

Sachstand der PIANC Incom WG 141: Bemessungsgrundlage für Binnenwasserstraßen

Dr.-Ing. Bernhard Söhngen,
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Prof. Dr. Katrien Eloot,
Flämische Regierung, Ministerium für Mobilität und
öffentliche Arbeiten, Forschung im Bereich Wasserbau,
Flandern

Zusammenfassung

Die Arbeitsgruppe PIANC INCOM WG 141 wurde 2010 gegründet, um zur Unterstützung der Planer von Binnenwasserstraßen Bemessungsstandards in Analogie von Standards für Seeschiffe zu entwickeln, wie sie beispielsweise von der PIANC MARCOM WG 49 ausgearbeitet wurden. Es stellte sich heraus, dass der MARCOM-Ansatz hinsichtlich der angegebenen Zahlenwerte aufgrund der besseren Steuerbarkeit von Binnenschiffen, ihrer niedrigeren Geschwindigkeiten und der geringeren Schäden bei Havarien generell nicht auf Binnenwasserstraßen anwendbar ist, wohl aber das methodische Vorgehen. Hinzu kommt, dass bei der Bemessung von Binnenwasserstraßen besondere Bemessungsaspekte stärker zu beachten als bei Seeschiffen, wie der häufig stärkere Einfluss von Querströmungen oder die schlechteren Sichtbedingungen. Aus diesen Gründen wird von WG 141 eine neue Bemessungsmethode empfohlen. Sie betrifft insbesondere die erforderlichen Fahrrinnenbreiten in Kanälen und Flüssen, die Breiten und Höhen unter Brücken, den Mindestdurchmesser von Wendeböden oder die Längen- und Breitenabmessungen von Schleusenvorhöfen. Es fanden insgesamt acht Arbeitsgruppenbesprechungen statt, zwei Interimstreffen zu besonderen Fragen, ein Workshop im Rahmen der Smart Rivers Konferenz im vergangenen Jahr sowie mehrere internen Workshops. In diesen Treffen konnte die Arbeitsgruppe die Überprüfung der bestehenden Richtlinien abschließen. Sie untersuchte mehrere Best Practice-Beispiele, v.a. für Fahrrinnenbemessungen in Flüssen, Abmessungen von Schleusenvorhöfen und Brückendurchfahrtbreiten. Ein erster Entwurf der zukünftigen Richtlinien befindet sich momentan in Vorbereitung. Er baut in erster Linie auf den Beiträgen zur Smart Rivers Konferenz 2013 und auf dem vorliegenden Beitrag auf sowie auf den Vereinbarungen des letzten Treffens im Februar dieses Jahres. Dieser Beitrag stellt die Arbeitsweise der Arbeitsgruppe und ihre Erkenntnisse vor. Die drei empfohlenen Bemessungsschritte „Konzept-Design-Methode“ (Concept Design Method), „Bemessung aus Erfahrung“ (Best Practice Approach) und „Detaillierte Bemessung“ (Detailed Design) werden anhand von Beispielen ausführlicher dargestellt. Wie bei allen Bemessungsszenarien müssen mögliche zukünftige oder erforderliche Bedingungen für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs bewertet oder festgelegt werden. Zu diesem Zweck stellt WG 141 den Planern einen geeigneten Ansatz zur Verfügung, welcher den Faktoren Schiffstyp, Schiffsgeschwindigkeit und Verkehrsstärke sowie den örtlichen Randbedingungen Rechnung trägt.

1. Einleitung

Die Arbeitsgruppe PIANC-INCOM WG 141 "Design Guidelines for Inland Waterways" (Bemessungsrichtli-

nien für Binnenwasserstraßen) wurde unter anderem aufgrund des Mangels an international anerkannten Richtlinien für die Abmessungen von Binnenwasserstraßen gegründet. Im Gegensatz zur Binnenschifffahrt bestehen solche Regelungen für die Seeschifffahrt für besondere Bemessungssituationen, z.B. Zufahrtkanäle für Seeschiffahrtshäfen. Es besteht also ein Bedarf an geeigneten neuen Richtlinien, insbesondere für die Mindestbreiten von Fahrrinnen, von Schleusenvorhöfen oder von Brückendurchfahrten, u.a. als Unterstützung für etliche neue Projekte zum Ausbau der Wasserstraßen. Auch die Veränderungen in der Schiffsflotte (vor allem durch den wachsenden Anteil längerer und breiterer Schiffe mit größerem Tiefgang und höherer Motorleistung) und somit die Abmessungen der Bemessungsschiffe sind Motivation, das bestehende verkehrswasserbauliche Wissen auf den neuesten Stand zu bringen. Allgemein sind diese neuen Schiffe der Grund, warum breitere Schleusenkammern, Vorhöfen und Fahrrinnen benötigt werden. Andererseits haben die neuen Schiffe meist bessere nautische Eigenschaften als die älteren Fahrzeuge. Beispielsweise haben sie meist zwei Propeller anstatt nur einem, sie sind mit Zwillings- statt anstatt Einzelrudern ausgerüstet und haben starke Bugstrahlruder oder passive Bugruderanlagen. Diese schiffstechnische Entwicklung, die von einem allgemeinen Rückgang der Anzahl der auf den Binnenwasserstraßen verkehrenden Fahrzeuge begleitet ist, bietet die Chance, die Breitenabmessungen des Fahrwassers trotz größerer Schiffsbreiten zu begrenzen. Außerdem stehen neue und bessere Informationsdienste zur Verfügung, beispielsweise auf der Basis von GPS, ECDIS und AIS. Durch die laufenden Verbesserungen bei der Aktualisierung von bathymetrischen Daten, bessere Wasserstandsprognosen sowie die numerische Modellierung von Flüssen stehen zudem detailliertere Daten über lokale Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten zur Verfügung. Dies wird voraussichtlich dazu führen, dass künftig viel mehr Schiffe autopilotiert werden, wodurch die Kapazität der bestehenden oder eingeschränkt nutzbaren Wasserstraßen so weit wie möglich ausgenutzt werden kann.

Anders als in der maritimen Schifffahrt ist der Schiffsverkehr mit Binnenschiffen generell mit weniger Gefahren verbunden. So ist z. B. der Kontakt mit Ufersicherungen mehr oder weniger eine Standardsituation beim Befahren von Kanälen. Dies erscheint vertretbar, weil die Schiffsgeschwindigkeiten niedriger sind und Binnenschiffe über eine deutlich geringere Masse verfügen als Seeschiffe. Ihre kinetische Energie ist damit sehr viel geringer als die von Seeschiffen. Dies wird in folgendem Beispiel deutlich: Dabei wird für ein Seeschiff eine typische Geschwindigkeit 12 Knoten (etwa 22 km/h) angenommen, die im Bericht von MARCOM WG 49 über die Dimensionierung von Zufahrtkanälen zu Häfen (PIANC 2014) die Grenze beschreibt, ab der ein Zuschlag an erforderlicher Fahrrinnenbreite zur Berücksichtigung höherer Schiffsgeschwindigkeit erfolgt. Für Binnenschiffe wird eine Geschwindigkeit von 13 km/h angesetzt, die sich als Durchschnittswert am freifließenden Rhein ergab. Weiterhin wird angenommen, dass die Masse der größten Seeschiffe in etwa um das Zehnfache größer ist als die der größten Schubverbände auf den Binnenwasserstraßen. Im Ergebnis errechnet sich ein Faktor von ca. 29, um den die kinetische Energie und damit das Schadenspotenzial von Seeschiffen größer sind als von Binnenschiffen. Dar-

über hinaus übersteigen die Antriebskräfte bzw. die Ruderkräfte im Verhältnis zur Schiffsmasse bei Binnenschiffen das Verhältnis bei Seeschiffen etwa um das Vierfache. Bei Berücksichtigung sämtlicher Faktoren sind die Reaktionszeiten der größten Seeschiffe etwa um das Sechsfache länger als die der Binnenschiffe. Das heißt, dass das Schadenspotenzial von Binnenschiffen erheblich niedriger ist und dass ihre Fähigkeit, Schäden zu vermeiden aufgrund der besseren Steuerbarkeit größer ist. Die Standards für Seeschiffe, wie sie beispielsweise im oben erwähnten MARCOM-Bericht beschrieben sind, müssen folglich höher angesetzt werden als für Binnenschiffe.

Dies zeigt sich, wenn der MARCOM-Ansatz für gerade Fahrwasserabschnitte ohne signifikanten Seitenwind auf Binnenschiffe angewendet wird, und zwar unter der Annahme folgender Verhältnisse: gute Manövrierfähigkeit, verhältnismäßig niedrige Schiffsgeschwindigkeiten (< 8 Knoten), geböschte Ufer, glatte und geringer feste Sohle sowie ein Verhältnis zwischen Wassertiefe d und Tiefgang T von 1,25 bis 1,5. Daraus ergibt sich für Kanäle eine Mindestbreite (auf Kielebene), die bei einspuriger Verkehrsführung abhängig von den nautischen Hilfsmitteln (ausgezeichnet oder gut) etwa das 2,2- bis 2,4-fache der Schiffsbreite B beträgt. Bei zweispurigem Verkehr ist eine Mindestbreite von 4,8 bis 5,7 Mal B erforderlich, wiederum abhängig von den verfügbaren nautischen Hilfsmitteln und der Verkehrsstärke (gering bis gemäßigt). Diese Werte sind größer als die von WG 141 empfohlenen Werte für gerade Kanäle, die in Abhängigkeit von der gewählten Leichtigkeitskategorie bei ca. 2 B für einspurigen und 3 bis 4 B für zweispurigen Verkehr liegen. Die Unterschiede zwischen dem MARCOM-Ansatz und WG 141 sind in Bezug auf den zweispurigen Verkehr am größten: Bei dieser Fahrsituation besteht bei Seeschiffen ein wesentlich höheres Schadenspotenzial als bei Binnenschiffen. Die Unterschiede sind jedoch auch darin begründet, dass Binnenschiffe im Verband fahren können, mit unterschiedlichen Länge-Breite-Verhältnissen (L/B). Seeschiffe hingegen verkehren in der Regel als Einzelfahrer und ihr L/B -Verhältnis ist aus hydrodynamischen Gründen weniger variabel. Dies rechtfertigt wiederum die Nutzung des Parameters B als einzigen maßgebenden Skalierungsparameter für die Fahrwasserbemessung bei Seeschiffen - mit wenigen Ausnahmen wie z.B. Zusatzbreiten in Kurven. Die erforderlichen Abmessungen der Wasserstraßen für Binnenschiffe können im Gegensatz dazu u.a. stark mit L/B variieren. Aus diesen Gründen können die im Bericht von MARCOM WG 49 über Zufahrtskanäle zu Häfen genannten Bemessungswerten für die erforderliche Fahrrinnenbreite von Seeschiffen grundsätzlich nicht auf Binnenwasserstraßen übertragen werden. Zu Vergleichszwecken ist der MARCOM-Ansatz jedoch eine nützliche Referenz für zukünftige Richtlinien für Binnenschiffe im Falle hoher Leichtigkeitsanforderungen, wenn Obergrenzen für Fahrwasserabmessungen definiert oder Unterschiede zwischen zwei Bemessungsfällen (z.B. mit und ohne Seitenwind) ermittelt werden müssen.

Niedrigere Leichtigkeitsstandards als bei Seeschiffen werden auch aus ökologischen Erwägungen verlangt (hier ist insbesondere die Europäische Wasserrahmenrichtlinie zu beachten). Aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels auf frei fließende Gewässer könnten Planer und Betreiber von Wasserstraßen zudem gezwungen sein, Fahrrinnen – trotz größerer Fahrzeuge –

sogar zu verengen oder ihren Abstand zu ökologisch sensiblen Gebieten zu vergrößern. Diese Zwänge haben grundsätzlich Auswirkungen auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Binnenschiffverkehrs. All diese Aspekte zeigen die Notwendigkeit, die Mindestanforderungen für die Abmessungen von Wasserstraßen festzulegen, vor allem unter Berücksichtigung nautischer Gesichtspunkte. Dies bedeutet nicht, dass diese Mindestabmessungen von WG 141 vorgeschlagen werden. Ganz im Gegenteil: Mit Blick auf die Aspekte Sicherheit und Leichtigkeit sowie betriebliche Effizienz des Schiffsverkehrs sollte die Bemessung grundsätzlich möglichst großzügig erfolgen. Mit Blick insbesondere auf die Auswirkungen auf die Umwelt, sozio-ökonomische Aspekte oder die politisch-wirtschaftlichen Aspekte eines Ausbaus der Wasserstraßen sollte die Bemessung andererseits so eng wie erforderlich sein - aber nicht mehr als das. Eine sinnvolle Vorgehensweise besteht also darin, gerade diese Untergrenzen zu definieren, um unnötige Diskussionen mit Gegnern von Ausbaumaßnahmen zu vermeiden und sich ausschließlich auf die nautischen Aspekte zu konzentrieren. Dies ist die Hauptaufgabe der Arbeitsgruppe PIANC-INCOM WG 141. Adäquate Mindestabmessungen werden jedoch stark von den örtlichen Randbedingungen beeinflusst. Dies ist der Grund, warum der heute übliche und allgemein anerkannte Bemessungsansatz, der nachfolgend als Konzept-Bemessungs-Methode bezeichnet wird und die Grundlage der existierenden Richtlinien bildet, in solchen Fällen versagt, in denen besondere Faktoren zu berücksichtigen sind, die stark von den Bemessungsszenarien der Richtlinien abweichen, oder wenn die Anwendung existierender Bemessungsformeln ihre Grenzen erreicht. Zu den besonderen Faktoren zählen beispielsweise, vor allem wenn sie kombiniert auftreten:

- Ungünstige Fahrwasserbedingungen wie starke Krümmung, geringe Tiefe, geringe Fahrwasserbreite, große Fließgeschwindigkeiten, starke Querströmungen, hohe Turbulenzen, große Wasserspiegelneigung, unregelmäßiger Uferverlauf.
- Schlechte hydrologische Bedingungen und Wetterverhältnisse wie geringe Voraussicht, starker Wind, stark steigender oder fallender Wasserstand, Niedrig- oder Hochwasser.
- Schiffstyp, Steuerungseinrichtung und Instrumentierung: Schiffe ohne Bugstrahlruder, geringe Antriebsleistung, keine modernen Informationssysteme wie Radar, GPS, ECDIS, AIS.
- Ungewöhnliche Beladung wie sehr großer Tiefgang in Relation zur Wassertiefe, Leerfahrt bzw. stark hecklastig ballastiertes Schiff, gefährliche Ladung so wie sehr schnelle oder langsame Schiffsgeschwindigkeit.
- Besondere Fahrsituationen wie Überholungen oder starker Verkehr.

Daher wurde von WG 141 eine dreistufige Bemessungsmethode (Söhngen, Rettemeier, 2013b) vorgeschlagen, die in Kapitel 4 näher erläutert wird. Da die Methode in einem gewissen Widerspruch zu den von INCOM definierten Aufgaben steht, werden die Entscheidungen von WG 141 zu diesem Punkt im nachfolgenden Kapitel 3 kurz erörtert (Söhngen, 2013, Söhngen & Rettemeier, 2013a). Der letzte Vorschlag zur

Berücksichtigung der Aspekte Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs wird in Kapitel 5 ausführlicher dargestellt, da er alle relevanten Bemessungsfälle betrifft. Abschließend wird ein Ausblick auf weitere und laufende Aktivitäten in WG 141 gegeben.

