

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

## **Heinzelmann, Christoph; Söhngen, Bernhard; Dettmann, Thorsten Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100807>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heinzelmann, Christoph; Söhngen, Bernhard; Dettmann, Thorsten (2011): Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA), 7. und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag. S. F/1-F/13.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Autorenfassung**

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

**Erstveröffentlichung in: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.):  
40. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA),  
7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.**

Für eine korrekte Zitierbarkeit ist die Seitennummerierung  
der Originalveröffentlichung für jede Seite kenntlich gemacht.

S. F/1

# **Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator – Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung**

Christoph Heinzelmann, Bernhard Söhngen und Thorsten Dettmann

The demands for ship dynamic consultancy and support services of the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) for the offices of the Federal Waterways and Shipping Administration (WSV) are steadily increasing, as well qualitatively as quantitatively. Taking this into consideration, the BAW early decided to develop numerical model procedures, which are suitable to describe complex ship dynamic processes. The recently obtained ship-handling simulator will enable BAW to extend specifically its ship dynamic competence.

## **Zusammenfassung**

Die Anforderungen an die fahrdynamischen Beratungs- und Unterstützungsleistungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) für die Dienststellen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) nehmen qualitativ und quantitativ stetig zu. Vor diesem Hintergrund hat sich die BAW frühzeitig entschieden, numerische Modellverfahren zu entwickeln, die geeignet sind, um die komplexen fahrdynamischen Prozesse zu beschreiben. Der kürzlich beschaffte Schiffsführungssimulator wird die BAW in die Lage versetzen, ihre fahrdynamische Kompetenz gezielt auszubauen.

## **1 Einleitung**

Als technisch-wissenschaftlicher Berater und Gutachter der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) führt die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) regelmäßig Befahrbarkeitsanalysen an Binnenwasserstraßen durch. Hierfür werden verschiedene numerische Modellverfahren eingesetzt. Diese Verfahren wurden in erster Linie für die CAD-gestützte Ausbauplanung von Wasserstraßen und zur Analyse einer sicheren und leichten Fahrt mit normaler Schiffsgeschwindigkeit in längeren Streckenabschnitten unter Flachwasserbedingungen entwickelt, um z. B. Engpassanalysen für verschiedene Szenarien hinsichtlich Schiffstypen, Wasserstand und Sohlentopografie mit vertretbarem Aufwand durchführen zu können. Zur Ermittlung des Verkehrsflächenbedarfs für Manöversituationen oder für Fahrten in stark nach Tiefe und Breite eingeschränktem Fahrwasser sind die Verfahren dagegen nur bedingt geeignet.

## **Autorenfassung**

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

Aus diesem Grund hat die BAW das für die Fahrt im Flachwasser bei Strömung geeignete, dynamische Modellverfahren PeTra 2D (Kolarov, 2006) entwickeln lassen und

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S.F/2  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

kürzlich einen Schiffsführungssimulator beschafft, der durch eigene Modellverfahren erweitert werden soll, die insbesondere den i. d. R. stark eingeschränkten Fahrwasserhältnissen in Binnenwasserstraßen Rechnung tragen. In einem späteren Entwicklungsschritt soll die simultane Modellierung des schiffserzeugten Strömungs- und Wellensystems mit der Schiffsführung und deren Wechselbeziehung, die sich u. a. in Bankkräften äußert, möglich gemacht werden. Als Hardware reicht im Regelfall ein Simulator ohne Schiffsbrücke bzw. mit einer Brücke in Minimalconfiguration aus, denn die Fahrzeuge sollen überwiegend mit Autopiloten gesteuert werden. Sofern im Einzelfall die Berücksichtigung des „human factor“ zwingend erforderlich ist, soll auf einen typgleichen Simulator mit Brücke bei externen Betreibern zurückgegriffen werden.

Nachfolgend werden zunächst die bislang in der BAW entwickelten fahrdynamischen Untersuchungsverfahren dargestellt. In einem Ausblick wird erläutert, wie mit Hilfe des kürzlich beschafften Schiffsführungssimulators die fahrdynamische Kompetenz der BAW weiter ausgebaut werden soll.

