Technische Universität Dresden – Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
Dresdner Wasserbaukolloquium 2010
„Wasserbau und Umwelt – Anforderungen, Methoden, Lösungen“

Verkehrswasserbau im Zeichen des Klimawandels

Christoph Heinzelmann
Andreas Schmidt

Die Zukunftsfähigkeit des Verkehrssystems Schiff-Wasserstraße wird auch davon abhängen, ob und in welchem Maße die Schifffahrt und der Verkehrswasserbau in der Lage sind, sich auf die durch den Klimawandel zu erwartenden hydrologischen Veränderungen einzustellen. Aus verkehrswasserbaulicher Sicht sind im Binnenbereich vor allem die Verringerung der Abladetiefen bei Niedrigwasserabflüssen, Einschränkungen der Befahrbarkeitszeiten infolge der Zunahme von Niedrig- und Hochwasserphasen sowie die zunehmenden Belastungen der Gewässersohle und Ufer durch größere Strömungsgeschwindigkeiten und durch schiffsinduzierte Strömungen und Wellen von Bedeutung. In den Küstengewässern und Ästuaren können häufigere und intensivere Stürme und Sturmfluten die Nutzbarkeit der Seewasserstraßen sowie die Zugänglichkeit der Häfen erschweren. Stärkerer Seegang würde zu einer Zunahme der Belastung der Küstenbauwerke und damit zu erhöhtem Instandsetzungsaufwand führen. Aus Veränderungen der Tidewasserstände können bauliche Anpassungen von Buhnen und Leitwerken notwendig werden. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) untersucht im Rahmen des Verbundforschungsprogramms KLIWAS sowohl mögliche klimabedingte Auswirkungen auf Wasserstraße und Schifffahrt als auch die Eignung und Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen.

1 Einleitung

Die durch den Klimawandel zu erwartenden hydrologischen Veränderungen betreffen die Schifffahrt sowohl im Binnenbereich als auch im Küsten- und Ästuarbereich. Von diesen Veränderungen gehen direkte und indirekte Einflüsse auf die Schifffahrt sowie auf den Betrieb und die Unterhaltung der Bundeswasserstraßen aus. Als direkte Wirkung kann beispielsweise in den Küstengewässern und Ästuaren ein häufigeres Eintreten oder eine Intensitätszunahme der Stürme und Sturmfluten die Nutzbarkeit der Seeschifffahrtsstraßen und damit die Zugänglichkeit der Seehäfen erschweren. Insbesondere intensiverer Seegang kann zu einer Zunahme der Belastung von Offshore-Bauwerken, Seezeichen (Leuchttürme, Tonnen) und Anlagen des Seeverkehrs- und Küstenwasserbaus (Leitdämme, Buhnen, Deckwerke, Schleusen, Sperrwerkstore) mit der Folge

eines erhöhten Wartungs- und Instandsetzungsaufwandes führen. Aus der Veränderung der Tidewasserstände kann sich die Notwendigkeit zu baulichen Anpassungen von Buhnen und Leitwerken ergeben, z. B. in Bezug auf die erforderliche Kronenhöhe. Ein möglicherweise verändertes Einlaufen der Tidewelle in die Ästuare wird Anpassungen im tideabhängigen Ausbau erforderlich machen. Als indirekte Wirkung können sich Risiken ergeben aufgrund klimabedingter Änderungen der Ökosysteme, der Lebensräume oder der Lebensbedingungen (BMVBS, 2009).

Auch für den Binnenbereich lassen die gegenwärtig verfügbaren Klimaprojektionen weit reichende 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 schifffahrtlichen 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, Ozeanographie, Hydrologie, Hydrographie, Hydraulik, Morphologie, Gewässergüte, Ökologie, Wasserbau im Küsten- und Binnenbereich) müssen jedoch nicht nur Antworten finden auf die Fragen, wie sich klimabedingte Veränderungen auf Schifffahrt, Wasserstraßen, Küsten und Meeresnutzungen 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.