2. Diskussion der TOR

Gemäß Auftrag der PIANC Kommission für Binnen-schifffahrt vom Juni 2009 (Terms of Reference, TOR) ist es die Aufgabe von WG 141, „aktuelle Beiträge, Datenquellen, Forschungsarbeiten und Erfahrungsberichte zu überprüfen, die für die Bemessung der Binnenwasserstraßen relevant sind, und eine Veröffentlichung durch PIANC vorzubereiten, welche Richtlinien für Planer, Entwickler und Betreiber geplanter und bestehender Binnenwasserstraßen bereitstellt“. Der Bericht soll sich „allen wichtigen Themen widmen, die im Zusammenhang mit den Einschränkungen stehen, welche sich aus der gewerblichen Schifffahrt und dem Verkehr von Sportbooten auf Flüssen oder Kanälen ergeben“. Dabei sollen u. a. auch die Effekte von „Sicht, Strömung, Wind, Querströmungen und Schiffsgeschwindigkeit“ Berücksichtigung finden. Die Empfehlungen sollen sich auf die Schwerpunkte „Breite und Tiefe der Fahrinne, Einfluss der Krümmung von Kurven und Abmessungen von Schleusenvorhöfen“ sowie Brückendurchfahrtbreiten konzentrieren. Diese umfassende Anforderung von INCOM wurde bei der ersten Zusammenkunft von WG 141 kontrovers diskutiert. Aufgrund der Erfahrungen der Mitglieder von WG 141, der tatsächlichen Bedeutung einer im stetigen Wandel begriffenen Flotte und im Hinblick darauf, was eine Arbeitsgruppe in einem beschränkten zeitlichen Rahmen leisten kann, beschloss die Arbeitsgruppe, sich auf die gewerbliche Schifffahrt zu konzentrieren.

Die TOR verlangen als Aufgabe die „Untersuchung der tatsächlichen Schiffsabmessungen gemäß den bereits vereinbarten Standards wie CEMT, UNECE, USACE und die „Formulierung“ entsprechender „Abmessungen für Fahrwasser und Infrastruktur“. Dies wurde nicht in Frage gestellt, denn aktuelle Projekte hängen überwiegend mit dem Wasserstraßenausbau für diese neuen Standards zusammen. Die Arbeitsgruppe wurde weiterhin beauftragt, sich mit „einspurigem und zweisporigem Verkehr im Fahrwasser zu befassen sowie mit der damit verbundenen Dichte und Überwachung des Verkehrs, die den wirtschaftlichen Ausbau von kleinen oder wenig genutzten Wasserstraßen fördern wird“. Bei der „Überprüfung der Fahrwasserabmessungen“ sind auch die „laufenden Forschungsarbeiten und -beiträge, die sich mit dem Klimawandel und der größtmöglichen Verringerung der Auswirkungen des Schiffsverkehrs auf das Ökosystem des Fahrwassers befassen, zu berücksichtigen“. „Sofern möglich, sind Verweise auf Maßnahmen zum Hochwasserschutz und zur Vermeidung negativer Auswirkungen von Niedrigwasserphasen zu berücksichtigen, obwohl anerkannt wird, dass die derzeitigen umfangreichen Forschungstätigkeiten zum gegenwärtigen Zeitpunkt möglicherweise noch keine Schlussfolgerungen zulassen“.

Für die Mitglieder der Arbeitsgruppe stellte sich die Frage, wie diese weitreichenden Aufgaben in dem verfügbaren Zeitrahmen erfüllt werden sollten. Andererseits ist dies vielleicht auch nicht erforderlich, wenn technische Mindestgrenzen für die Abmessungen von

Wasserstraßen unter Berücksichtigung der notwendigen Sicherheits- und Leichtigkeitsstandards festgelegt werden. In diesem Fall werden die Anforderungen einer in wirtschaftlicher, ökologischer und hydraulischer Hinsicht annehmbaren Bemessung zum Teil automatisch mit berücksichtigt, da dieser Ansatz sowohl eine Unterdimensionierung als auch eine Überdimensionierung vermeidet. Zudem wird dadurch unnötigen Diskussionen über die Art und das Ausmaß geplanter Ausbaumaßnahmen an den Wasserstraßen vorgebeugt. Aus diesen Gründen wird sich die Arbeit in WG 141 auf technische Aspekte sowie die Anforderungen an die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs beschränken. Das bedeutet insbesondere, dass WG 141 die vorgeschlagenen Ausbaumaßnahmen nicht infrage stellt. Diese sind grundsätzlich das Ergebnis intensiver ökonomischer und ökologischer Studien und liegen somit nicht im Bereich der Empfehlungskompetenz der WG 141. In diesen Studien wird auch definiert, welche Schiffe zu berücksichtigen sind. Auch diese Festlegung wird als gegebene Randbedingung akzeptiert. Wichtige nautische Aspekte der Bemessung hingegen, die sich wiederum allgemein auf die Ausbaumaßnahmen und somit die Planungsstandards auswirken könnten, müssen jedoch in den Empfehlungen betrachtet werden, zum Beispiel die Notwendigkeit des zweisporigen Verkehrs oder die Wahl geeigneter Sicherheits- und Leichtigkeitsstandards. Die zukünftigen Richtlinien (siehe Kapitel 4.2) müssen auch einen geeigneten Ansatz festlegen, mit dem sämtliche relevanten Bemessungsaspekte berücksichtigt werden können. Dies betrifft neben der Klärung des konkreten Bemessungsfalls auch die Auswahl relevanter Randbedingungen und geeigneter Bemessungsmethoden, die Durchführung der eigentlichen Bemessung sowie die Überprüfung der Auswirkungen und der Nachteile der Ausbaumaßnahmen im Allgemeinen und der oben genannten Punkte im Besonderen, damit gegebenenfalls die Bemessungsparameter verfeinert werden können. Konkrete Werte, z. B. die erforderliche Mindestlänge von Schleusenvorhöfen, werden jedoch nur aus nautischer Sicht angegeben!

Die zukünftigen Empfehlungen von WG 141 übernehmen daher die geplanten Maßnahmen generell als gegebene Randbedingung für die nautische Auslegung, enthalten aber dennoch Hinweise, wie sich die nautische Auslegung auf die Maßnahmen auswirken könnte. Daher beinhalten die zukünftigen Empfehlungen keine eigentlichen Empfehlungen zu Notwendigkeit und ökologischer Vertretbarkeit von Maßnahmen oder zu geeigneten Schiffstypen, sondern beleuchten die Bemessung lediglich aus der Perspektive Ursache/Wirkung und Nautik. Dieser restriktive Ansatz wurde nicht gewählt, weil die Mitglieder der Arbeitsgruppe nicht in der Lage oder willens gewesen wären, umfassendere Antworten zu liefern (in ihrer beruflichen Tätigkeit sind sie häufig mit diesen Fragestellungen befasst), sondern weil die kaum mit den Zielen von PIANC in Einklang gebracht werden könnten. Zudem könnte es sich selbst innerhalb der Arbeitsgruppe als schwierig erweisen, einen Konsens in diesen sensiblen Fragen zu erzielen. Folglich sind alle zuvor genannten Bemessungsaspekte außerhalb der zukünftigen Empfehlungen von WG 141 zu behandeln. Nichtsdestoweniger wird der Bericht ausreichend Informationen und Feedback zum Planungsprozess zur Verfügung stellen, auch wenn er sich auf die nautischen Aspekte beschränkt.

INCOM erwähnte auch „sämtliche laufenden und relevanten PIANC-Berichte“. Besondere Aufmerksamkeit sollte der Arbeitsgruppe MARCOM WG 49 und ihre oben schon diskutierten Richtlinien zur Bemessung von Zufahrtskanälen zu Häfen (PIANC 2014) für Seeschiffe gelten. Dieser Verweis führte zur Diskussion über die Anwendbarkeit des entsprechenden MARCOM-Ansatzes. Dieser beinhaltet eine Tabelle mit den erforderlichen Mindestabmessungen wie z. B. Fahrwasser-Mindestbreiten mit Zuschlägen, um besondere Einflüsse auf die Bemessung wie Wind, Querströmungen oder Sohlenrauigkeit zu berücksichtigen. Ein Anwendungsbeispiel findet sich in Kapitel 1. Ergebnis der Diskussion war, wie weiter oben erwähnt, die Entscheidung, den MARCOM-Ansatz als methodische Grundlage für die vorgeschlagene Konzept-Bemessungs-Methode für die Binnenschifffahrt zu verwenden, jedoch nur für besondere Bemessungsszenarios und mit abweichenden Werten für die erforderlichen Mindestabmessungen der Wasserstraße. Allgemein empfiehlt WG 141 einen 3-stufigen Bemessungsansatz, insbesondere aufgrund der großen Vielfalt der Randbedingungen in der Binnenschifffahrt im Vergleich zu Seeschiffen. Dieser umfasst die „Konzept-Bemessungs-Methode“ (Concept Design Method), die „Bemessung aus Erfahrung“ (Best Practice Approach) und eine „Detaillierte Bemessung“ (Detailed Design).

Aufgrund dieser Vielfalt der Randbedingungen im Binnenbereich könnte man zu der Einschätzung gelangen, dass Standards für Binnenschiffe möglicherweise kaum zu definieren sind, insbesondere angesichts der weltweit unterschiedlichen Schiffstypen und Fahrwasserbedingungen. Doch vor allem die Tiefen der großen Binnenwasserstraßen, die den Maximaltiefgang der Schiffe bestimmen, sind aus morphologischen und hydrologischen Gründen weltweit ähnlich mit Werten zwischen 2 und 3 m bei Niedrigwasser. Diese definieren den bauartbedingten Maximaltiefgang der Schiffe. Die zugehörige Schiffsbreite ergibt sich aus schiffbautechnischen und wirtschaftlichen Gründen zur Erzielung einer größtmöglichen Ladekapazität bei Verwendung von Stahl als Baumaterial als Vielfaches des Schiffstiefanges. Diese Randbedingungen führen dazu, dass die einzelnen Fahrzeuge, die auf den unterschiedlichen Flüssen weltweit verkehren, eine ähnliche Breite haben. Zusammen mit den variierenden Tiefgängen bei unterschiedlichen Wasserständen und der Notwendigkeit, Flüsse mit starken Querströmungen und engen Kurven zu befahren, führten diese flussmorphologischen und schiffbautechnischen Faktoren zu ähnlichen Schiffsmo-
dellen hinsichtlich Größe, installierter Motorleistung und Art und Zahl der Ruderanlagen. Eine Standardisierung erscheint also möglich, auch wenn weitaus mehr Einflüsse zu berücksichtigen sind als bei den Zufahrtskanälen für Seeschiffe. Die Entscheidungen der Arbeitsgruppe lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Fokussierung auf Binnenschiffe und Frachtschiffe
- Sichtung bestehender Richtlinien und Verwendung der Empfehlungen für die Konzept-Bemessungs-Methode
- Erfassung und Erörterung von Praxisbeispielen als zweite Bemessungsgrundlage, falls die relevanten besonderen Bemessungsaspekte von den verfügbaren Richtlinien nicht abgedeckt werden

- Hilfestellung zur Durchführung des vorgeschlagenen verallgemeinerten Bemessungsansatzes, z. B. zum Abklären des Bemessungsfalls, zur Auswahl der relevanten Randbedingungen, zur Festlegung geeigneter Leichtigkeitskategorien, zur Berücksichtigung von Nachteilen der Bemessung für die geplante Ausbaumaßnahme
- Ausschließliche Fokussierung auf nautische Aspekte und Anerkennung der vorgegebenen allgemeinen Ausbaustrategie als Randbedingung für die Bemessung
- Generelle Anwendung eines 3-stufigen Bemessungsansatzes: Konzept-Design, Bemessung aus Erfahrung und gegebenenfalls fallweise Untersuchungen mit Simulationsverfahren

3. Fortschritte der Arbeitsgruppe

Die Kickoff-Veranstaltung fand während des PIANC-Kongresses im Jahr 2010 in Liverpool statt (s. a. Tabelle 1, in der wichtige Informationen über die Fortschritte der Arbeitsgruppe zusammengefasst sind). Dabei ergab die Diskussion über die TOR in Liverpool und bei der nächsten Sitzung in Karlsruhe, dass die Arbeitsgruppe wie oben erwähnt nicht alle Aufgaben der INCOM erfüllen kann. So wurde beispielsweise beschlossen, die Arbeit der Gruppe auf Frachtschiffe und technische Aspekte zu begrenzen und im ersten Schritt die Sportschifffahrt auszuklammern. Bei der detaillierten Sichtung vorhandener Richtlinien zu diesen Themen während der nächsten beiden Treffen in Brüssel und Paris zeigten sich zudem beträchtliche Differenzen, z. B. in Bezug auf die geeigneten Mindestabmessungen von Wasserstraßen oder die Länge von Schleusenvorhöfen in den verschiedenen Richtlinien. So definieren deutsche und französische Richtlinien geringere Werte im Vergleich z.B. zu russischen oder chinesischen Richtlinien. Auch die existierenden Abmessungen, z. B. von Fahrrinnenbreiten in Flüssen, fallen von Land zu Land oder von Fluss zu Fluss sehr unterschiedlich aus. Erklärt werden können diese Unterschiede u.a. durch besondere Randbedingungen: beispielsweise solche in engen Kanälen mit niedrigen Schiffsgeschwindigkeiten, bei sehr gut ausgerüsteten Schiffe oder optimal geschulten Schiffsführern, was in einigen Fällen Argumente für einen reduzierten Standard lieferte. Die großen seegängigen Schiffe dagegen, die mit hohen Geschwindigkeiten die großen Flüsse Chinas befahren und eine höhere Risikostufe darstellen, werden Planer und Betreiber dieser Wasserwege zwingen, höhere Niveaus für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffverkehrs zu fordern. Aus diesem Grund traf die Arbeitsgruppe die Entscheidung, die enormen Unterschiede in den Bemessungsempfehlungen der verschiedenen Länder zu erläutern und Argumente als Entscheidungshilfe für die Wahl des jeweils geeigneten Bemessungsstandards zusammenzustellen. Dies hilft möglicherweise auch, die unterschiedlichen Richtlinien aneinander anzugleichen.

Bei ihren nächsten beiden Zusammenkünften in Brüssel und Bonn identifizierte die Gruppe in einem ersten Schritt geeignete Mindestabmessungen von Kanälen. Die Breiten und Tiefen in geraden Abschnitten und die dazugehörigen lichten Durchfahrtshöhen und -breiten von Brücken, Durchmesser von Wendebecken oder

Längen von Liegeplätzen wurden aus den vorhandenen Richtlinien und Praxisbeispielen abgeleitet. Es stellte sich heraus, dass Empfehlungen für konkrete Werte möglich erscheinen, z. B. die angemessene Breite, ausgedrückt als Vielfaches der Schiffsbreite, jedoch getrennt nach entsprechende Kategorien der Leichtigkeit des Schiffsverkehrs, welche überwiegend durch die Verkehrsstärke bestimmt wird, und dass auch für die Berechnung besonderer Faktoren wie Windeinflüsse auf Binnen- oder küstennahen Gewässern Berechnungsansätze bereitgestellt werden können. Dieser Bemessungsansatz, der von der Arbeitsgruppe als „Konzept-Bemessungs-Methode“ (Konzept-Design-Methode“) bezeichnet wurde, kann auf Standardszenarios mit fest definierten Randbedingungen wie Binnen-schiffahrtskanäle angewendet werden.

Es gibt jedoch nur wenige Richtlinien, wie beispielsweise die aus Russland oder China, die Informationen über geeignete Abmessungen von Fahrrinnen in Fließgewässern bereitstellen, z. B. die Mindestbreite von Schleusenvorhöfen im Falle von großen Fließgeschwindigkeiten. Da jeder Fluss einzigartige nautische Randbedingungen aufweisen kann, sind beim Vorherrschen besonderer Bedingungen allgemeingültige Empfehlungen oft nicht möglich. Bei ihrem Treffen in Madrid einigte sich die Arbeitsgruppe für diese Fälle auf detaillierte Bemessungsempfehlungen unter Nutzung von Simulationsverfahren oder Naturerhebungen. Eine solche Vorgehensweise erscheint generell vertretbar zu sein, bedenkt man, dass die Kosten detaillierter nautischen Untersuchungen i.d.R. nur einen Bruchteil der Baukosten ausmachen, und dass sich letztere durch eine solche Studie ggf. erheblich reduzieren lassen. Aus diesem Grund wurden die Möglichkeiten und Grenzen moderner Simulationssoftware erörtert – und die erforderlichen Eingangsparameter und zu erwartende Simulationsergebnisse.