## **2 Fahrdynamische Untersuchungsverfahren in der BAW**

### **2.1 Bisherige Entwicklungen**

Die Entwicklung von fahrdynamischen Untersuchungsverfahren in der BAW war stets geprägt durch die projektbezogenen Fragestellungen der WSV. Im Jahr 1971 veröffentlichte Graewe (Graewe, 1971) seinen Ansatz zur Berechnung der notwendigen Fahrspurbreite eines Schiffes. Mit diesem Ansatz ist es möglich, die Fahrspurbreite aus dem zu fahrenden Kurvenradius, den Schiffsabmessungen wie Länge und Breite und dem Driftwinkel, den das Schiff in der Kurvenfahrt einnimmt, zu berechnen. In Zusammenarbeit mit der damaligen Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg (dem heutigen Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V.) konnten Projekte wie der Bau des Main-Donau-Kanal oder der Ausbau des Westdeutschen Kanalsystems trassiert werden.

Insbesondere im Zuge der Planungen des Verkehrsprojekts Deutsche Einheit Nr. 17, das den Wasserstraßenausbau von Hannover nach Berlin umfasst, stiegen die fachlichen Anforderungen an die Trassierungsverfahren derart, dass Weiterentwicklungen unumgänglich wurden. Dies betraf spezi-

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

ell die Messungen von Driftwinkeln, die 185 m lange Schubverbände und 110 m lange Großmotorgüterschiffe in Krümmungen mit sehr kleinen Radien einnehmen, denn die bis dahin angestrebten Mindeststradien von 600 m waren beispielsweise in der Flusshavel, die weitgehend durch Naturschutzgebiete verläuft, und im Stadtgebiet von Berlin nicht umsetzbar. Mit Hilfe der inzwischen gut entwickelten Computertechnik wurde 1992 in der BAW das Messsystem „Fahrbyn“ entwickelt, mit dem in kürzester Zeit die Driftwinkel eines Schiffes fortlaufend gemessen werden können. Bei diesem Verfahren werden zwei Punkte an Bord – ursprünglich mit Tachy-

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/3  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

metern und heute mit GPS-Empfängern – eingemessen und daraus die Schiffspeditionen und fahrdynamische Parameter wie Fahrspurbreite, Kurvenradius und Driftwinkel berechnet.