Die Zukunftsfähigkeit des Verkehrssystems Schiff-Wasserstraße wird also entscheidend davon abhängen, ob und in welchem Maße die Schifffahrt und der Verkehrswasserbau in der Lage sind, sich auf die durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen einzustellen. Der Bund als Eigentümer der Bundeswasserstraßen muss sich dabei jedoch nicht nur auf seine unmittelbare Kernaufgabe der Erhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs konzentrieren, sondern sich darüber hinaus auch mit den Auswirkungen auf andere Nutzungsinteressen auseinandersetzen.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Randbedingungen (Prozesse, Skalen) im Binnenbereich einerseits und im Küsten- und Ästuarbereich andererseits sind sowohl die Auswirkungen als auch die möglichen Anpassungsoptionen jeweils gesondert zu analysieren. Im Folgenden soll daher die Bedeutung möglicher klimatisch bedingter Änderungen für den Verkehrswasserbau anhand der Verhältnisse an den freifließenden Wasserstraßen im Binnenbereich aufgezeigt werden.

2 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. Eine Erwärmung kann 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. Für den Rhein liefern einzelne Messreihen aus der Vergangenheit bereits heute Anzeichen dafür, dass sich der Zeitraum des Auftretens der für die Schifffahrt kritischen niedrigsten Abflüsse im Herbst im Jahresverlauf nach vorne verschiebt (BMVBS, 2009).

Neben dem Abfluss sind auch der Feststoffhaushalt und der Zustand des Gewässerbetts für die Schiffbarkeit der Wasserstraßen entscheidend. Größere und schnellere Abflussschwankungen werden voraussichtlich zu vermehrten Sohlenumlagerungen und Veränderungen der Kornzusammensetzung der Sohlensedimente führen. Damit steigt für die Schifffahrt das „morphologische Risiko", den Verkehrsweg hinsichtlich seiner örtlichen Tiefenverhältnisse falsch einzuschät-

zen, 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.

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 wasserstraßen-gebundener Transporte und damit die Wettbewerbsfähigkeit insbesondere von massengutaffinen Branchen stark beeinträchtigen (BMVBS, 2009).

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 durch Verteuerung der Transporte,

- 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 jedoch ist 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.



Abbildung 1: Niedrigwassersituation am Mittelrhein im Jahr 2003 (Quelle: WSA Bingen)

Der Situation im Niedrigwasserbereich kann aber 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 folge-

richtig, 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.

3 Verkehrswasserbauliche Anpassungsoptionen

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 Fahrrinne vor allem deren ausreichende Tiefe und Breite voraus. Darüber hinaus erfordern Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs eine weitgehend lagestabile Fahrrinne sowie moderate Fließgeschwindigkeiten.

Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs auf freifließenden Wasserwegen hängt dabei entscheidend von der hydrologischen Varianz ab; häufige oder lang anhaltende extreme Abflusssituationen stehen dieser entgegen. Letztlich ist die Binnenschifffahrt, wie die anderen Verkehrsträger auch, vor allem auf verlässliche Randbedingungen angewiesen.

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 Regelungsbauwerke sind hier insbesondere auch neue Formen flexibler, d. h. temporär wirkender Flussbauwerke denkbar. Darüber hinaus bieten betriebliche Maßnahmen auf Seiten des Wasserstraßensystems (z. B. Wassermengenbewirtschaftung, Geschiebebewirtschaftung), auf verkehrlicher Seite (z. B. Verkehrsregelung, Telematikeinsatz, automatisierte Schiffssteuerung) sowie auf schiffbaulicher Seite (z. B. Antriebs- und Steuersysteme, Tiefgang) Optimierungspotential im Hinblick auf die zu erwartenden Änderungen.

Um zukünftig eine wirtschaftliche Befahrbarkeit der Wasserstraßen auch bei reduzierten Abflüssen zu ermöglichen, kommt der Weiterentwicklung und dem Einsatz telematischer Dienste besondere Bedeutung zu. Dies trifft auch auf die kontinuierliche Bereitstellung von Informationen über die vorhandenen Tiefen zu, damit die Binnenschiffe das vorhandene Fahrwasser bestmöglich ausnutzen können.

Verkehrswasserbaulich gilt es zunächst zu prüfen, welches Regelungspotential für Niedrigwasserverhältnisse unterschiedliche Flussabschnitte aufweisen, d. h. wieviel zusätzliche nutzbare Wassertiefe mit Hilfe baulicher Maßnahmen in welchen Abschnitten geschaffen werden kann. Darauf aufbauend sind hierzu geeignete bauliche und betriebliche Maßnahmen bzw. Maßnahmekombinationen zu ermitteln und zu bewerten.

Aus fahrdynamischer Sicht wiederum stellt sich 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.