Die Festlegung angemessener Standards für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs ist ein schwieriges Unterfangen. Da sie die Abmessungen von Wasserstraßen erheblich beeinflussen, wurde beschlossen, neben dem Konzept-Design und den fallweisen Untersuchungen auch noch einen Ansatz auf Basis von Erfahrungen (Best-Practice) zu empfehlen. Während der Treffen in Utrecht und Antwerpen wurden umfangreiche Daten zusammengetragen, beispielsweise über die bestehenden Abmessungen von Fahrrinnen oder Schleusenvorhöfen in Fließgewässern. Anhand der Daten wurden die zugehörigen Randbedingungen diskutiert, um vorhandene große Unterschiede zu erklären. Die Idee ist, dass die Anwender dieser „Best-Practice-Methode“ ihre besonderen Randbedingungen mit den vorhandenen Beispielen vergleichen und mit ihrer Hilfe geeignete Abmessungen für ihre jeweiligen Bemessungsfälle finden können. Besteht eine große Bandbreite in den vorhandenen Daten, kann dies den Anwendern als Argument dienen, alternativ oder zusätzlich eine detaillierte Bemessungsstudie durchzuführen.

Das Interimstreffen bei der SMART Rivers Konferenz (nachfolgend kurz als „SRC“ bezeichnet) in Maastricht und das positive Feedback zum dortigen WG 141 Workshop zeigten, dass die Arbeitsgruppe grundsätzlich auf dem richtigen Weg ist, dass aber die oben erwähnten Anmerkungen zu den festgelegten Terms of Reference und zu den Unterschieden im Vergleich zum

MARCOM-Ansatz notwendig sind. Es wurde beschlossen, die Konferenzbeiträge als Grundlage für die zukünftigen Richtlinien der Arbeitsgruppe zu verwenden. Der Workshop zeigte deutlich, dass der 3-Stufen-Ansatz, der in vielen Fällen nur Prozessempfehlungen anstatt konkreter Zahlen bereitstellt, trotzdem sehr hilfreich sein kann, insbesondere um die notwendige Qualität der Fachaussagen aus Fallstudien mit Simulationsverfahren zu gewährleisten. Nichtsdestoweniger verlangten die Teilnehmer des Workshops für die Abmessungen von Wasserstraßen, so viele konkrete Werte wie möglich zu nennen. Allgemeine Zustimmung fand auch der Ansatz, den Anforderungen an die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs dadurch Rechnung zu tragen, dass drei Leichtigkeitskategorien verwendet werden und diese Kategorien den entsprechenden Werten aus dem Konzept-Design zugewiesen werden. Diese Vorgehensweise wurde der Forderung einiger Teilnehmer gerecht, bei den Werten der Leichtigkeitskategorie C „realistischere“ oder allgemein „engere“ Standards als für Seeschiffe festzulegen. Aus der weiteren Diskussion ergab sich allerdings, dass es momentan noch an weiteren verwertbaren Beispielen aus der Praxis fehlt, vor allem für Abmessungen von Fahrrinnen und Schleusenvorhöfen in Flüssen.

Die Ergebnisse der SRC wurden beim 8. Treffen im Februar 2014 in Brüssel überprüft. Dabei bestand in der Arbeitsgruppe weitgehend Einigkeit über die Mindestwassertiefe in Schleusenvorhöfen, die Art der Berücksichtigung einer verbesserten Steuerung durch Bugstrahlruder, die Rücklage von Festmacheinrichtungen in Flüssen mit signifikanten Fließgeschwindigkeiten, die Größe der erf. Sichtweite an Einmündungen sowie über die Art, wie Praxisbeispiele dargestellt werden sollen. Die laufende Diskussion über die Definition angemessener Sicherheits- und Leichtigkeitsstandards mündete in einen modifizierten Ansatz, der hier in Kapitel 5 vorgestellt wird. Zwei neue Kriterien werden berücksichtigt: die Sportschiffahrt und der erreichbare bzw. steuertechnisch notwendige Schiffsgeschwindigkeitsbereich sowie die Vermeidung der Bezeichnungen „Standard“ oder „Niveau“ und ihr Ersatz durch „Kategorie“, „Bewertung“ oder „Qualität“. Da die Sicherheit des Schiffsverkehrs in jedem Fall gewährleistet sein sollte, wurde beschlossen, ausschließlich den Aspekt *Leichtigkeit* des Schiffsverkehrs zu betrachten. Zur Verwendung der SRC-Vorträge im Bericht wurde ebenfalls ein Beschluss gefasst. Die Ausarbeitung eines ersten Berichtsentwurfs, der auf diesen Vorträgen und der Zuweisung der neuen Kategorien zu den Werten des Konzept-Designs beruht, wird Aufgabe des 9. Arbeitsgruppentreffens sein.

4. Aktualisierter Allgemeiner Bemessungssatz

4.1 Empfohlene Vorgehensweise

Wie in Kapitel 3 erwähnt, wurde in der Arbeitsgruppe beschlossen, allgemein drei Schritte für die Bemessung zu empfehlen. Nachfolgend werden diese ausführlicher beschrieben. Vor und gegebenenfalls auch nach Durchführung der Bemessung müssen jedoch alle relevanten Bemessungsaspekte festgelegt werden, um mögliche Rückwirkungen auf den Bemessungsfall oder allgemein auf die geplante Ausbaumaßnahme zu berücksichtigen. Der allgemeine Bemessungsprozess ist in Abbildung 1 dargestellt und wird im Folgenden genauer erläutert:

Binnenwasserstraßen

Sachstand der PIANC INCOM WG 141: Bemessungsgrundlage für Binnenwasserstraßen

Nr.	Jahr, Ort	Hauptthema	Wichtigstes Ergebnis
1	2010, Liverpool	Aufgaben der AG, TOR, generelles Vorgehen	Start Sichtung bestehender Richtlinien
2	2010, Karlsruhe	Inhaltsverzeichnis	Primär werden nur Frachtschiffe betrachtet
3	2011, Brüssel	Sammlung von Richtlinien	Definition der Bemessungsschiffe
4	2011, Paris	Review bestehender Richtlinien	Notwendigkeit Sicherheit und Leichtigkeit zu betrachten
I1	2011, Brüssel	Workshop Planung	Praxisbeispiele in Flüssen anstatt Nutzung von Richtlinien
5	2012, Bonn	Fahrrinnen in Kanälen, Brückendurchfahrarbeiten, Wendebecken	Abmessungen für die Konzept-Bemessung-Methode als Vielfaches der Schiffsbreite
I2	2012, Madrid	Anwendung von Schiffsführungssimulatoren	Notwendigkeit detaillierter Fallstudien, speziell für Schleusenvorhöfen
6	2012, Utrecht	Fahrrinne und Wendestellen in Flüssen, Liegestellen	3-stufiger Bemessungsansatz, Praxisbeispiele für die Fahrrinnenbreite in Flüssen
7	2013, Antwerpen	Diskussion über Sicherheit und Leichtigkeit, Schleusenvorhöfen	Abmessungen von Schleusenvorhöfen, Wendebecken im Stillwasser und im Fließgewässer
I3	2013, Maastricht	Workshop Smart Rivers Konferenz („SRC“)	Positive Resonanz für den Bemessungsansatz, insb. zur Definition engerer Standard
8	2014, Brüssel	Ergebnisse Smart Rivers Konferenz 2013, („SRC“)	Entscheidung, die Veröffentlichungen zur SRC als Vorbilder für die Richtlinien zu verwenden

Tabelle 1: Überblick über die Sitzung von WG 141 mit Hauptthemen und Entscheidungen („I“ = Interim)

(1) Zur Klärung des Bemessungsfalls ist zunächst die vorhandene und zukünftige Flotte zu betrachten. Letztere ist unter Beachtung der voraussichtlichen Nutzungsdauer der verkehrswasserbaulichen Maßnahmen festzulegen. Auf dieser Grundlage sind die Bemessungsschiffe mit typischem Tiefgang (in der Regel ein voll abgeladenes und ein leeres bzw. ballastiertes Schiff) und typischer Fixpunkthöhe über dem Wasserspiegel (möglicherweise muss die Zahl der Containerlagen variiert werden) zu definieren. Anschließend sind die relevanten Verkehrssituationen festzulegen, meistens Begegnungsverkehr oder Einzelfahrt der größten Schiffe zu Berg und zu Tal. Dabei sind die Verkehrsstärke und etwaige Wartezeiten vor Engstellen besonders zu beachten. Die von WG 141 zu erarbeitenden künftigen Richtlinien sollten hierfür geeignete Checklisten für wichtige Faktoren und die erforderlichen Daten bereitstellen. Diese Checklisten hängen einerseits davon ab, in welchem Stadium sich die Bemessung gemäß Abbildung 1 befindet, andererseits vom Typ der Wasserstraßenabmessung, die bemessen werden soll, z. B. der Fahrrinnenbreite in einem frei fließenden Gewässer.

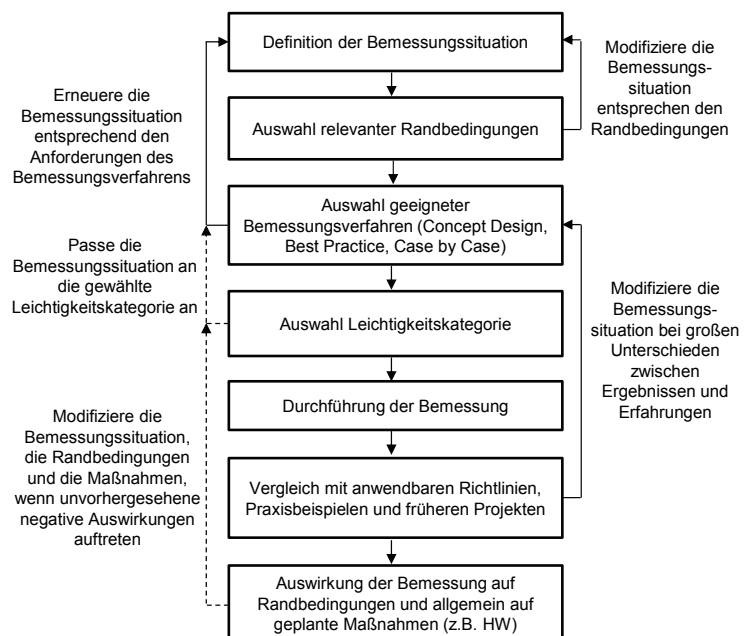


Abbildung 1: Allgemeiner Ansatz und einzelne Schritte bei der Bemessung von Binnenwasserstraßen

Binnenwasserstraßen

Sachstand der PIANC INCOM WG 141: Bemessungsgrundlage für Binnenwasserstraßen

Aspekt	Randbedingungen	Notwendige Daten
Fahrwasserbedingungen	Relevante Wasserstände: Generell Niedrigwasser, Mittelwasser, Wasserstand bei dem volle Abladung erreicht wird (min. Verfügbare Fahrwasserbreite), höchster schiffbarer Wasserstand (größte Schleppflächenbreite, aber größere Fahrwasserbreite), Wasserstand, bei dem Parallelwerke oder Buhnen überströmt werden (Querströmungen) und damit Ufer oder ökol. Sensitive Bereiche belastet werden	Berechnungen oder Messungen (zumindest 2D tiefengemittelt) zum Strömungsfeld mit Wasserständen und zugehörigen Längs- und Quergefällen, Längs- und Querströmungsgeschwindigkeiten, Sohltopografie mit Regelungsbauwerken und Uferböschungen, möglichst auch bei hohen Wasserständen sofern relevant, dann mit Überflutungsbereichen
	Theoretischer und tatsächlicher Fahrrinnenverlauf, Lage von Fahrwassertonnen, Radarmarken, übliche Landmarken zur nautischen Orientierung, übliche Stellen zur Ausführung schwieriger Manöver wie Überholstrecken	Beobachtete Schiffscurse, möglichst mit Schleppflächen, z. B. durch die Analyse von AIS-Daten, Umfrage bei Schiffsführern und Wasserstraßenverwaltungen, ECDIS Wasserstraßenkarten
Beladung und Schiffsgeschwindigkeiten	Wasserstands-abhängige maximale und mittlere Abladetiefen für voll beladene Schiffe, Revierabhängiges Risiko einer Grundberührung	Lokale Abladeregeln an relevanten Bezugspunkten, Sohlbeschaffenheit mit Korngrößen, insbesondere Felsstrecken
	Hydrodynamisch maximal erreichbare (kritische) Schiffsgeschwindigkeit der verschiedenen Schiffe, für verschiedene Beladungen und Wasserstände in jedem relevanten Querprofil als obere Grenzwerte sowie praxisübliche Schiffsgeschwindigkeit und zugehörige eingesetzte Motorleistung	Rückströmungsgeschwindigkeits-relevante (effektive) Querschnittsflächen, inklusive Wassertiefen im Schiffsprofil und zugehörige Strömungsgeschwindigkeit
Hydrologie und Wetter	Sichtbedingungen, Windeinfluss	Tage mit Nebel oder Starkwind, Windstatistik, mögliche Windabschattung z. B. durch Bäume
Humanfaktor Schiffsführer	Revierspezifische Erfahrungen, Fähigkeiten, Ausbildungsniveau, mittlere Fahrzeiten im betrachteten Streckenabschnitt mit Abschnitten erhöhter erf. Aufmerksamkeit, Stress, Ablenkung	Strikt vertraulicher Dialog mit Schiffsführern, Umfrage unter Schiffsführern und Wasserstraßenverwaltungen

Tabelle 2: Checkliste (unvollständig) für die Analyse bestehender Fahrrinnenbreiten in einem frei fließenden Gewässer für den Bemessungsschritt „Auswahl relevanter Randbedingungen“ in Abbildung 1

(2) Im nächsten Schritt sind die örtlichen Randbedingungen zu betrachten. Dazu zählen die Wahrscheinlichkeit starker Querwinde und schlechter Sichtverhältnisse wie Nebel, die Variationsbreite mit zugehöriger Eintrittswahrscheinlichkeit unterschiedlicher Wasserstände und die damit verbundenen Fließgeschwindigkeiten, insbesondere Längsströmungen für die Ermittlung von Schleppflächenbreiten von Talfahrern in engen Kurven oder der Stoppweglängen bei der Anfahrt von Schleusenvorhöfen vom Oberwasser her sowie Querströmungen an Einleitungsbauwerken oder im Einfahrtbereich von Schleusenvorhöfen. Auch schiffsinduzierte Sohl- und Uferbelastungen sind zu beachten, insbesondere im Hinblick auf die Uferstabilität (Aspekte Porenwasserüberdruck und Erosion) und auf ökologisch sensible Gebiete, die geschützt werden sollen. Hier müssen möglicherweise größere Mindestuferabstände festgelegt werden als die nautisch erforderlichen Sicherheitsabstände. Falls notwendig, ist der Bemessungsfall an diese Randbedingungen anzupassen. Auch hier sind wieder entsprechenden Checklisten für relevante Faktoren und Daten bereitzustellen. Tabelle 2 enthält ein Beispiel der örtlichen Randbedingungen, die z. B. im Fall einer Analyse der Fahrwasserbedingungen in einem frei fließenden Gewässer zu beachten sind. Auch wenn die Checkliste unvollständig ist, zeigt sie doch die Komplexität des Bemessungsproblems und den teilweise enormen Umfang der benötigten Daten. Eine Vereinfachung des Bemessungsproblems

oder eine Fokussierung auf die für die Bemessung relevanten Randbedingungen ist daher erforderlich.