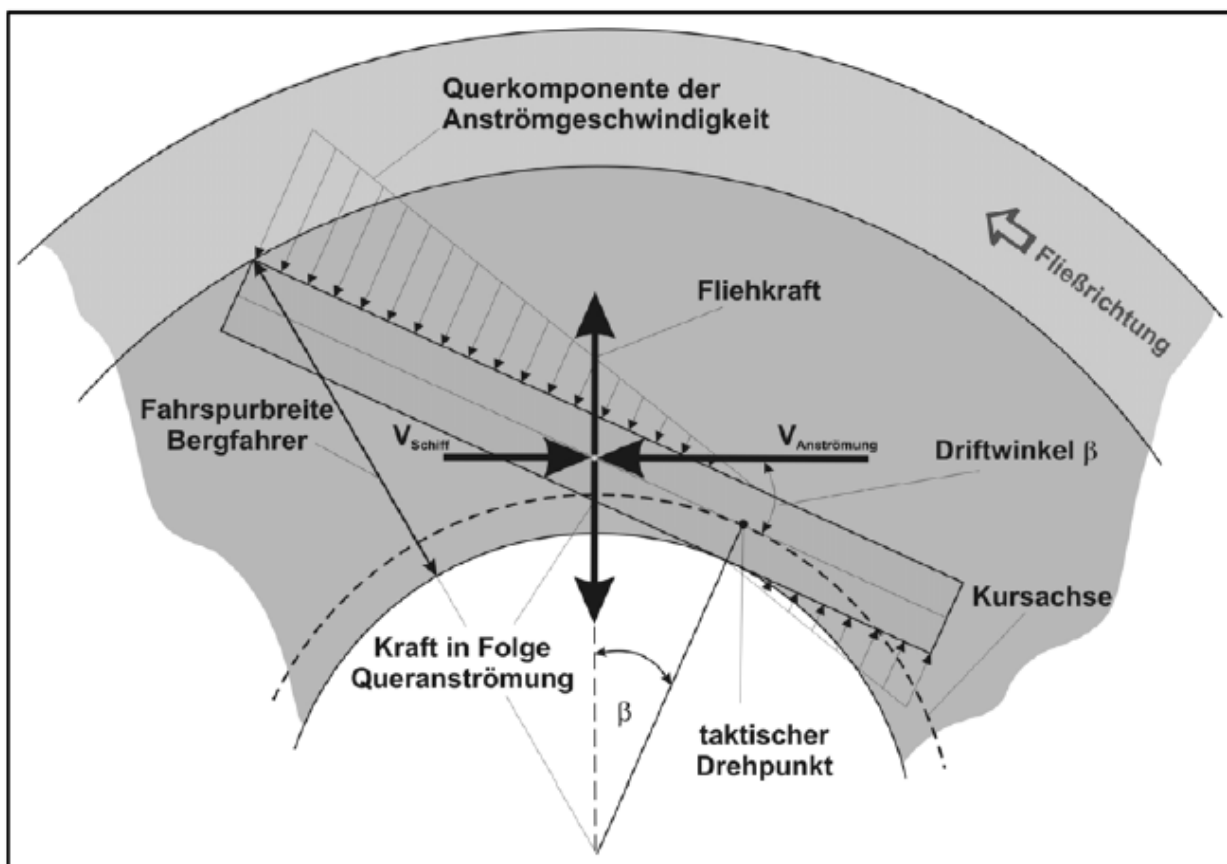


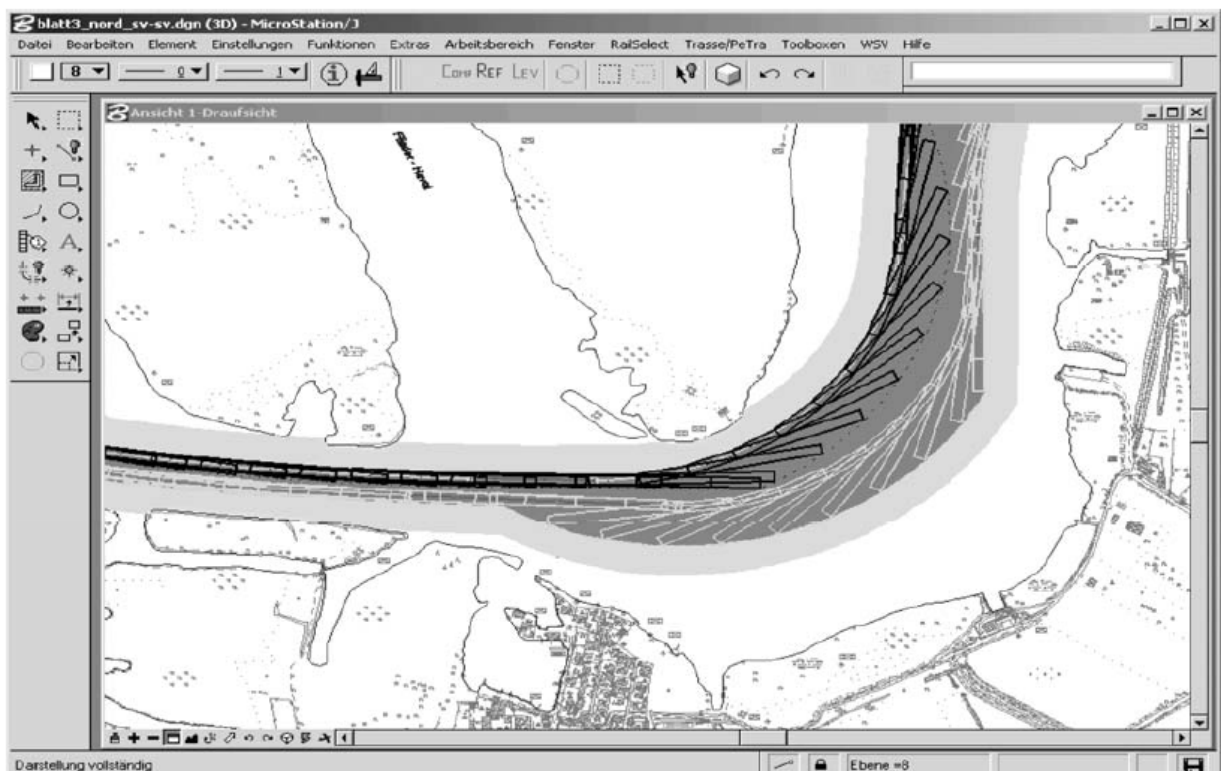
Abb. 1: Driftwinkel und Taktischer Drehpunkt eines Binnenschiffs in der Bergfahrt.