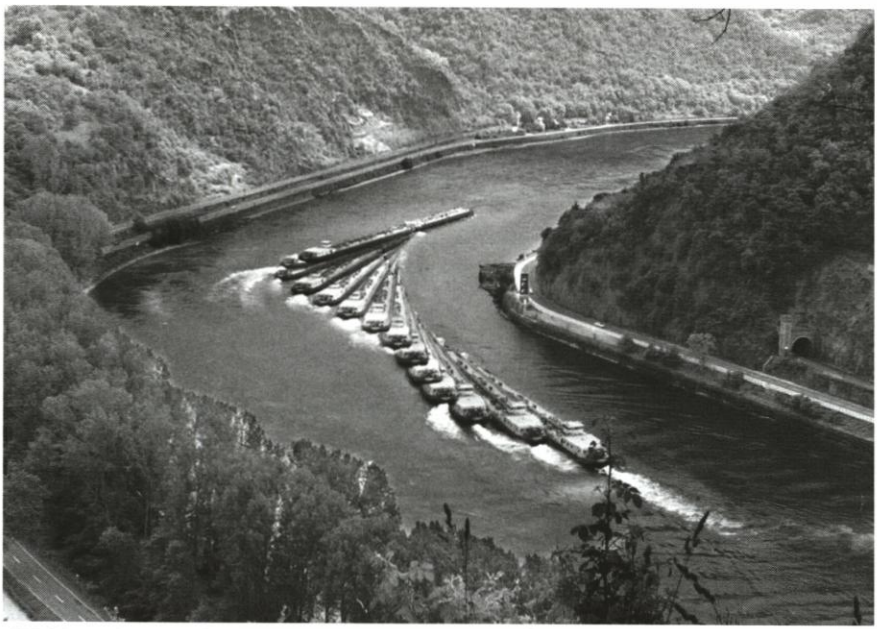


Abbildung 2: Bergfahrt eines Koppelverbandes im Mittelrhein (Aufnahme von der Loreley)

Es ist davon auszugehen, dass die beschriebenen Folgen des Klimawandels grundsätzlich zu größeren schiffsinduzierten Belastungen führen werden. 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 Niedrig-

wasser wegen der eingeschränkten Querschnittsverhältnisse vermehrt im Bereich der kritischen Schiffsgeschwindigkeit fahren werden, in dem größere schiffserzeugte Strömungsgeschwindigkeiten und Wellen auftreten. Auch das Vorhalten größerer Fahrrinnentiefen auf geringerer Breite oder die Anhebung der HSW-Marken können die Beanspruchungen des Gewässerbettes vergrößern und damit intensivere Unterhaltungsmaßnahmen erforderlich machen.

Hierbei ist zu beachten, dass sich der Schiffbau den klimabedingten Veränderungen anpassen wird. Starke Änderungen sind 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, weil nicht nur die Fahrspurbreite kleiner ist, sondern weil die Steuerfähigkeit dieser Schiffe auch noch bei ggf. erforderlichen kleineren Schiffsgeschwindigkeiten gewährleistet werden kann. Es gilt auszuloten, welches Potential durch verbesserte nautische Eigenschaften und die Möglichkeiten moderner Autopiloten bis hin zur vollautomatischen Schiffssteuerung erschlossen werden kann.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) untersucht in dem Anfang 2009 gestarteten Forschungsprogramm „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen“ (KLIWAS), einem Verbundforschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), u. a. investive und operative Maßnahmen zur Optimierung der Befahrbarkeit von Wasserstraßen im Binnen- und Küstenbereich. Das gemeinsam vom Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der BAW bearbeitete Forschungsprogramm zielt darauf ab, sowohl mögliche klimabedingte Änderungen der Abflüsse und Wasserstände für Binnenwasserstraßen und Änderungen der Strömungen und Tidewasserstände für die Küstengewässer abzuschätzen als auch deren Auswirkungen auf die Schifffahrt zu untersuchen. Ein wesentliches Ziel ist es, durch eine optimale Kombination von Fahrrinnenausbau und -unterhaltung sowie betrieblichen und schiffstechnischen Maßnahmen den Zeitraum der Befahrbarkeit zu maximieren.

3.1 Bauliche Anpassungsoptionen

Ein Ziel der Untersuchungen der BAW im Rahmen von KLIWAS ist es, mögliche wasserbauliche und betriebliche Maßnahmen zu identifizieren und zu be-

werten, mit denen in Niedrigwasserperioden Mindestfließtiefen in freifließenden Wasserstraßen über längere Zeiträume als heute gewährleistet werden können.