- (3) Als dritter Schritt wird eine geeignete Bemessungsmethode ausgewählt, z. B. die Anwendung der jeweils gültigen nationalen Richtlinien (Rettemeier 2013), falls sie den betrachteten Bemessungsfall behandeln (in diesem Fall kann der Bemessungsprozess hier enden), oder anderer Richtlinien sofern anwendbar bzw. das hier generell empfohlene 3-stufige Bemessungsverfahren, wobei die im folgenden Kapitel beschriebenen Einschränkungen und Anforderungen zu beachten sind. Wenn nötig, werden die Spezifikationen des Bemessungsfalls und die Randbedingungen gemäß der gewählten Bemessungsmethode überprüft.
- (4) Danach folgt die Auswahl einer geeigneten Leichtigkeitskategorie (Deplaix & Söhngen, 2013, Kap. 5) in Abhängigkeit von Faktoren wie Schiffsgeschwindigkeit und Verkehrsstärke. Der Bemessungsfall ist gegebenenfalls an die Anforderungen der gewählten Kategorie anzupassen.
- (5) Die Durchführung der eigentlichen Bemessung ist der fünfte Schritt. Bei Unklarheit bezüglich der geeigneten Methode sind mehrere Methoden anzuwenden.
- (6) Anschließend wird ein Vergleich der Bemessungsergebnisse (unter Verwendung aller drei empfohlenen Methoden, falls erforderlich) mit Ergebnissen

aus ähnlichen Projekten empfohlen. Sollten große Unterschiede bestehen oder besondere Parameter vorliegen, die sich mehr als erwartet auf die Ergebnisse auswirken, wird für diese Parameter eine Sensitivitätsanalyse empfohlen. In diesen Fällen sind die gewählte(n) Bemessungsmethoden und entsprechenden relevanten Daten zu modifizieren oder verfeinern.

- (7) Abschließend wird geprüft, welche Auswirkungen das erzielte Ergebnis auf den Bemessungsfall, die zu beachtenden Randbedingungen und schließlich die geplanten Baumaßnahmen hat. Hier geht es insbesondere um die Stabilität der Uferböschungen und die Gebäude entlang der Wasserstraße sowie entsprechende Ausgleichsmaßnahmen, mögliche negative Einflüsse auf die Umwelt, Wasserstände (insbesondere Anstieg der Hochwasserstände), Aufwendungen für Ausgleichsmaßnahmen oder unvorhergesehene sozio-ökonomische Folgen, wenn sich z. B. die nautisch erforderlichen Wasserstraßenabmessungen als sehr viel größer erweisen als erwartet. In diesen Fällen müssen die betrachteten Bemessungsszenarios ggf. abgeändert werden, beispielsweise die Verkehrssituation (Richtungsverkehr statt zweisepuriger Verkehrsführung). Diese und ggf. weitere erforderliche Anpassungen des Bemessungsfalls und damit ggf. auch der geplanten Ausbaumaßnahmen sind mit allen am Planungsprozess Beteiligten abzustimmen. Generell ist zu beachten, dass jeder Bemessungsprozess i. d. R. ein geschlossener Kreislauf ist, in dem alle weiter oben und in Abbildung 1 beschriebenen Schritte mehrmals durchlaufen werden müssen. Im Falle einer Planungssituation könnte dies auch neue hydraulische Berechnungen für das Strömungsfeld beinhalten.

4.3 Konzept-Design-Methode

Dieser Bemessungsansatz entspricht grundsätzlich der Vorgehensweise, bei der zutreffende nationale Richtlinien angewendet werden (Rettemeier 2013, Söhngen & Rettemeier 2013b). Letzteren spiegeln die besonderen Anforderungen an die Nutzung von Wasserstraßen und die administrativ gewollte Verbesserung der Infrastruktursituation des jeweiligen Landes wider. Sie berücksichtigen zudem die relevante Schiffsflotte, die Schifffahrtstradition, die politischen und sozioökonomischen Randbedingungen und den nationalen und internationalen Rechtsrahmen, der zu beachten ist. Nationale Richtlinien entsprechen daher den allgemein anerkannten Wasserstraßenstandards und der Best Practice im betreffenden Land und sind somit erste Wahl im Bemessungsverfahren. Doch die Anwendung dieser Richtlinien löst nicht immer alle Bemessungsprobleme. Neben den allgemeinen Anwendungseinschränkungen, die für die meisten Richtlinien gelten, können notwendige Festlegungen fehlen, wie z. B. Angaben zur Fahrrinnenbemessung in Flüssen mit hohen Fließgeschwindigkeiten (Söhngen & Rettemeier, 2013a). Ein weiterer Nachteil nationaler Richtlinien besteht häufig darin, dass sie erst spät an neue Entwicklungen wie z.B. Veränderungen der Flottenzusammensetzung angepasst werden. Aus diesem Grund entsprechen sie manchmal nicht der aktuellen Situation und können notwendige Weiterentwicklungen behindern oder aufhalten. Außerdem werden, wie bereits erwähnt, in der

Regel nicht alle relevanten Bemessungsaspekte von den Richtlinien abgedeckt. Dies kann das Spektrum möglicher Innovationen einschränken und sich als Hürde erweisen, wenn Lösungen an unterschiedliche Randbedingungen vor Ort angepasst werden sollen.

Doch selbst die Anwendung nicht nur nationaler, sondern geeignet erscheinender internationaler Richtlinien hilft nicht immer weiter, z.B. solche von China oder den USA, denn es gibt bei der Bemessung der Fahrrinnenbreite, um bei demselben Beispiel zu bleiben, teilweise extreme Unterschiede bei den empfohlenen Abmessungen in besonderen Fällen, beispielsweise betreffend die Länge von Schleusenvorhöfen. Die Ursache dafür können unterschiedliche Anforderungen an die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs oder verschiedene Schiffstypen sein, um nur zwei Aspekte zu nennen. In vielen Fällen ist also die Anwendung vorhandener Richtlinien für die Lösung des Bemessungsproblems nicht ausreichend.

Deshalb empfiehlt WG 141

- In einem ersten Schritt die Sichtung der nationalen Richtlinien, um alle Bemessungsszenarien zu erfassen, die von diesen Richtlinien abgedeckt werden,
- den Vergleich dieser mit zutreffenden internationalen Richtlinien, um einen Eindruck zu gewinnen, wie hoch die Unsicherheit bezüglich der geforderten Abmessungen für Wasserstraßen ist,
- des Weiteren einen Vergleich mit den von WG 141 aus den bestehenden Richtlinien extrahierten Bemessungswerten der Konzept-Bemessungsmethode (Rettemeier 2013),
- die Verwendung der entsprechenden Empfehlungen von WG 141 für besondere Bemessungsszenarien als erforderliche Mindestwerte für die Breiten und Tiefen von Kanälen, Brückenöffnungsbreiten, Längen und Breiten von Schleusenvorhöfen, den Durchmesser von Wendeböden oder Länge und Zurücklage von Festmachereinrichtungen und abschließend
- die Erweiterung der Bemessung, falls erforderlich, durch Nutzung geeigneter Formeln aus geltenden Richtlinien oder relevanten Publikationen für Zusätze zum Basiswert der Bemessung, z. B. für die Zusatzbreite in Kurven bei großen Fließgeschwindigkeiten oder um Querströmungen oder Windeinflüssen (Abb. 2) entgegenzuwirken.

Dieser umfassendere Konzept-Design-Ansatz wurde im Workshop während der Smart Rivers Conference 2013 vorgestellt (Söhngen & Rettemeier, 2013a, 2013b, Eloit et al. 2013). Zur Unterstützung eines Verkehrssimulationsmodells für Flüsse, das hinsichtlich der Fahrdynamik aus Rechenzeitgründen vereinfachte Ansätze verwendet, wurden zusätzliche Formeln z. B. zur Berücksichtigung der Zusatzbreiten in Kurven bei starker Strömung oder der allgemeinen Instabilität des Schiffs-kurses, den Einflüssen des „human factor“ (nachfolgend „Humanfaktor“) und der Fahrt in Buhennähe abgeleitet (VBW 2013, Fischer et al. 2014). Diese Formeln können auch zur Verbesserung der Konzept-Design-Methode verwendet werden. Sie sind jedoch auch bei der

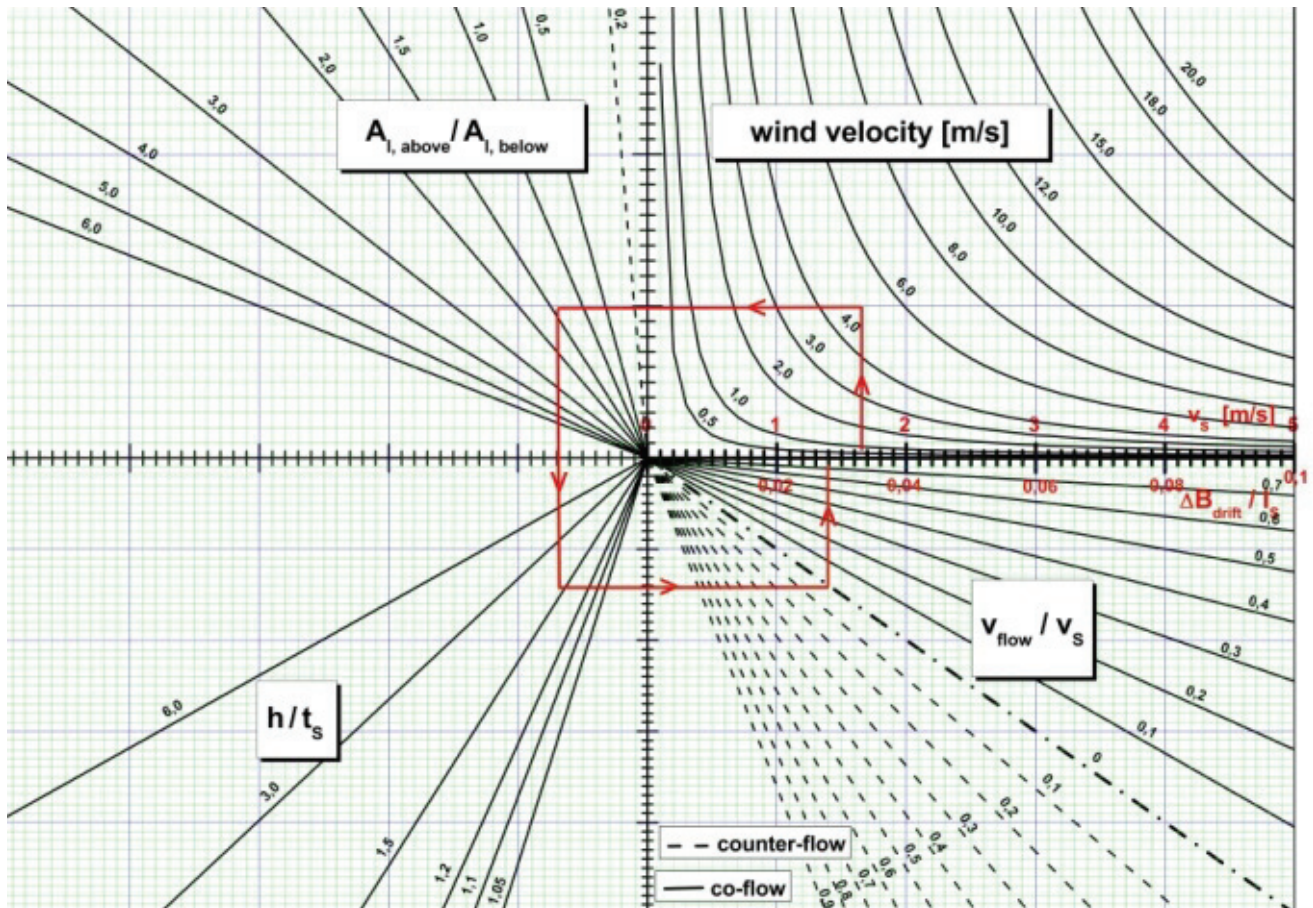


Abbildung 2: Diagramm zur Einschätzung des Querwind-Einflusses auf ein Schiff der Wasserstraßenklasse Va

detaillierten Bemessung hilfreich, z. B. um den Bemessungsfall zu präzisieren. So ist beispielsweise die Durchführung von Simulationen aller möglicherweise relevanten Windrichtungen und -geschwindigkeiten mit hohen Kosten verbunden. Es ist effizienter, stattdessen relevante Windsituationen zu bestimmen. Für diesen Zweck gibt es allgemein bekannte Formeln zur Berechnung der Querkräfte und Momente auf das Schiff aufgrund des Windangriffs, denen der eingetauchte Schiffskörper des Schiffes z. B. durch Einnahme eines Driftwinkels entgegenwirken muss. Mit diesen Formeln lassen sich die zugehörigen Zusatzbreiten in guter Näherung berechnen. Diese Vorgehensweise wurde für das Bemessungsdiagramm in Abbildung 2 gewählt. Dabei wurden die Randbedingungen des Havel-Oder-Kanals (HOW) verwendet. Das Diagramm gilt für Schiffe der Klasse Va ohne Bugstrahlruder und kann zusammen mit den Daten über vorhandene Fahrrinnenbreiten verwendet werden, um z. B. die zulässige Windgeschwindigkeit für Sondertransporte festzulegen, da der HOW nur für Fahrzeuge der Klasse IV bemessen ist. Wenn also eine Detailstudie mit einem Schiffsführungssimulator geplant ist, z. B. zur Klärung der Bedingungen für die Zulassung von Sondertransporten auf einem Kanal, kann im Vorfeld geprüft werden, ob der Windeinfluss von Bedeutung ist oder die relevante Windsituation eingegrenzt werden. Dies reduziert die erforderliche Anzahl von Fahrten im Simulator. Im Zusammenhang mit diesem Bemessungsaspekt soll der Ansatz für Abbildung 2 für den zukünftigen Bericht von WG 141 vereinfacht und mit den niederländischen Richtlinien für Kanäle, die Zusatzbreiten bei Windeinfluss angeben, verglichen und ggf. modifiziert werden.

4.4 Bemessung nach Erfahrung

Die vorhandenen Richtlinien liefern nur wenige Informationen über die Wasserstraßenabmessungen in Flüssen. Dies betrifft z. B. die Abmessungen von Schleusenvorhöfen oder die erforderlichen Fahrrinnenbreiten in Flüssen. Zur Bemessung einer neuen Schleuse oder der Anpassung eines vorhandenen Schleusenvorhafens an größere Schiffe (wie am Neckar, deren Schleusen derzeit nur von 105 m langen Schiffen befahren werden können, die aber für Schiffe mit einer Länge von bis zu 135 m ausgebaut werden), stellen bestehende Richtlinien nur wenige Informationen darüber bereit, wie die erforderliche Länge (von der Spitze der Mole bis zur Schleuseneinfahrt) und Einfahrtsbreite des oberen und unteren Schleusenvorhafens z. B. an Schiffe mit größeren Abmessungen bei großen Fließgeschwindigkeiten vergrößert werden müssen. Solche Längen- und ggf. auch Breiterweiterungen sind generell angezeigt, insbesondere weil im Vorhafenbereich bei starken Querströmungen der Flächenbedarf längerer Schiffe größer ist als der der heutigen Flotte und weil eine leichte Ein- und Ausfahrt nur bei entsprechenden langen Vorhöfen möglich ist, in denen keine signifikanten Strömungen vorliegen. Die Informationslücken lassen sich jedoch mithilfe von Praxisbeispielen für Schleusenvorhöfen in Flüssen schließen. Dafür gilt es, Beispiele zu identifizieren, die mit der betrachteten ggf. einzigartigen Bemessungssituation vergleichbar sind (Koedijk 2013). Problematisch ist dabei, dass sich die Randbedingungen ausgeführter Verkehrswasserbauwerke wie von Schleusen in Fließgewässern von Fall zu Fall stark unterscheiden können,

besonders in Bezug auf die vorhandenen Längenabmessungen von Vorhöfen. Beispiele dafür sind der Main und der Neckar: Die Konstruktionslänge der Vorhöfen beträgt zwischen $0,7$ und $2,0 \cdot L$ (L = Länge des Bemessungsschiffes) auf dem Neckar; der durchschnittliche Wert liegt bei $1,5 \cdot L$. Die oberen Vorhöfen am Main sind hingegen in der Regel länger: von $1,4$ bis $4,2 \cdot L$, der Durchschnittswert liegt etwa bei $2,5 \cdot L$. Es sind kaum zwingende technische Gründe erkennbar, die die großen Längenunterschiede erklären könnten. Vielmehr ist anzunehmen, dass die Planer versucht haben, den verfügbaren Raum größtmöglich auszunutzen, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs zu optimieren. Wenn dagegen größere Abmessungen nicht möglich waren, wurde offensichtlich ein geringerer Standard akzeptiert.