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhnngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

Bei den Planungsarbeiten innerhalb des Stadtgebietes von Berlin kamen z. B. Fragen auf, wie bei Fahrrinnentrassierungen die Übergänge von geraden Streckenabschnitten und Kreisbögen zu gestalten sind, oder wie sich kleine Zentriwinkel von Kurven auf die Fahrspurbreite eines Schiffes auswirken. Um den planenden Dienststellen der WSV ein Werkzeug an die Hand zu geben, mit dem derartige Fragestellungen effizient beantwortet werden können, wurde der Graewe-Ansatz weiterentwickelt. Der Driftwinkel verlor seine zentrale Bedeutung für die Berechnung der Fahrspurbreite und wurde durch den Cf-Wert, der als dimensionsloser Koeffizient multipliziert mit der Schiffslänge die Position des Taktischen Drehpunktes angibt, ersetzt. An der Position dieses Drehpunktes bewegt sich das Schiff, wenn es nicht durch Querbelastungen wie Querströmung oder Seitenwind beeinflusst wird, tangential entlang seiner Kursachse (Dettmann, 1998). Da sich der Driftwinkel eines Schiffes geometrisch in den Cf-Wert überführen lässt, konnten die gesammelten Ergebnisse aus Naturmessungen weiterhin genutzt werden. Im Jahr 1995 entstand das Verfahren „TRASSE“, mit dem entlang einer konstruierten Kursachse unter Zuhilfenahme des Cf-Wertes Schleppkurven generiert werden.

Heinzelmann, Söhnngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/4  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.



## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhnngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

Abb. 2: Generierung von Schleppkurven mit TRASSE in der Havel am „Deetzer Knie“.

Im Jahr 2000 wurde im Zusammenhang mit den Planungsarbeiten für den Ausbau der Mittelweser das Verfahren „Pegelabhängige Trassierung - PeTra 1D“ entwickelt. Analog zu dem Verfahren TRASSE werden hier Schleppkurven berechnet. Allerdings wird der Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses auf die Fahrspurbreite berücksichtigt. Dies wird erreicht, indem für eine stationäre Kreisfahrt die Bewegungsgleichung eines Schiffes quer zur Bewegungsrichtung gelöst wird. Die linearen Kraftanteile auf das Unterwasserschiff werden mit Hilfe der Impulsmethode ermittelt, wobei die zugehörigen hydrodynamischen Massen der Querbewegung potenzialtheoretisch aus der Form des eingetauchten Schiffskörpers unter Berücksichtigung der mittleren Wassertiefe unter dem Schiff errechnet werden. Für die nichtlinearen, aus der Ablösung resultierenden Kraftanteile wird ein empirischer Ansatz verwendet, dessen Parameter aus Naturversuchen bestimmt wird. Im Ergebnis erhält man den Driftwinkel und damit den Cf-Wert in Abhängigkeit der Kurvenradien, der Schiffsgeschwindigkeit und der Fließgeschwindigkeit des Gewässers und kann so mit Hilfe der resultierenden Schleppkurven den Verkehrsflächenbedarf eines Bemessungsschiffes in der stationären Kurvenfahrt bestimmen.

Im Rahmen von Ausbauplanungen werden Kursachsen vorgegeben. Um Befahrbarkeitsanalysen in einem Gewässer wie z. B. dem Rhein durchführen zu können, benötigt man Kursachsen, die der realen Fahrt eines Schiffes auf einem Gewässer möglichst nahe kommen. Zu diesem Zweck wurde das Verfahren PeTra 1D um eine virtuelle Navigation erweitert. Hierbei wird querprofilorientiert das Befahrbarkeitspotenzial des Gewässers ermittelt, indem relevante Befahrungsregeln aufgestellt werden. Abgesehen

Heinzelmann, Söhnngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/5  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