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

Exemplarisch für die freifließenden Flüsse wird am Rhein eine Systematik erarbeitet, bei der auf der Grundlage der Analyse und Beurteilung des Ausbauzustandes (insbesondere des Niedrigwasserausbaus) sowie fahrdynamischer Analysen wesentliche Relationen im Hinblick auf ihr Optimierungspotential bewertet werden.

Das Potential folgender Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Verbesserung der Schiffbarkeit bei extremen Wasserständen wird auf der Grundlage hydrodynamisch-morphologischer Simulationen streckenbezogen ermittelt und bewertet:

- Niedrigwasserausbau mit klassischen Regelungsbauwerken (Buhnen, Kopfschwellen, Parallelwerke, Grundschwellen),
- flexible, bei Niedrigstwasserständen wirksam werdende Bauwerke,
- Herstellung und Unterhaltung von nautisch nutzbaren und durchgängigen Übertiefen in Form einer Niedrigwasserfahrrinne („Fahrrinne in Fahrrinne“) sowie
- Bagger- und Umlagerungsstrategien / Geschiebemanagement.

3.2 Angepasste Fahrrinnenbreiten

Eine der möglichen Anpassungsmaßnahmen ist die Beschränkung der Fahrrinnenbreite in Phasen extremer Wasserstände, also bei Niedrig- und Hochwasser. Zum einen lassen sich dadurch auf geringerer Breite wirtschaftlich größere Fahrwassertiefen bei Niedrigwasser realisieren. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die HSW-Marken anzuheben, da kleinere Fahrrinnenbreiten im Regelfall zu größeren Uferabständen führen, wodurch schiffsinduzierte Uferbelastungen auf das Maß ohne HSW-Anhebung beschränkt werden können. Dadurch lässt sich der Zeitraum zur wirtschaftlichen Nutzung der Binnenwasserstraße bei zunehmenden Wasserstandsextrema aufrechterhalten, möglicherweise sogar erweitern.

Im Rahmen des KLIWAS-Programms geht die BAW der Frage nach, wie breit die Fahrrinne mindestens sein muss, um einen sicheren und leichten Schiffsverkehr zu gewährleisten. Die Analysen bauen dabei auf den in der BAW entwickelten Trassierungsverfahren und Erfahrungen zu notwendigen Sicherheitsabständen auf, um die technische Untergrenze der Mindestbreiten zu definieren. Im Ergebnis werden Mindestbreiten in Abhängigkeit von Schiffstyp, Steuerfähigkeit, Verkehrssituation und Verkehrsstärke streckenabhängig ausgewiesen.

Unter der Zielsetzung, den HSW zu erhöhen, wird darüber hinaus streckenabhängig untersucht, inwieweit durch Schiffsgeschwindigkeitsbegrenzung und Fahrt in einem eingeschränkten Fahrwasserbereich schiffserzeugte Wellen am Ufer begrenzt werden können.

Naturversuche im Bereich des Mittelrheins dienen der Validierung und Erweiterung der fahrdynamischen Verfahren, u. a. bezüglich des Einflusses geringer Flottwassertiefen, der Instabilität des Schiffspfades und im Hinblick auf den Einfluss menschlicher Eigenschaften (Fahrfehler, unterschiedliche nautischen Fähigkeiten) auf den Verkehrsflächenbedarf und somit die notwendigen Mindestfahrrinnenbreiten. Die physikalische Beschreibung der Fahrdynamik von Binnenschiffen in den numerischen Verfahren der BAW sowie Simulationen im BAW-Schiffsführungssimulator mit der Möglichkeit einer optimalen Steuerung bilden wesentliche Grundlagen für die Festlegung der streckenbezogenen Fahrrinnenmindestbreiten. Darüber hinaus werden im Rahmen von Sensitivitätsbetrachtungen zum Potential verbesserter Informationssysteme, optimaler Schiffssteuerung und flussangepasster Binnenschiffe Möglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit unter Engpassbedingungen analysiert.

