausbaus, um zu ermitteln, in welchen Flussabschnitten mit Hilfe stationärer und/oder temporär wirkender baulicher Maßnahmen wie viel zusätzliche nutzbare Wassertiefe geschaffen werden kann. Anschließende fahrdynamische Untersuchungen sollten, unter Einbeziehung aller Möglichkeiten für eine verbesserte Schiffsführerinformation zur Nutzung von Übertiefen, eine Beurteilung und Quantifizierung der hierdurch erzielbaren nautischen Verbesserung ermöglichen.

Aus fahrdynamischer Sicht stellt sich zudem die Frage, welche Verkehrsfläche minimal erforderlich ist, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auch noch bei extremem Niedrigwasser oder bei einem angehobenen HSW zu gewährleisten. Wird auf einer gegenüber der normalen Fahrrinne reduzierten Breite eine größere Tiefe vorgehalten, können die Fahrzeuge länger wirtschaftlich verkehren. Als Ergebnis entsprechender Untersuchungen sind Mindestbreiten in Abhängigkeit von Schiffstyp, Steuerfähigkeit, Verkehrssituation und Verkehrsstärke streckenabhängig auszuweisen (WASSERMANN et al. 2010).

Es ist davon auszugehen, dass eine Zunahme extremer Abflusszustände grundsätzlich zu größeren schiffsinduzierten Belastungen führen wird. Die verschärfte Wettbewerbssituation der Binnenschifffahrt in Konkurrenz zu anderen Verkehrsträgern lässt erwarten, dass die Schiffsführer das vorhandene Fahrwasser stärker ausnutzen werden. Hinzu kommt, dass die Schiffe

bei Niedrigwasser wegen der eingeschränkten Querschnittsverhältnisse vermehrt im Bereich der kritischen Schiffsgeschwindigkeit fahren werden, in dem größere schiffserzeugte Strömungsgeschwindigkeiten und Wellen auftreten. Auch das Vorhalten größerer Fahrrirentiefen auf geringerer Breite oder die Anhebung der HSW-Marken können die Beanspruchungen des Gewässerbettes vergrößern und damit intensivere Unterhaltungsmaßnahmen erforderlich machen. Hier gilt es zu untersuchen, inwieweit durch Schiffsgeschwindigkeitsbegrenzung und Fahrt in einem eingeschränkten Fahrwasserbereich schiffserzeugte Wellen am Ufer begrenzt werden können.

Auch der Schiffbau wird sich den ggf. eintretenden Veränderungen anpassen. Änderungen sind z.B. in den Antriebs- und Ruderanlagen zu erwarten, um insbesondere die Navigationseigenschaften der Binnenschiffe zu verbessern. Dadurch sinkt die erforderliche Verkehrsfläche und die natürlichen Übertiefen im Fahrwasser können besser ausgenutzt werden. Dies hat auch geringere Belastungen bei angehobenem HSW zur Folge, da nicht nur die Fahrspurbreite kleiner ist, sondern weil die verbesserte Steuerfähigkeit dieser Schiffe auch kleinere Schiffsgeschwindigkeiten ermöglicht. Es gilt auszuloten, welches Potential durch verbesserte nautische Eigenschaften und die Möglichkeiten moderner Autopiloten erschlossen werden kann. Hierbei können Analysen in einem Schiffsführungssimulator, auch wegen der Möglichkeit zur optimalen Steuerung, wesentliche Grundlagen für die Festlegung streckenbezogener Fahrrienenmindestbreiten beisteuern.

Zur Validierung und Weiterentwicklung der fahrdynamischen Verfahren, z.B. bezüglich des Einflusses geringer Flottwassertiefen, der Instabilität des Schiffsufers und im Hinblick auf den Einfluss menschlicher Eigenschaften (Fahrfehler, unterschiedliche nautische Fähigkeiten) auf den Verkehrsflächenbedarf, sind Messungen im Rahmen von Naturversuchen weiterhin unverzichtbar.

Literatur

- BMVBS (2007): Schifffahrt und Wasserstraßen in Deutschland – Zukunft gestalten im Zeichen des Klimawandels – Bestandsaufnahme. Bonn, November 2007.
- BMVBS (2009): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Tagungsband zur 1. Statuskonferenz am 18. und 19. März 2009, Bonn 2009.
- DKK (2010): Vor Cancún – Aktueller Stand der Klimaforschung. Berlin, 22.11.2010. www.deutsches-klimakonsortium.de
- DELTA COMMISSION (2008): Working together with water, Findings of the Deltacommission 2008, http://www.deltacommission.com/doc/deltareport_full.pdf

WASSERMANN S. et al. (2010): Investigations to define minimum fairway widths for inland navigation channels. Proceedings of the PIANC MMX Congress, Liverpool UK 2010.

WURMS S. et al. (2010): Strategies to overcome the possibly restricted utilisation of fairways due to climate changes. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2010. Bundesanstalt

Dr. Harro Heyer,

Dr. Andreas Schmidt

Bundesanstalt für Wasserbau

BAW - Dienststelle Hamburg

Wedeler Landstr. 157 - 22559 Hamburg

Harro.Heyer@BAW.de