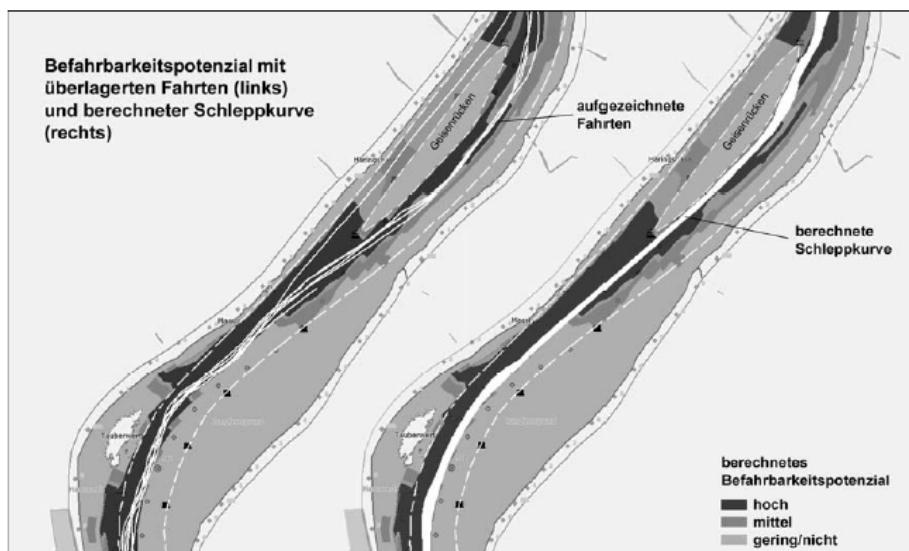
davon, dass das Fahrwasser tief genug sein muss, damit das Schiff mit seinem Tiefgang unter Berücksichtigung des Squats und des angestrebten Flottwassers fahren kann, wird ein Schiffsführer unter Engpassbedingungen das tiefere Wasser bevorzugen, da er dort mit einem höheren Tiefgang fahren kann. Daraus folgt, dass mit größeren Wassertiefen das Befahrbarkeitspotenzial ebenfalls größer wird. Auch die Verteilung der Fließgeschwindigkeit über das Querprofil spielt eine Rolle. So wird ein Bergfahrer stets versuchen, in den Bereichen des Profils zu fahren, in denen die Fließgeschwindigkeit am geringsten ist, ein entgegen kommender Talfahrer hingegen in den Bereichen fahren, in denen die Fließgeschwindigkeit am größten ist. Letztendlich müssen die Schifffahrtspolizeilichen Verordnungen wie z. B. Rechtsfahrgebote, Vorgaben für Brückendurchfahrten, etc. eingehalten werden. Aus diesen Vorgaben werden Befahrungsregeln aufgestellt, die untereinander gewichtet werden können. So wird ein tief abgeladener Gefahrguttanker der Wassertiefe eine höhe-

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

re Bedeutung beimessen, als ein Containerschiff, das in den meisten Fällen mit geringem Tiefgang fährt. Mit Hilfe der Befahrungsregeln unter Berücksichtigung ihrer Gewichtungen wird für jedes Querprofil ein Gesamtbefahrbarkeitspotenzial berechnet und daraus ein oder u. U. mehrere Durchfahrungsstore in den Bereichen des höchsten Potenzials für dieses Profil bestimmt. Anschließend wird durch die Folge der Tore vollautomatisch eine Kursachse konstruiert, die wahlweise aus einem

B-Spline oder aus einer Folge von Geraden und Kreisbögen, die tangential ineinander übergehen müssen, bestehen (Heinzelmann, Dettmann, Zentgraf, 2009a, b). Die Verifizierung des Befahrbarkeitspotenzials und der daraus konstruierten Kursachsen erfolgte mit Hilfe von realen Schiffskursen, die im Rahmen des ARGO-Probebetriebs am Rhein aufgezeichnet wurden, wobei eine gute Übereinstimmung zwischen Modellrechnung und den aufgezeichneten Fahrspuren festgestellt werden konnte.



Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/6  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

Abb. 3: Vergleich des Befahrbarkeitspotenzials mit Aufzeichnungen aus dem ARGO-Probebetrieb.