4 Literatur

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2009): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Tagungsband zur 1. Statuskonferenz am 18. und 19. März 2009, Bonn 2009.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann

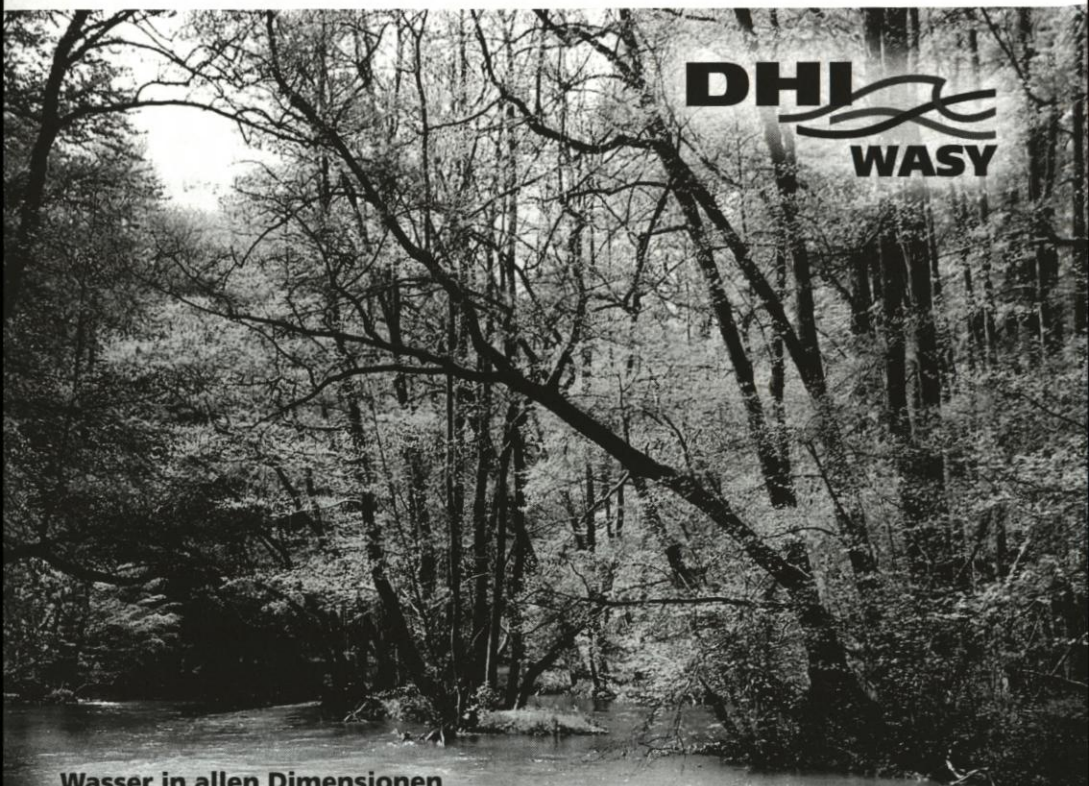
Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Tel.: +49 721 9726 3000
Fax: +49 721 9726 4540
E-Mail: christoph.heinzelmann@baw.de

Dr.-Ing. Andreas Schmidt

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Tel.: +49 721 9726 3010
Fax: +49 721 9726 2610
E-Mail: andreas.schmidt@baw.de



Wasser in allen Dimensionen

Bei Problemen und Fragen zu Wasser ist DHI-WASY der richtige Partner für Sie. Unternehmen, Verwaltungen und Behörden sowie Forschung und Lehre nutzen unsere Produkte, Lösungen und Beratungen. DHI-WASY gehört zu den führenden Ingenieurbüros Deutschlands auf dem Gebiet von Wasser und Umwelt. Hochqualifizierte Ingenieure, Naturwissenschaftler und Informatiker entwickeln innovative Software, kundenspezifische Lösungen für Informations- und Entscheidungsprozesse und beraten zu allen wasserwirtschaftlichen Fragen und zum Umweltschutz.

Unsere Angebote zum Hochwasserschutz

- Hochwassermanagement mit Ausweisung von Überschwemmungsgebieten und der Risikomanagementplanung (gemäß EU-Hochwasserrichtlinie)
- Niederschlag-Abfluss- und Gewässermodelle als Planungs- und Entscheidungsgrundlage
- Planung von umweltgerechtem Wasserbau, für den Hochwasserschutz, die Stadtentwässerung und für die Renaturierung von Gewässern

DHI-WASY GmbH
Waltersdorfer Straße 105
12526 Berlin
Telefon (030) 67 99 98-0
Telefax (030) 67 99 98-99
E-Mail mail@dhi-wasy.de
Internet www.dhi-wasy.de