Eine weitere wichtige Erkenntnis aus der großen Spanne ausgeführter Längen von Schleusenvorhöfen ist, dass ein sicherer Schiffsverkehr immer noch möglich scheint, selbst bei den sehr knapp dimensionierten Schleusenvorhöfen an deutschen Flüssen oder bei den eingeschränkten Fahrrinnenbreiten des frei fließenden Oberrheins oder des Mains. Dies mag auf die sehr restriktiven Zulassungsbedingungen für die entsprechenden Schiffe zurückzuführen sein, die u. a. effiziente aktive Bugruderanlagen verlangen. Hierzu wird auf die beiden folgenden Grafiken verwiesen. In ihnen wird in Analogie zu Angaben der Konzept-Design-Methode für Kanäle, bei denen die erf. Fahrrinnenbreite als Vielfaches der Schiffsbreite angegeben ist, das Verhältnis der vorhandenen (ausgetonnten) Fahrrinnenbreite b_F zur Breite B der größten Schiffe (Ordinate) an typischen Breitenengpässen über einem Parameter aus der Theorie der Zusatzbreiten in Kurven (Abszisse) aufgetragen. Die Abbildungen zeigen große Unterschiede der o. g. Verhältniswerte. Der niedrigste Wert entspricht den engsten Abmessungen am Oberrhein und Main und die größten dem Niederrhein. Doch selbst bei sehr niedrigen Werten auf geraden Abschnitten von etwa $3 B$ für den Richtungsverkehr und $3 B$ bis $4 B$ für den zweisepurigen Verkehr ist klar, dass diese Fahrrinnenbedingungen keine leichte Fahrt ermöglichen. Wahrscheinlich sind ein hohes Aufmerksamkeitsniveau und der Einsatz aller verfügbaren navigatorischen Mittel notwendig, um die Engstellen sicher zu passieren.

Die meisten Werte für b_F/B in den Abbildungen 3 und 4 sind größer als die Zahlen für Kanäle. Letztere liegen bei etwa 2 für die größten Schiffe im einspurigen Verkehr in kleinen Kanälen und bei 3 bis 4 für den zweisepurigen Verkehr (ohne Zusatzbreiten für Kurvenfahrt und Wind) in engen oder „normalen“ Kanälen (Söhngen und Rettmeier 2013b). Dies bedeutet, dass die schiffbare Breite in Flüssen größer sein muss als in Kanälen, u. a. auch aufgrund der stärkeren Einflüsse von Querströmungen, Turbulenz und Wind. Außerdem ist die Orientierung in Flüssen allgemein schlechter als in Kanälen, die über klare Uferlinien verfügen. Als weiterer Unterschied zwischen Kanälen und Flüssen ist zu beachten, dass die Daten zu Kanälen auch Angaben zu Sicherheitsabständen zum Ufer beinhalten, während dies bei den oben diskutierten Fahrrinnendaten von Flüssen nicht immer der Fall ist. Die nautisch nutzbare Fahrwasserbreite ist meist größer als die „offizielle“ Fahrrinnenbreite. Aus den Abbildungen 3 und 4 lässt sich noch eine weitere wichtige Schlussfolgerung ziehen: die Krümmung des Flusses hat einen signifikanten Einfluss auf die erforderliche Fahrrinnenbreite. Das zeigt sich

sogar in Fällen konstanter Fahrrinnenbreiten über lange Abschnitte wie z.B. am Rhein. Die zugelassenen Schiffe, die eine enge Kurve wie z.B. im Abschnitt des Mittelrheins im Bereich des Loreleyfelsen passieren dürfen, sind kleiner als in mehr oder weniger geraden Flussabschnitten. Zu beachten ist, dass die Auswertung der Praxisdaten in WG 141 noch nicht abgeschlossen ist. Auch müssen andere Daten wie vom Jangtse in China, von der Rhône in Frankreich oder vom Mississippi in den USA entsprechend verarbeitet werden.

4.5 Detaillierte Bemessung

Die v. g. Beispiele verschiedener ausgeführter Vorhafenlängen oder Fahrrinnenbreiten verdeutlichen die Unsicherheit bei der Empfehlung angemessener Wasserstraßenabmessungen. Wenn die Varianz der Angaben aus verschiedenen Richtlinien oder (Best-)Praxis-Beispielen zu groß ist, hilft auch eine noch so große Anzahl verfügbarer Informationen nicht weiter. Es ist vielmehr notwendig, eine detaillierte Studie für den betrachteten Bemessungsfall durchzuführen. In Tabelle 3 sind Kriterien aufgelistet, um zu entscheiden, ob eine detaillierte Studie (linke Spalte) notwendig ist und in welchen Fällen die Nutzung numerischer Simulationsverfahren (rechte Spalte) angezeigt ist.

Doch selbst die besten verfügbaren Simulationstechniken können nicht alle Bemessungsfragen befriedigend beantworten, denn auch sie sind nur eine *Annäherung* an die Realität und nicht die Realität selbst. Mit anderen Worten, Modellierungsungenauigkeiten lassen sich generell nicht vermeiden, und sie können erhebliche Auswirkungen auf die Bemessung haben, besonders in Fällen, in denen schiffsinduzierte Strömungen und Wasserspiegeländerungen vorherrschen und das Verhalten des Schiffes beeinflussen wie z. B. bei Fahrt in Ufernähe. Aus diesem Grund empfiehlt die WG 141 adäquate Prozessempfehlungen zur Verwendung von Simulationsverfahren.

Solche Prozessempfehlungen sollten folgende Punkte umfassen

- Klärung, ob eine detaillierte Studie und die Verwendung von Simulationstechnik erforderlich sind.
- Auswahl der geeigneten Untersuchungsmethode (Schiffsführungssimulator mit nachgebildeter Schiffsbrücke, bei dem ein Mensch das Schiff steuert; Fast-Time-Simulation, bei der ein virtueller Schiffsführer, d.h. ein numerisches Bahnführungssystem das Schiff steuert; Verkehrssimulationen, die mit vereinfachten fahrdynamischen Ansätzen arbeiten und bei denen alle am Verkehr beteiligten Schiffe virtuell gesteuert werden oder Untersuchungen mit maßstäblichen, physikalischen Schiffsmodellen).
- Auswahl, Erfassung und problemorientierte Aufbereitung der erforderlichen Daten zur Gewässertopografie mit Bauwerken und dem Strömungsfeld sowie Kalibrierungsdaten, insbesondere für die Bemessungsschiffe.
- Kalibrierung der Strömungsmodelle und der fahrdynamischen Parameter der Bemessungsschiffe unter Nutzung von Fahrversuchen aus Naturuntersuchungen oder Maßstabsmodellen; anschließender Vergleich dieser Daten mit Simulationsergebnissen

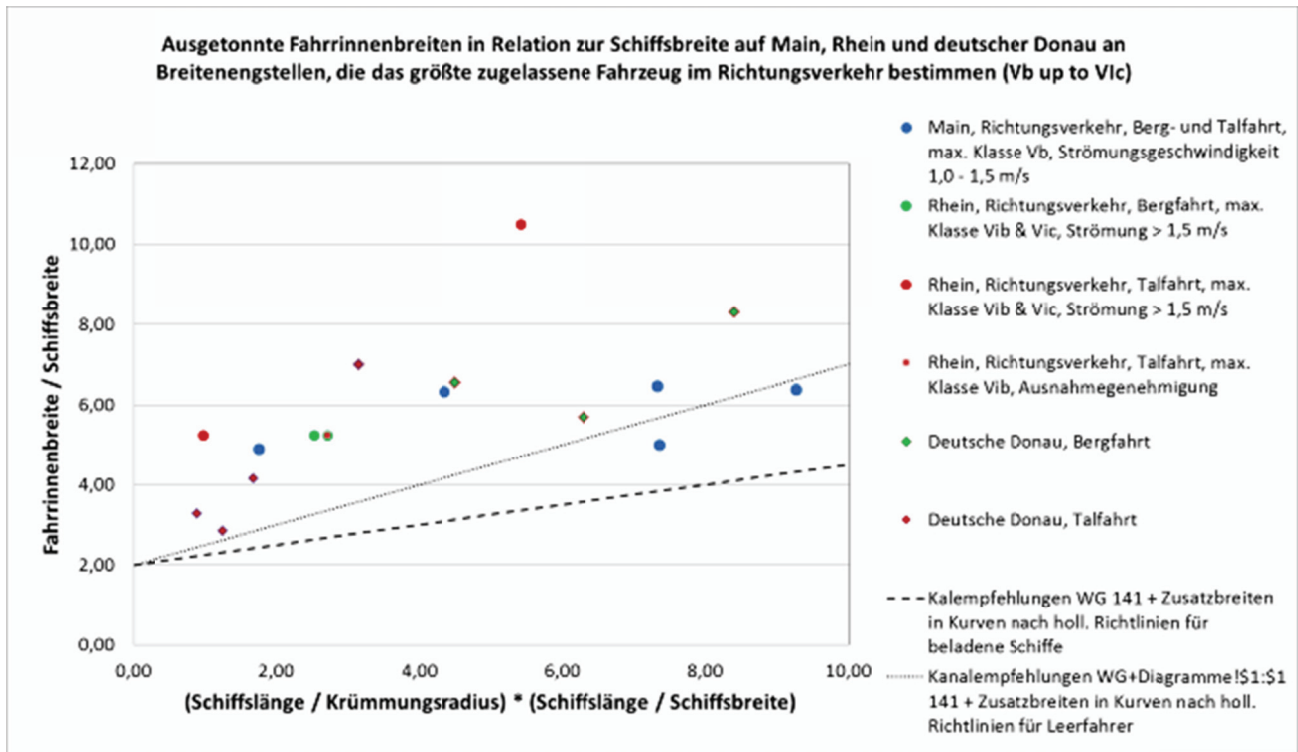


Abbildung 3: Relative ausgetonnte Fahrrinnenbreiten deutscher Flüsse für Richtungsverkehr an Breitenengstellen im Vergleich zu Ansätzen für Kanäle

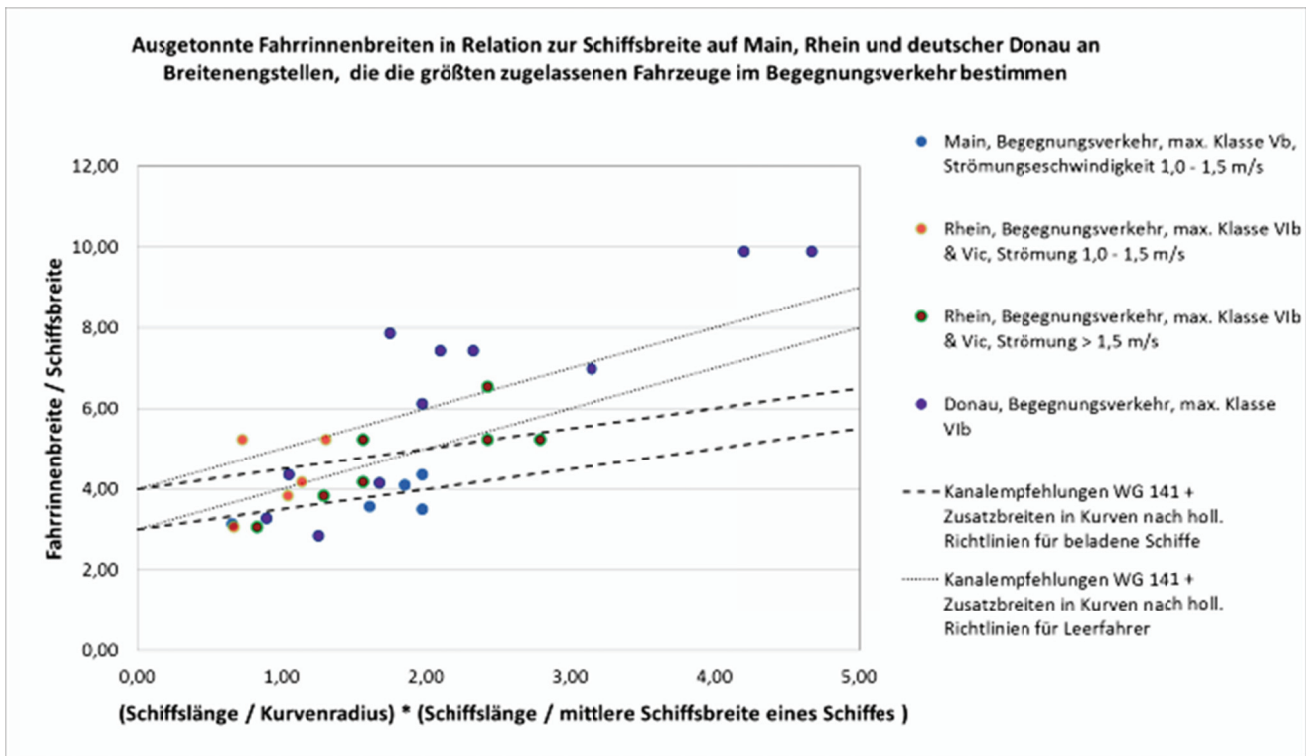


Abbildung 4: Relative ausgetonnte Fahrrinnenbreiten deutscher Flüsse für Begegnungsverkehr an Breitenengstellen im Vergleich zu Ansätzen für Kanäle

möglichst unter den gleichen Bedingungen wie beim Bemessungsfall.

- Modellvalidierung durch mehrere Durchläufe zum Vergleich mit Messdaten, die nicht für die Kalibrierung verwendet wurden.
- Simulationen, insbesondere im Hinblick auf Einflüsse des Humanfaktors. Die Fahrten im Simulator sollten hierzu möglichst mehrfach und von verschiedenen Schiffsführern mit unterschiedlichen Fähigkeiten, Erfahrungen und körperlichen Fitnessbedingungen ausgeführt werden, wobei ein möglichst großes Kollektiv von Ergebnissen entsteht, das statistisch ausgewertet werden kann, um Zufallseffekte zu berücksichtigen.
- Durchführung von Sensitivitätsanalysen für kritische Bemessungsparameter.
- Statistische Auswertung und Interpretation der Ergebnisse, vor allem zum Humanfaktor.
- Realistische Einschätzung und Kommunikation der Anwendungsgrenzen und unvermeidlichen Unsicherheiten der eingesetzten Simulationstechnik sowie der entsprechenden Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse und folglich die darauf aufbauenden Bemessungsentscheidungen.