## 2.2 Weitere Entwicklungen

### 2.2.1 Zweidimensionale fahrdynamische Modellverfahren

Die beschriebenen eindimensionalen Modelle sind geeignet, um großräumige fahrdynamische Untersuchungen durchführen zu können. Befinden sich in den zu untersuchenden Wasserstraßenabschnitten Querströmungsfelder, so gehen deren Wirkungen nicht in die Ergebnisse ein. Ebenso berücksichtigt die Art der Schleppkurvengenerierung nicht die navigatorischen Möglichkeiten eines Schiffes. Untersuchungen am Rhein bzw. am Neckar, bei denen die Schifffahrt Querströmungen ausgesetzt ist, führten dazu, weitere Entwicklungen an den fahrdynamischen Modellen einzuleiten. So wurde in enger Zusammenarbeit mit der Universität Rostock das Verfahren PeTra 1D als echtes 2D-Verfahren weiterentwickelt (PeTra 2D), indem alle drei Bewegungsgleichungen für die Fahrt eines Schiffes in der Ebene, also die Bewegungsgleichung in Längs- und Querrichtung sowie die Drehung um die Hochachse, gelöst werden. Die Ermittlung der hydrodynamischen Massen und der hydraulischen Querkräfte infolge Schräganströmung auf den Schiffskörper erfolgt analog zu PeTra 1D. Für die Beiwerte der nichtlinearen Querkraftanteile wurde zusätzlich der Zusammenhang mit dem Verhältnis von Schiffstiefgang zu Wassertiefe ermittelt. Zusätzlich wird die Wirkung eines zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungsfeldes auf den Schiffskörper berücksichtigt. Die spantweise Berechnung der hydrodynamischen Massen, die in PeTra 2D auch eine entlang der Schiffsachse veränderliche Wassertiefe berücksichtigt, erfolgt während der Laufzeit des Programms. So wird gewährleistet, dass die hydraulische Wirkung bei der Überfahung einer örtlichen Untiefe erkannt wird. Die entsprechenden Terme zur Berücksichtigung der zeitlichen Veränderung der hydrodynamischen Massen sind in den Bewegungsgleichungen enthalten (Kolarov, 2006; Kolarov, Dettmann, 2007). Darüber hinaus wird in dem Modellverfahren erstmals die Wirkung der Propulsions- und Ruderorgane des Schiffes berücksichtigt, wenn auch derzeit noch mit vereinfachten Algorithmen.

Derzeit wird in PeTra 2D das Schiff wahlweise per Hand mit der PC-Tastatur oder mit einem Autopiloten, der das Schiff mit Regleralgorithmen auf einem vorgegebenen Kurs hält, gesteuert. Die Autopilotierung funktioniert dabei umso besser, je geringer Störeinflüsse wie z. B. Querströmungen sind. Im Gegensatz zur Handsteuerung führt die Autopilotierung bei gleichen Randbedingungen stets zu denselben Ergebnissen und ist deshalb besonders gut für vergleichende Analysen geeignet. Bei kritischen Manöversituationen sind die Ergebnisse dagegen noch nicht befriedigend. Wenn z. B. ein Schiff in einen engen Schleusenvorhafen manövriert werden soll, reicht die Vorgabe, einer bestimmten Kursachse zu folgen, nicht aus. Vielmehr sind bei der Autopilotierung die seitlichen Fahrwasserbeschränkungen und die Querströmungsfelder mit zu berücksich-



## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

tigen. Deshalb ist die Anwendung von PeTra 2D mit Reglersteuerung für seitlich stark eingeschränktes Fahrwasser und bei Fahrt in starken Querströmungsfeldern derzeit noch nicht geeignet, wohl aber z. B. für den Rhein, wo sie beispielsweise für die Fahrrinnenoptimierung verwendet wird (Wassermann et al., 2010). Die bisher in PeTra 2D noch nicht berücksichtigten Einflüsse aus Ansaug- und Abstoßeffekten zum Ufer (Bankkräfte) oder aus der Schiff-Schiff-Interaktion bei Begegnungen und Überholungen können dabei durch geeignete Sicherheitsabstände ausreichend genau erfasst werden (Söhngen et al., 2007).