Dieser Ansatz ist sicherlich ein kritischer Punkt in den zukünftigen Empfehlungen von WG 141: Insbesondere die Anbieter und Anwender von Schiffsführungssimulatoren neigen dazu, die Anwendbarkeit von Simulatoren zu überschätzen, so wie Kunden, die eine Navigationsstudie in Auftrag geben, dazu neigen, die echte Realität und die virtuelle Realität im Simulator zu vermischen. Die Arbeitsgruppe sieht es deshalb als notwendig an, für den Einsatz von Simulationsverfahren Hilfestellungen in der Form der oben aufgeführten Empfehlungen anzubieten, insbesondere, um die Grenzen des Einsatzes von Standard-Schiffsführungssimulatoren zu berücksichtigen (siehe Tabelle 4). Allgemein lässt sich sagen, dass die Anwendungsgrenzen von Standard-Schiffsführungssimulatoren derzeit dann erreicht sind, wenn starke schiffsinduzierte Strömungen vorliegen und der vom Schiff induzierte Wasserspiegelabsenk signifikante Auswirkungen auf das Gewässer und die anderen Schiffe hat. In den kommenden Jahrzehnten sind Weiterentwicklungen zu erwarten, die es erlauben sollten, schiffsinduzierte Strömungen und Wellen gleichzeitig mit den Schiffsbewegungen zu simulieren, wodurch sich die Anwendungsgrenzen erweitern.

Die in Tabelle 4 aufgeführten Anwendungsgrenzen bedeuten nicht, dass Schiffsführungssimulatoren in

Notwendigkeit zur Durchführung detaillierter Untersuchungen zur Bemessung der Wasserstraßeninfrastruktur	Notwendigkeit numerische Schiffssimulationsverfahren wie Schiffsführungssimulatoren anzuwenden
Das Dimensionierungsproblem liegt außerhalb des Anwendungsbereiches bestehender Richtlinien und des Erfahrungswissens	Das Schiff hat ungewöhnliche Eigenschaften, z.B. hinsichtlich der Propulsionsorgane, der Steuerung etc.
Schwierige Fahrwasserbedingungen wie scharfe oder mehrere aufeinander folgende Kurven, enges Fahrwasser mit variablen Tiefen, Einmündungen von Flüssen, Kanalkreuzungen, An- und Abfahrt zu Schleusenvorhöfen bei signifikanten Strömungsgeschwindigkeiten, geringe Brückendurchfahrtsbreiten, Wenden oder Anlegen im Strom	Große Differenz zwischen vorhandener und erforderlicher Fahrwasserbreite
Umweltbedingungen spielen eine bedeutende Rolle, z.B. starke, variable oder hoch turbulente Längs- und Querströmungen, schlechte Sicht, kurzzeitige Wasserstandsschwankungen	Möglichkeit zur signifikanten Reduktion der Baukosten erscheint möglich durch nautische Optimierung des Designs
Untersuchungen zum Ausloten der Befahrbarkeitsgrenzen oder zur Akzeptierung höherer Befahrbarkeitsgrenzen, z.B. Anhebung des HSW	Evaluierung von Risiken des Designs und Verkehrsmanagement
Zweifel über die Auswirkungen bei niedrigeren Standards	Ausbildung von Schiffsführern, um bestimmte Standards zu erfüllen
Großer Einfluss des Humanfaktor auf das Design	Veranschaulichung und Demonstration der nautischen Auswirkungen des Designs
Berücksichtigung hoher Verkehrsstärken	Berücksichtigung von Sonderverkehren, z.B. großen Anzahl von Sportbooten
Planung und Überprüfung von Navigationshilfen auf Wirksamkeit	Akzeptanzfindung für nautische Anforderungen

Tabelle 3: Kriterien, die für eine detaillierte Studie (linke Spalte) und die Nutzung von Schiffsführungssimulationstechnik (rechte Spalte) im Bemessungsprozess sprechen

Starke Interaktionskräfte (Schiff-Ufer oder Schiff-Schiff) wie in engen Kanälen
Starke Flachwasser- oder Kanaleffekte, insbesondere bei Überholungen
Starke Rauheitseffekte, z.B. auf die Querkraft von Bugrudern bei kleinem Flottwasser
Unregelmäßiger Uferverlauf bei ufernaher Fahrt wie bei Bühnen
Starke Wasserspiegelneigungen in Längs- oder Querrichtung
Fahrt innerhalb von Schleusen
Spezielle Probleme wie das Ansaugen von Steinen in Schiffspropeller, schiffsinduzierter Sedimenttransport einschließlich Trübung, der im Bemessungsfall vermieden werden soll

Tabelle 4: Derzeitige Anwendungsgrenzen typischer Schiffsführungssimulatoren

diesen Fällen vollständig versagen würden. Sie können dennoch verwendet werden, wenn sie mit der nötigen Vorsicht interpretiert und möglichst *vergleichend* genutzt werden, wie dies bei hydraulischen Flussmodellen Standard ist. Diese vergleichende Anwendung von Simulationsverfahren ist in Tabelle 5 ausführlicher beschrieben. Sie zeigt, dass es möglich ist, die Anwendbarkeit von Schiffsführungssimulatoren zu erweitern. Dies liegt darin begründet, dass sich Modellfehler bei vergleichenden Betrachtungen teilweise eliminieren, wenn also nicht die *absolute* Größe, sondern der *Unterschied*, z. B. zwischen dem simulierten Verkehrsflächenbedarf zweier betrachteter Szenarien oder Ausbauvarianten, das Ziel der Untersuchung ist. Die Notwendigkeit der vergleichenden Betrachtung bei Anwendung von Simulationsverfahren ist einer der Gründe, warum INCOM WG 141 Prozessempfehlungen für die optimale Nutzung von Schiffsführungssimulatoren zu Zwecken der Bemessung von Binnenwasserstraßen bereitstellen wird. Entsprechende Hinweise finden sich auch im Bericht der MARCOM WG 49.

Zu beachten ist weiter, dass eine fallweise Bemessung im Widerspruch zu den Anforderungen der Standardisierung der Wasserstraßeninfrastruktur stehen kann.

Unterscheide für alle Szenarien oder Varianten stets die folgenden beiden Fälle:

Referenzfall: Dies kann die Befahrung der Wasserstraße im IST-Zustand sein oder eine andere bekannte Fahrsituation, die hinsichtlich der wichtigsten Randbedingungen z.B. der Wassertiefe, der Strömungsgeschwindigkeiten, des Windeinflusses, des Schiffstyps, des Tiefgangs usw. mit dem Bemessungsfall vergleichbar ist und für den qualitativ gute Daten verfügbar sind, z.B. aus Naturuntersuchungen, die im günstigsten Fall sogar derselben Leichtigkeitsskategorie zuzuordnen sind wie im Bemessungsfall, indem z.B. die Daten des Referenzfalls von einem kleineren Schiff verwendet werden als im Bemessungsfall, wenn dieses kleinere Schiff im IST-Zustand unter vergleichbaren Fahrwasserbedingungen verkehrt wie das größere Schiff im Ausbaufall

Bemessungsfall (Design-Fall): Er entspricht der für die Auslegung der Wasserstraßen eigentlich interessierenden Fahrsituation, wobei alle relevanten Randbedingungen zu berücksichtigen sind wie die Gewässertopografie, das Strömungsfeld, das Bemessungsschiff, den Schiffsführer mit seinem üblichen, also ggf. in der Praxis nicht immer optimalen Ausbildungsstand, einem häufig in der Fahrpraxis geringen Aufmerksamkeitsniveau usw., um zu berücksichtigen, dass die Realität anders sein kann als die Bedingungen im Simulator mit i.d.R. gut ausgebildeten und hoch aufmerksamen Schiffsführern.

Führe die Simulationen für die Randbedingungen im *Referenzfall* zunächst durch und vergleiche sie mit den verfügbaren Daten des Referenzfalls, insbesondere hinsichtlich der im späteren Bemessungsfall relevanten Aspekte, z.B. der tatsächlich genutzten Fahrwasserbreite oder der Einschätzung der Schiffsführer zur Sicherheit und Leichtigkeit der im Simulator nachvollzogenen Fahrsituation des Referenzfalls. Wenn sich große Unterschiede zu den verfügbaren Daten im Referenzfall oder der Erfahrungen aus dem Referenzfall zeigen sollten, ist die Ursache zu ergründen, indem z.B. die Kalibrierung der verwendeten Modelle überprüft und ggf. verbessert wird, indem nach bisher unberücksichtigten Effekten gesucht wird wie unterschiedliche Fähigkeiten und Aufmerksamkeitsniveaus der Schiffsführer im Simulator und in der Fahrpraxis, indem Ungenauigkeiten in den verfügbaren Daten identifiziert werden oder indem die Sichtbedingungen im Simulator und im Referenzfall verglichen werden. Wenn die Differenzen zwischen Realität und Simulationsergebnissen im Referenzfall akzeptabel erscheinen, kann die grundsätzliche Eignung des Simulators für die betrachtete Fahrsituation angenommen werden. Man beachte aber, dass die gleichen verbleibenden Differenzen auch im Bemessungsfall zu erwarten sind.

Führe nun die Simulationen im Bemessungsfall durch und addiere die Differenzen zwischen Simulationen und verfügbaren Daten im Referenzfall. Diese korrigierten Simulationsergebnisse sind der Realität näher als die unveränderten Ergebnisse der Fahrten im Simulator.

Nutze möglichst objektive Kriterien zur Einschätzung des Schwierigkeitsgrades einer Fahrsituation wie die Anzahl der Ruderimpulse pro Minute, die größten genutzten Ruderwinkel, der Ausnutzungsgrad der verfügbaren Antriebsleistung, die Gesamtzeit zur Durchführung von Manövern, den Verkehrsflächenbedarf, der kleinste Abstand zwischen den beteiligten Schiffen oder zu Bauwerken an und in der Wasserstraße sowie zum Ufer. Die zugehörigen Kennwerte können zum Vergleich des simulierten zum realen Referenzfalls genutzt werden und später zur Korrektur des Bemessungsfalls verwendet werden, aber auch zum Vergleich zweier simulierter Bemessungsfälle, die z.B. zwei verschiedenen Ausbauplanen zugeordnet sind. Die Nutzung dieser Kennwerte erscheint objektiver als zu versuchen, die subjektive Einschätzung der Schiffsführer, trotz ihrer generellen Wertigkeit zur Beurteilung der Fahrwasserhältnisse, z.B. bei einem kritischen Fahrmanöver mit Worten zu beschreiben und dadurch einzuordnen. Beachte, dass es im Allgemeinen nicht ausreicht, dass der Schiffsführer "fühlt", dass die Simulationen korrekt seien, z.B. hinsichtlich der Fahrdynamik seines Schiffes, weil sein „Gefühl“ trügen kann.

Tabelle 5: Minimierung von Modellierungsungenauigkeiten bei der Anwendung von Schiffsführungssimulatoren zur Wasserstraßenbemessung durch vergleichende Betrachtungen

Die Standardisierung soll Bemessungsprozesse vereinfachen, bewährte und nachhaltige Lösungen unterstützen und somit Bau- und vor allem Unterhaltungskosten reduzieren. Eine fallweise Betrachtung sollte also immer die Anforderungen einer Standardisierung beachten und sich ggf. darauf beschränken, die Anwendung von Standardlösungen in solchen Bemessungsfällen, die weit über das Bekannte oder die bisherige Erfahrung hinausgehen, zu überprüfen.

5. Aktualisierter Ansatz zur Bewertung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs

5.1 Gründe für die Definition neuer Leichtigkeitsskategorien

Die Unterschiede zwischen den bestehenden und den in nationalen Richtlinien empfohlenen Abmessungen von Wasserstraßen liegen möglicherweise in der Tatsache begründet, dass jedes Wasserstraßensystem mit seinen spezifischen Eigenschaften – vornehmlich Was-

sertiefe und -breite, Fließgeschwindigkeit, durchschnittliche Transportwege, wirtschaftliche Bedingungen der Binnenschifffahrt, Art der transportierten Ladung und Schifffahrtstradition – eine einzigartige Flotte hervorbringt, von der die für die Wasserstraßeninfrastruktur zulässigen Mindestabmessungen abgeleitet werden können. Daher sind die Fahrwasserverhältnisse und somit die Bedingungen für die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt definitiv von Land zu Land und von Wasserstraße zu Wasserstraße unterschiedlich. Dennoch sollte zumindest die Sicherheit des Schiffsverkehrs in jedem Fall gewährleistet sein. Daher beschloss WG 141, sich auf die Differenzierung von *Leichtigkeitskategorien* zu beschränken und man geht davon aus, dass die Sicherheitsanforderungen im Rahmen der Zulassung und Konstruktion erfüllt werden. Es gibt jedoch einige objektive Kriterien, die für eine großzügigere Bemessung der Wasserstraßen sprechen, z. B. wenn im Schadensfall ein hohes Risiko für Leib und Leben besteht. In anderen Fällen wiederum können niedrigere Standards vertretbar erscheinen, beispielsweise in engen Kanälen mit geringer nutzbarer oder möglicher Schiffsgeschwindigkeit. Diese Kriterien werden in Kapitel 5.2 erläutert.

Auf der Grundlage der vorliegenden Kriterien werden verschiedene „Kategorien“, „Bewertungen“ oder „Grade“ der Leichtigkeit definiert. Diesen neuen Begriffen ging in WG 141 eine lange Diskussion um die richtige Begrifflichkeit voraus. Sie lösen die Begriffe „Standard“ und „Niveau“ ab, die vor dem 8. Treffen der Arbeitsgruppe verwendet wurden (Deplaix und Soehngen 2013, Soehngen 2013). Eine Änderung der Begriffe wurde nötig, weil die Arbeitsgruppe die Anwender ihrer künftigen Richtlinien nicht von der Verantwortung entbinden wollte, den richtigen, z. B. den nationalen Richtlinien entsprechenden Standard auszuwählen. Angestrebt wurde lediglich eine Orientierungshilfe für die *Bewertung* von Leichtigkeitsbedingungen in spezifischen Fahrsituationen – im Folgenden „Analysefall“ genannt –, um u. a. die Vergleichbarkeit mit anderen Fahrsituationen oder mit einer Zielkategorie zu ermöglichen. Zudem soll Entscheidungsträgern durch unterstützende Argumente die Ermittlung einer geeigneten Kategorie für das „Bemessungsfall“ erleichtert werden. Beide Lesarten, der Analyse- und der Bemessungsfall, werden benötigt, wenn es darum geht, die Leichtigkeitskategorien mit Beispielen aus der Praxis und mit konkreten, für ausgewählte Wasserstraßenabmessungen empfohlenen Werten zu verknüpfen. In den Publikationen der Smart Rivers Konferenz 2013 wurde lediglich die Bemessungsart berücksichtigt.

5.2 Kriterien zur Auswahl geeigneter und zur Analyse vorhandener Leichtigkeitskategorien

Skalierungsfaktoren für Wasserstraßenabmessungen unterliegen zahlreichen Einflussparametern, die sich auch auf die erforderliche Leichtigkeitsqualität auswirken. Falls Unwägbarkeiten zu berücksichtigen sind, sollte die Bemessung großzügiger ausfallen als bei traditionellen Wasserstraßen üblich. Dies ist beispielsweise der Fall bei schlechten Fahrwasserverhältnissen mit starken, hoch turbulenten Strömungen oder unregelmäßigen Ufern oder aber bei zukünftigen Anpassungen an ökologische Anforderungen. Im Gegensatz dazu können gute Informationssysteme mit Autopilotunter-

stützung und modernen Steuersystemen – Bugstrahler, leistungsstarke Zwei-Propelleranlagen und Zwillingsruder statt Ein-Propelleranlage und Einzelruder – die Anforderungen an die Abmessung von Wasserstraßen erheblich reduzieren. Die vorgeschlagene fallweise Bemessung kann diesen Einflussparametern in der Regel durch den Einsatz von Schiffsführungssimulatoren Rechnung tragen. Neben diesen mehr oder weniger quantifizierbaren bemessungsrelevanten Aspekten können jedoch auch nicht kalkulierbare Bemessungsrisiken eine Entscheidung für größere, von der Norm abweichende Abmessungen notwendig machen. Ist eine Fahrrinne beispielsweise nur für Richtungsverkehr vorgesehen, weil sich Begegnungs- oder Überholssituationen von Schiffen durch das Verkehrsmanagement vermeiden lassen, muss der nutzbare schiffbare Raum großzügiger bemessen werden als in Fahrinnen für Begegnungsverkehr. Während letztere aufgrund ihrer größeren Breite und ihrer Auslegung auf Schiffsbegegnungen i. d. R. auch bei schlechten Sichtverhältnissen oder starkem Windeinfluss ausreichend Platz zumindest für den Richtungsverkehr bieten, können Fahrinnen, die für den Richtungsverkehr ausgelegt wurden, ohne darüber hinaus gehende Breitezuschläge zu schmal sein, um besonderen Situationen gerecht zu werden. Auch ein hoher zu erwartender Schaden bei Unfällen kann größere Abmessungen notwendig machen, beispielsweise wenn sich in unmittelbarer Nähe der Fahrrinne Gebäude, Kaimauern, Bühnen, Felsvorsprünge oder schwimmende Restaurants bzw. liegende Schiffe befinden. In solchen Fällen kann jeder Steuerfehler eine Gefahrensituation verursachen. Ist die Fahrrinne dagegen von Sand- oder Kiesböschungen gesäumt, können Steuerfehler zwar zu Uferkontakt führen, es sind jedoch keine schweren Schäden am Schiff oder an der Wasserstraßeninfrastruktur zu erwarten. Auch Zusammenstöße mit anderen Schiffen lassen sich im Notfall durch Auffahren des Schiffes auf das Ufer vermeiden. Die erf. Abmessungen der Wasserstraßen hängen also vom Schadensausmaß im Falle von unwägbar Situationen ab. Diese können insbesondere durch Einflüsse des Humanfaktor herbeigeführt werden: Sind die Schiffsführer als eine der wichtigsten Einflussgrößen für die Wasserstraßenbemessung gut geschult, erfahren und aufmerksam, sind kleinere Wasserstraßenabmessungen akzeptabel. Ein schlecht ausgebildeter, abgelenkter oder gestresster Schiffsführer wird aber mehr Platz zum Navigieren benötigen.

Alle vorstehend genannten und weitere Aspekte („gemischte Kriterien“) sind in Tabelle 7 in der *ersten „Bewertungsgruppe“* zur Ermittlung geeigneter Leichtigkeitskategorien erfasst. Eine zweite Bewertungsgruppe betrifft die *Schiffsgeschwindigkeit* (Tabelle 8), eine dritte den Parameter *Verkehrsstärke* (Tabelle 9), dessen Verknüpfung mit der erforderlichen Leichtigkeitsqualität evident ist. Bei einer niedrigen Verkehrsstärke ist das Unfallrisiko sehr viel kleiner als bei viel Verkehr (Anzahl der Begegnungen steigt mit dem Quadrat der Verkehrsdichte). Auch politisch-ökonomische Verluste aufgrund von Beschränkungen, die unterdimensionierten Wasserstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen auferlegt werden müssen, sind offensichtlich und sollten vermieden werden. Analoge Kriterien finden sich in einigen nationalen Richtlinien und auch im Bericht von MARCOM WG 49. Alle drei Bewertungsgruppen lassen eine mehr oder weniger klare Zuordnung zu einer der drei in Tabelle 6 definierten Leichtigkeitskategorien zu.

Es obliegt dem Anwender künftiger Richtlinien, die möglicherweise unterschiedlichen Ergebnisse der drei Kategorisierungsgruppen gegeneinander abzuwägen.

Eine detailliertere Betrachtung des Geschwindigkeitskriteriums bringt folgende Erkenntnisse: Bei niedrigen Geschwindigkeiten wie sie z. B. in der Bergfahrt in Kanälen oder Flüssen erreicht werden, bleibt mehr Zeit, um Steuerfehler zu korrigieren oder auf unwägbar Situationen zu reagieren als bei hohen Geschwindigkeiten wie in der Talfahrt auf Hochwasser führenden Flüssen. Je höher also die mögliche oder zulässige Geschwindigkeit ist, desto höher sollte die Leichtigkeitskategorie sein. Dies gilt auch für Strecken, die in erheblichem Maße von Sportbooten, vor allem Ruderbooten (eingeschränkte Sicht) oder Kanus (Wellenempfindlichkeit) befahren werden. Nur so kann die Sicherheit der Bootsführer gewährleistet werden. Umgekehrt ist jedoch in Situationen, in denen der Steuermann zur schnellen Fahrt *gezwungen* ist – beispielsweise stromabwärts in enger Kurvenfahrt auf einem frei fließenden Fluss mit hoher Fließgeschwindigkeit – die Notwendigkeit zur Fahrt mit hoher Geschwindigkeit ist dann ein Kriterium für eine niedrigere Einstufung der Leichtigkeit, es sei denn, die Zusatzbreite in der Kurvenfahrt kann mit passiven Bugrudern oder starken Bugstrahlern wirksam begrenzt werden. Das Geschwindigkeitskriterium sollte sich daher aus drei Parametern zusammensetzen: Der absoluten Größe der Schiffsgeschwindigkeit, der Verkehrsstärke (von Sportbooten) und dem fahrbaren bzw. dem notwendigen Geschwindigkeitsbereich. Ist Letzterer grundsätzlich hoch, z. B. im Stillwasser, ist auch die zugehörige Leichtigkeitskategorie hoch zu bewerten. In Situationen, in denen ein begrenztes „Geschwindigkeitsfenster“ Voraussetzung für eine sichere Fahrt ist, ergibt sich jedoch eine niedrige vorhandene Leichtigkeitskategorie, so zum Beispiel in auf Richtungsverkehr ausgelegten Kanälen, bei denen die Differenz zwischen der kritischen Geschwindigkeit (brechende Heckwelle) und der zur Sicherstellung einer normalen Reaktion des Boots auf Ruderlegung erforderlichen Mindestgeschwindigkeit sehr gering ist (zugehöriges Schiffsgeschwindigkeitsfenster in deutschen Kanälen für Richtungsverkehr ca. 2 km/h oder weniger).

5.3 Bezeichnung verschiedener Leichtigkeitskategorien

Bevor jedoch eine Bewertung der Fahrbedingungen mithilfe der Leichtigkeitskategorien möglich ist, müssen diese zunächst definiert und benannt werden. Zu diesem Zweck werden exemplarisch die Fahrwasserbedingungen im Niederrhein in Deutschland oder den Niederlanden betrachtet. Dort erlaubt die vorhandene Breite der Fahrrinne selbst bei Hochwasser und für alle zugelassenen Wasserfahrzeuge eine nahezu uneingeschränkt leichte Fahrt. Im Vergleich dazu ist die enge Durchfahrt von historischen Brücken, wie etwa der Alten Brücke am Neckar in Heidelberg, nur mit erhöhter Aufmerksamkeit und gut ausgerüstetem Schiff sicher zu bewältigen. Man kann also die Fahrt auf dem Niederrhein als „nahezu uneingeschränkt leicht“ (Bezeichnung „A“ in Tabelle 6) und die Fahrt auf dem Neckar an der Alten Brücke als „streckenweise stark eingeschränkt leicht“ (Bezeichnung „C“) bewerten. Diese Bezeichnun-

gen werden in Tabelle 6 für zwei von drei Leichtigkeitskategorien verwendet. Warum wurden jedoch exakt drei Kategorien gewählt und nicht etwa zwei wie im Kanalprofil der niederländischen Richtlinien („normal“ und „eng“) oder mehr als drei, um eine genauere Kategorisierung zu ermöglichen? Ein Grund hierfür ist die Entscheidung von WG 141, sowohl das obere Ende des Spektrums möglicher Sicherheits- und Leichtigkeitsstandards zu vernachlässigen, bei dem alle möglichen Schiffe, selbst schlecht ausgestattete mit dürftig geschultem Steuerpersonal, im betreffenden Gebiet sicher und ohne gegenseitige Behinderung fahren können (der Schwerpunkt von WG 141 liegt wie oben erwähnt auf den erforderlichen *Mindestabmessungen* der Wasserstraße), als auch das untere Ende des Spektrums mit extrem eingeschränkten Bedingungen, die den Steuermann zu einer stark reduzierten Geschwindigkeit zwingen – etwa bei Einfahrten in Schleusenammern oder Manövern im Hafen, denn die in WG 141 vornehmlich betrachteten Wasserstraßenabmessungen werden durch ein Schiff *in Fahrt*, nicht durch ein Schiff unter Manövrbedingungen mit extrem reduzierter Geschwindigkeit skaliert. Der erneute Blick auf die Fahrwasserhältnisse in europäischen Flüssen lässt die Aufnahme einer weiteren Leichtigkeitskategorie „B“, die zwischen den Extremen von Niederrhein und Neckar liegt, sinnvoll erscheinen. Die Kategorien und ihre Bedeutung werden in Tabelle 6 anhand von Beispielen veranschaulicht.

Qualitätsstufe	Bezeichnung	Beispiele aus bestehenden Wasserstraßen
A	Nahezu uneingeschränkt leichte Fahrt	Niederrhein und Mittelrhein für alle zugelassenen Fahrzeuge, holländische Kanäle für mittelgroße Fahrzeuge, Richtungsverkehr in Begegnungsprofilen der deutschen Standardkanäle
B	Moderat bis stark eingeschränkt leichte Fahrt	Größte zugelassene Fahrzeuge auf dem Mississippi, dem Oberrhein, dem Neckar, in den „Normalprofilen“ der holländischen Richtlinien, Einzelfahrt in deutschen Kanälen für Richtungsverkehr, Brückendurchfahrten bei guter Sicht und üblichen Breitenverhältnissen
C	Stark eingeschränkt leichte Fahrt über kurze Distanzen	Begegnungen der größten zugelassenen Fahrzeuge in deutschen Standardkanälen bzw. in den „engen Profilen“ der holländischen Richtlinien, Brückendurchfahrten bei schlechter Sicht, Fahrt bei starken Querströmungen u. im Bereich von Schleusenvorhöfen

Tabelle 6: Bezeichnung der Leichtigkeitsstandards mit Beispielen (in WG 141 noch nicht abschließend erörtert)

5.4 Gemischte Kriterien zur Analyse oder Auswahl geeigneter Leichtigkeitskategorien – 1. Bewertungsgruppe

Im Rahmen des oben vorgestellten Ansatzes zur Ermittlung der geeigneten Leichtigkeitskategorie müssen mehrere Kriterien aufeinander abgestimmt werden. Das zu diesem Zweck verwendete Bewertungssystem basiert auf der Anzahl der zutreffenden Kriterien oder Argumente, wobei vereinfachend nur *positive* Ergebnisse berücksichtigt werden. Die zutreffenden Kriterien werden im entsprechenden Feld der folgenden Tabellen mit „x“ oder „y“ markiert.

- Im *Bemessungsfall* wird die Markierung „x“ dann verwendet, wenn das im entsprechenden Feld der Tabelle genannte Argument für eine höhere erforderliche Leichtigkeitsqualität spricht und die Markierung „y“, wenn eine niedrigere Kategorie vertretbar wäre. Die „x“-Argumente sind in Tabelle 7 in der farbig hinterlegten linken Spalte (warme Farben), die „y“-Argumente in der farbig hinterlegten

rechten Spalte (kalte Farben) erfasst. Augenscheinlich sollte die Leichtigkeitskategorie bei vielen x- und wenigen y-Markierungen höher und bei wenigen x- und vielen y-Markierungen niedriger sein. Die erforderliche Leichtigkeitskategorie richtet sich also nach der Anzahl der x- und y-Markierungen. Über die genaue Anzahl besteht in WG 141 noch Diskussionsbedarf. Den letzten Versuch einer Einigung zeigen die Tabellen 10 und 11, in denen alle Kriterien für die Zuordnung der gemischten, geschwindigkeits- und verkehrsbezogenen Argumente zu einer Leichtigkeitskategorie zusammengestellt sind.

- Im *Analysefall* werden Felder in der linken Spalte (warme Farbe) in Tabelle 7 durch ein „x“ markiert, wenn das im Feld beschriebene Argument für eine niedrigere Leichtigkeitsbewertung für die zu bewertende Fahr-situation zutrifft. Das heißt, die „x“-Markierungen werden im Analysefall (der z. B. die Fahrbedingungen in einem schmalen Streckenabschnitt erfasst) wahrscheinlich in dieselben Felder eingetragen wie im entsprechenden Bemessungsfall, da eine niedrige Bewertung der bestehenden Leichtigkeit im Analysefall im Bemessungsfall eine hohe Leichtigkeitskategorie erfordert, um eine Verbesserung der Fahrbedingung zu erreichen.

Für die Analyse der bestehenden Wasserstraßenbedingungen oder der Empfehlungen in aktuellen Richtlinien erscheint im Bemessungsfall die höchste Leichtigkeitsbewertung A angemessen, wenn mindestens 5 „x“- und höchstens 2 „y“-Markierungen vergeben wurden. Die Kategorie B scheint angebracht, wenn die Zahl der „x“- oder „y“-Markierungen zwischen 3 und 4 liegt, und die niedrigste Kategorie C scheint bei 2 oder weniger „x“-Markierungen bzw. 5 oder mehr „y“-Markierungen akzeptabel. Entsprechend empfiehlt sich im Analysefall die Vergabe der Leichtigkeitsbewertung A, wenn die Anzahl der „x“-Markierungen bei 2 oder weniger bzw. die Anzahl der „y“-Markierungen bei 5 oder mehr liegt. Die zu bewertende Fahrbedingung erhält die Kategorie B, wenn die Anzahl der „x“- und „y“-Markierungen zwischen 3 und 4 liegt und die niedrigste Kategorie C bei mindestens 5 „x“- und höchstens 2 „y“-Markierungen. Diese Zahlen können sich unter Umständen im Laufe der Diskussion in WG 141 noch ändern.

5.5 Kriterium Geschwindigkeit – 2. Bewertungsgruppe

Für das Geschwindigkeitskriterium kann sich die Festlegung eines Bewertungssystems analog zur 1. Bewertungsgruppe als schwierig erweisen. Daher wurde in Tabelle 8 eine direkte Zuordnung der drei Geschwindigkeitskriterien zu möglichen Leichtigkeitskategorien vorgenommen: Schiffsgeschwindigkeit über Grund mit Auswirkung speziell auf das Schadenspotenzial, Geschwindigkeitsbereich zur Beschreibung des verfügbaren Manövrierraums und Verkehrsaufkommen durch Sportboote, das Frachtschiffen die Gewährleistung der Sicherheit von Bootsführern erschwert.

Ein erster Versuch zur Festlegung spezifischer Werte für die Geschwindigkeit über Grund erfolgte beim 8. Treffen von WG 141 und ist in Tabelle 8 festgehalten. Die Tabellen 10 und 11 geben Aufschluss über die beiden anderen geschwindigkeitsbezogenen Kriterien.

Gemischte Kriterien		x-Argumente, die für eine höhere notwendige Leichtigkeitsqualität im Design- bzw. Bemessungsfall (DF) sprechen bzw. die eine geringere Leichtigkeit im Analyse- bzw. Bewertungsfall (AF) indizieren	y-Argumente, die eine niedrigere Leichtigkeitsqualität im Design- bzw. Bemessungsfall (DF) akzeptabel erscheinen lassen bzw. die eine höhere vorhandene Leichtigkeit im Analyse- bzw. Bewertungsfall (AF) indizieren
		Designfall (DF): Markiere das Kästchen mit einem „x“, wenn die dort beschriebene nautische Bedingung im Designfall zutrifft	Designfall (DF): Markiere das Kästchen mit einem „y“, wenn die dort beschriebene nautische Bedingung im Designfall zutrifft
		Analysefall (AF): Markiere das Kästchen mit einem „x“, wenn die dort beschriebene nautische Bedingung im Analysefall zutrifft	Analysefall (AF): Markiere das Kästchen mit einem „y“, wenn die dort beschriebene nautische Bedingung im Analysefall zutrifft
1	Ladungstyp	Tief abgeladene Schiffe, gefährliche Güter	Leere oder ballastierte Schiffe, keine gefährlichen Güter
2	Ausbildungsstand, Fähigkeiten und Erfahrungen der Schiffsführer	Schlecht ausgebildete Schiffsführer, geringe Revierkenntnisse, wenig Erfahrungen	Optimal ausgebildete, erfahrene Schiffsführer mit guten Revierkenntnissen
3	Aufmerksamkeit, Ablenkung, Beanspruchung der Schiffsführer	Lange, langweilige Fahrt oder permanente Manöverbedingungen	Wenige oder kurzzeitige Manöverbedingungen wie bei Begegnungen oder Brückendurchfahrten
4	Gefährdungspotenzial, mögliche Havarien oder Schäden	Bauwerke, Kaimauern, schwimmende Anlagen, liegende Schiffe in der Nähe des Schiffs-pfades, Gefährdung von Leib und Leben	Böschungsufer, Parallelwerke oder kurze Buhnen am Fahrinnenrand
5	Unwägbarkeiten der Fahrwasserbedingungen	Makroturbulenzen, Sekundärströmungen, unregelmäßiger Uferverlauf, Querströmungen, lange Buhnen, steinige oder felsige Sohle, Wind, Nebel	Regelmäßiger Uferverlauf, geböschte sandige oder kiesige Ufer, geringe Windgeschwindigkeit oder Windschutz
6	Verkehrssituation, Interaktion Schiff-Schiff oder Schiff-Ufer	Richtungsverkehr, viele Manöver wie Überholungen	Mehrspurverkehr, übliche Interaktionskräfte
7	Schiffsausrüstung und Steuerung	Nur Haupt- oder schwache Bugruderanlagen, binnengängige Seeschiffe, geringe Antriebsleistung, keine modernen Informationssysteme	Starke Bugstrahlruder oder große passive Ruder, hohe Antriebsleistung, Zweischrauber, Zwillingsruder, optimale Informationssysteme
8	Sportbootverkehr	Hoher Verkehrsanteil mit Sportbooten, besonders Ruderer und Kanuten	Wenig Sportbootverkehr oder hauptsächlich Sportmotorboote

Tabelle 7: Gemischte Kriterien zur Auswahl geeigneter oder zur Analyse bestehender Leichtigkeitskategorien – 1. Bewertungsgruppe

Die angegebenen Schwellenwerte für die maximal erreichbaren und zur Gewährleistung der Fahrsicherheit erforderlichen Schiffsgeschwindigkeiten können eventuell eine Quantifizierung möglicher Geschwindigkeitsbegrenzungen gemäß den erforderlichen oder bestehenden Leichtigkeitskategorien unterstützen. Die Geschwindigkeitsangaben in der Tabelle berücksichtigen nahezu einschränkungsfreie Fahrwasserbedingungen wie die in großen Flüssen, Geschwindigkeitsbegrenzungen in Kanälen gemäß aktuellen Richtlinien und örtliche Bestimmungen (z. B. für extrem schmale und flache Kanäle und für den Canal Grande in Venedig - 5 und 7 km/h) sowie typische Geschwindigkeiten bei der Fahrt im Bereich von Schleusenvorhöfen (nicht Ein- oder Ausfahrt in die Schleusen**kammern**).

Die Zuordnung der Leichtigkeitsangaben zur Schiffsgeschwindigkeit ist im Bemessungs- und Analysefall identisch: Eine in einer gegebenen Situation hohe erreichbare Geschwindigkeit spricht für eine hohe Leichtigkeitsbewertung, und die Notwendigkeit einer hohen Schiffsgeschwindigkeit verlangt im Bemessungsfall eine hohe Leichtigkeitskategorie. Beim 2. geschwindigkeitsbezogenen Kriterium, dem Schiffsgeschwindigkeits**bereich** gemäß Tabellen 10 und 11, können die Leichtigkeitsbewertungen im Bemessungs- und Analysefall jedoch variieren. Ist beispielsweise aufgrund einer

geringen Wassertiefe nur ein enger Geschwindigkeitsbereich möglich, verlangt diese Situation im Bemessungsfall eine höhere Leichtigkeitskategorie, um z. B. einen erweiterten Navigationsraum zu ermöglichen. Im Analysefall würde dieselbe Fahrsituation jedoch mit einer niedrigen Leichtigkeitsqualität bewertet. Dies gilt gleichermaßen für die Sportboot-schifffahrt, da ein hohes Aufkommen von Privatbooten eine höhere Leichtigkeitskategorie erfordert, im Analysefall jedoch die Leichtigkeitsqualität für Frachtschiffe reduziert. Das Geschwindigkeitskriterium wird daher in den Tabellen 10 und 11 analog zur Tabelle 7 für das Analyse- und Bemessungsszenario getrennt behandelt.

Anzahl Frachtschiffe pro Jahr	Auswahl des Kanalprofils analog zu den holländischen Richtlinien	Zuordnung zur Leichtigkeitsqualität
> 30,000	Einzelfalluntersuchung erforderlich (z.B. Zusatzspuren zur Aufnahme des hohen Verkehrsaufkommens)	A
15,000 – 30,000	„Normales“ Kanalprofil für Begegnungen	B
5,000 – 15,000	„Normales“ Profil, „enges“ Profil für kurze Strecken	B, C
< 5,000	„Enges“ Kanalprofil für Begegnungsverkehr, Richtungsverkehrsprofil für Ausnahmesituationen, z.B. Stichkanäle	C

Tabelle 9: Zuordnung von Leichtigkeitskategorien zur Verkehrsdichte in der gewerblichen Schifffahrt für den Bemessungsfall

Bezeichnung der Schiffsgeschwindigkeit	Betrag der Schiffsgeschwindigkeit über Grund v_{SEG}	Qualitätsstufe der Leichtigkeit	Die v.g. Qualitätsstufe ist aus den unten stehenden Gründen zu wählen bzw. bei der Qualitätsstufe tritt folgendes auf
Keine Restriktionen	≥ 13 km/h	A	Vermeidung starker Sachschäden am Schiff oder an Bauwerken sowie bei Gefahr für Leib und Leben im Fall von Havarien
Angepasste Schiffsgeschwindigkeit	ca. 9 – 10 km/h	A, B	Begrenzung der Interaktionskräfte zwischen Schiffen und zum Ufer und damit zur Durchführung leichter Überholungen
Reduzierte Geschwindigkeit in Kanälen	ca. 7 km/h	B	Reduktion der Wellenhöhen, z.B. zur Konfliktvermeidung mit Sportbooten oder zur Durchführung von Begegnungen
Vorsichtige „Marschfahrt“	ca. 5 km/h	B, C	Stark reduzierte Interaktionskräfte und damit geringe Sicherheitsabstände
Stark reduzierte Geschwindigkeit	ca. 3 km/h	C	Keine signifikanten Interaktionskräfte (Sicherheitsabstände reduzieren sich auf Sichtabstände) mehr
Langsamfahrt	< 2 km/h	C	Keine signifikanten Schäden bei Havarien (Schleuseneinfahrt)

Tabelle 8: Zuordnung von Leichtigkeitskategorien zur Schiffsgeschwindigkeit über Grund

5.7 Kombination der Argumente für bestehende bzw. erforderliche Leichtigkeitskategorien

In den Tabellen 10 und 11 sind alle o.g. Kriterien zur Festlegung der Leichtigkeitskategorien zusammengefasst. Da die Zuordnung zu den Kriterien, beispielsweise aus den Tabellen 6 bis 9, nicht in jedem Fall eindeutig ist, wurde auf Linien zur Kennzeichnung der Zuordnung zwischen den Zeilen verzichtet. Es ist zu beachten, dass in WG 141 noch keine endgültige Abstimmung der Zuordnung erfolgt ist und die Bezeichnungen, die sich auf die Bedeutung des Sportbootverkehrs beziehen, keinen spezifischen Werten zugeordnet sind. Das in den Tabellen skizzierte Bewertungsschema muss seine Tauglichkeit erst unter Beweis stellen, indem er auf verschiedene Bemessungsfälle der verkehrswasserbaulichen Praxis bzw. vorhandene Fahrsituationen angewendet wird. Dies wird eine Aufgabe für nachfolgende Zusammenkünfte von WG 141 sein.

5.6 Kriterium Verkehrsstärke – 3. Bewertungsgruppe

Eines der wichtigsten Argumente mit Einfluss auf die Wahl geeigneter Standards ist das Verkehrsaufkommen. Im Bericht von MARCOM WG 49 begründet beispielsweise eine hohe Verkehrsstärke das Vorsehen von Zusatzbreiten bei der Fahrinnenbemessung. Analog zu den niederländischen Standards für Wasserstraßen, wonach das sogenannte „enge Profil“ (ggf. Leichtigkeitsniveau C) ein Verkehrsaufkommen von unter 5000 Schiffen pro Jahr abdeckt, hat WG 141 für den jeweiligen Querschnitt eine Zuordnung der geeigneten Leichtigkeitskategorien zur Anzahl der kommerziellen Schiffe je Jahr (beide Fahrtrichtungen) vorgenommen (siehe Tabelle 9).

Wie schon beim Geschwindigkeitsbereichskriterium führt die Beurteilung der bestehenden Leichtigkeit beim gleichen Verkehrsaufkommen zu einem anderen Ergebnis als im Designfall, denn im Analysefall ist die Leichtigkeit hoch und kann z.B. mit A bewertet werden, wenn das Verkehrsaufkommen gering ist, während im Bemessungsfall ein niedriges Verkehrsaufkommen eine geringere Leichtigkeit bis zur Stufe C akzeptabel erscheinen lässt. Dieser Sachverhalt wird in den Tabellen 10 und 11 verdeutlicht.

6.6 Schlussfolgerungen und weitere Aktivitäten von WG 141

Die PIANC INCOM Arbeitsgruppe 141 zur Erarbeitung von „Bemessungsrichtlinien für Binnenwasserstraßen“ ist nunmehr seit 4 Jahren mit ihren Aufgaben befasst. Im Ergebnis des Workshops anlässlich der SMART Rivers Konferenz im vergangenen Jahr erfolgten Überarbeitungen oder erste Entwürfe verschiedener wesentlicher Kapitel des zukünftigen Berichts, so etwa zur Analyse bestehender Richtlinien, zu den drei Ansätzen bei der Bemessung von Wasserstraßen und den Aspekten von Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs. Daher ist die AG optimistisch, dass im Laufe des Jahres 2014 ein erster Entwurf der Richtlinien ausgearbeitet werden kann. Dennoch gibt es bei einigen Themen immer noch Diskussionsbedarf, gerade auch im Zusammenhang mit der Auswahl angemessener Sicherheits- und Leichtigkeitskategorien, ihrer Zuordnung zu Best Practice-Beispielen oder den Anwendungsgrenzen von Schiffsführungssimulatoren.

Binnenwasserstraßen

Sachstand der PIANC INCOM WG 141: Bemessungsgrundlage für Binnenwasserstraßen

Erforderliche Qualitätsstufe	Bemessungsfall: Min. erforderliche oder akzeptierte Leichtigkeitsqualität (A, B, C)					
	Verschiedene Kriterien		Kriterien im Zusammenhang mit der Schiffsgeschwindigkeit über Grund $v_{SüG}$			Verkehr
	Anzahl „x“-Marken	Anzahl „y“-Marken	Entwurfs- $v_{SüG}$ (km/h)	Nutzbarer $v_{SüG}$ Bereich (km/h)	Anteil Sportboote, insb. Ruderer, Kanuten	Anzahl Frachtschiffe pro Jahr
A	≥ 5	≤ 2	> 15 ≥ 14 9 - 10	≤ 2	hoch	$> 30,000$
B	3 - 4	3 - 4	7 5	3 - 5	mittel	15,000 - 30,000 5,000 - 15,000
C	≤ 2	≥ 5	3 2	≥ 6	niedrig	$< 5,000$

Tabelle 10: Zuordnung von Leichtigkeitskategorien zu Kriterien aus den Tabellen 7 (gemischte Kriterien), 8 (Geschwindigkeit) und 9 (Verkehrsstärke) für den Bemessungsfall

Vorhandene Qualitätsstufe	Analysefall: Einschätzung der vorhandenen Leichtigkeitsqualität (A, B, C)					
	Verschiedene Kriterien		Kriterien im Zusammenhang mit der Schiffsgeschwindigkeit über Grund $v_{SüG}$			Verkehr
	Anzahl „x“-Marken	Anzahl „y“-Marken	Erreichbare- $v_{SüG}$ (km/h)	Nutzbarer $v_{SüG}$ Bereich (km/h)	Anteil Sportboote, insb. Ruderer, Kanuten	Anzahl Frachtschiffe pro Jahr
A	≤ 2	≥ 5	> 15 ≥ 14 9 - 10	≥ 6	niedrig	niedrig
B	3 - 4	3 - 4	7 5	3 - 5	mittel	mittel
C	≥ 5	≤ 2	3 2	≤ 2	hoch	hoch

Tabelle 11: Zuordnung von Leichtigkeitskategorien zu Kriterien aus den Tabellen 7 (gemischte Kriterien), 8 (Geschwindigkeit) und 9 (Verkehrsstärke) für den Analysefall

Literatur

Deplaix, J.-M., Soehngen, B. (2013). Workshop Design Guidelines for Inland Waterways - Safety and Ease Standards (PIANC-INCOM WG 141), Smart Rivers Conference 2013

Eloot, K., Verwilligen J., Vantorre M. (2013). Paper 27 - Detailed Design for Inland Waterways: The Opportunities of Real-Time Simulation, Smart Rivers Conference 2013

Fischer N., Treiber M., Soehngen B. (2014). Modeling and Simulating Traffic Flow on Inland Waterways, PIANC World Congress, San Francisco 2014

Koedijk, O., Workshop Design Guidelines for Inland Waterways - Best practice approach - using existing examples (PIANC-INCOM WG 141), Smart Rivers Conference 2013

PIANC (2014). Harbour Approach Channels – Design Guidelines, Report of PIANC-MARCOM WG 121, January 2014

Rettmeier K. (2013). Workshop Design Guidelines for Inland Waterways - Review of Existing Guidelines (PIANC-INCOM WG 141), Smart Rivers Conference 2013

Soehngen B., Rettmeier K. (2013a). Design Guidelines for Inland Waterways (PIANC INCOM WG 141), Smart Rivers Conference 2013

Soehngen, B., Rettmeier, K. (2013b). Workshop Design Guidelines for Inland Waterways - Concept Design Method (PIANC-INCOM WG 141), Smart Rivers Conference 2013

Soehngen, B. (2013). Workshop Design Guidelines for Inland Waterways – Introduction and Presentation of the Work of WG 141, Smart Rivers Conference 2013

VBW (2013). Fahrdynamik von Binnenschiffen, Fachausschuss Binnenwasserstraßen und Häfen (VBW/HTG) und Fachausschuss für Binnenschiffe (VBW/STG), Germany, 2013

Verfasser

Dr.-Ing. Bernhard Söhngen,
Bundesanstalt für Wasserbau
Kussmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
Tel.: 0721/9726-4600
E-Mail: bernhard.soehngen@baw.de

Prof. Dr. Katrien Eloot,
Flämische Regierung
Ministerium für Mobilität und öffentliche Arbeiten
Forschung im Bereich Wasserbau
Tel.: +32 (0)3-224-6962
E-Mail: katrien.eloot@mow.vlaanderen.be