Wenn das Fahrwasser allerdings seitlich und in der Tiefe stark eingeschränkt ist, erzeugt das Schiff durch seine Bewegung selbst so große Strömungen und Wasserstandsänderungen, dass sich sein Fahrverhalten signifikant ändert. Besonders anschaulich wird dies bei der Schleuseneinfahrt, wenn die vom Schiff erzeugte Welle in die Schleuse hineinläuft, dort an der hinteren Kammerwand reflektiert wird und das Schiff in seiner Vorwärtsbewegung solange abbremst, bis die Welle am Einfahrtstor wieder reflektiert wird und das Schiff erneut beschleunigt (Söhngen, 2006). Das schiffserzeugte Strömungs- und Wellenfeld interferiert dann mit dem Fahrwasser und dessen Strömungsfeld.

Um diese Einflüsse zu erfassen, entwickelte Schröter (Schröter, 1995) im Auftrag der BAW ein Verfahren zur Berechnung schiffsinduzierter Wellen und deren Ausbreitung auf der Grundlage der Boussinesq-Gleichungen. Derzeit sind im zugehörigen Verfahren „BoWave 2D“ die Berechnung schiffsinduzierter Wellen, das Aufsteilen bis zum Brechen der Wellen infolge Strömungsfeld, Viskosität, Boden- und Wandreibung sowie die Veränderung des Strömungsfelds infolge der Schiffsbewegung modelliert. Aktuell wird das Modellverfahren bei Queranströmung, z. B. bei Fahrt mit Drift, getestet. Es wird eine Schwimmbedingung implementiert, um aus dem Absunkfeld auf den Squat schließen zu können, und es wird an der Modellierung eines Impulseintrags, der die Wirkung des Propellers simulieren soll, gearbeitet. Gleichzeitig wird die Parallelisierung des Verfahrens vorangetrieben, um die Rechengeschwindigkeit zu erhöhen. Nach erfolgreicher Parallelisierung wird erwartet, dass die Fahrt eines 110 m langen Großmotorgüterschiffs in einem Kanal mit einem Core 2 Quad Prozessor in Echtzeit erfolgen kann.

Die Qualität des Rechenmodells in seiner jetzigen Fassung wurde anhand von Naturmessungen, die am Wesel-Dattel-Kanal mit einem 105 m langen Großmotorschiff durchgeführt wurden, überprüft. Erwartet wird von dem Modell, dass neben den schiffsinduzierten Wellen auch die Veränderung des Strömungsfelds infolge Schiffsbewegung möglichst korrekt berechnet wird. Im Rahmen der Messkampagne am Wesel-Dattel-Kanal wurden im Bereich der Böschung in unterschiedlichen Uferabständen Ultraschallsonden zur Erfassung der Wellenhöhen und Strömungssonden zur Erfassung der Fließgeschwindigkeiten infolge der Vorbeifahrt eines Schiffes gemessen. Dabei wurden die Fahrgeschwindigkeit und der Abstand des Schiffes zum Ufer variiert. Während der

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/8  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

Vorbeifahrt des Schiffes wurde die Position des Schiffes (Lage, Squat und Trimm) aufgenommen.

Für die Kontrollrechnungen mit BoWave 2D wurde im derzeitigen Entwicklungsstadium das Schiff entsprechend der gemessenen Positionen durch das Modell „geschleppt“ und die ermittelten Wasserspiegelauslenkungen und die Strömungsgeschwindigkeiten an den Orten, an denen die Sonden angebracht waren, berechnet (siehe Abb. 4 und 5). In den Diagrammen ist der zeitliche Verlauf der Wasserspiegelauslenkung bzw. die Geschwindigkeitsänderung längs und quer zur Kanalachse aufgetragen. Bei dem Vergleich muss man beachten, dass das Boussinesq-Verfahren ein zweidimensionales Verfahren ist

und nur tiefengemittelte Geschwindigkeiten liefern kann. Abweichungen gegenüber den punktuellen Messungen im Kanalprofil ergeben sich daraus zwangsläufig. Bei dem Vergleich der Wasserspiegelauslenkungen fällt auf, dass der Bugstau (ca. 11:10:30 UTM bis 11:11:05 UTM) leicht unterbewertet ist. An der Verbesserung der Druckgleichung wird derzeit noch gearbeitet. Im Bereich des Hecks (11:11:30 UTM bis 11:11:45 UTM) liegen die Messwerte deutlich unter den gerechneten Werten. Dies liegt u. a. an der in den Testrechnungen noch nicht realisierten Schwimmbedingung und an der noch fehlenden Modellierung der Wirkung des Schiffpropellers.

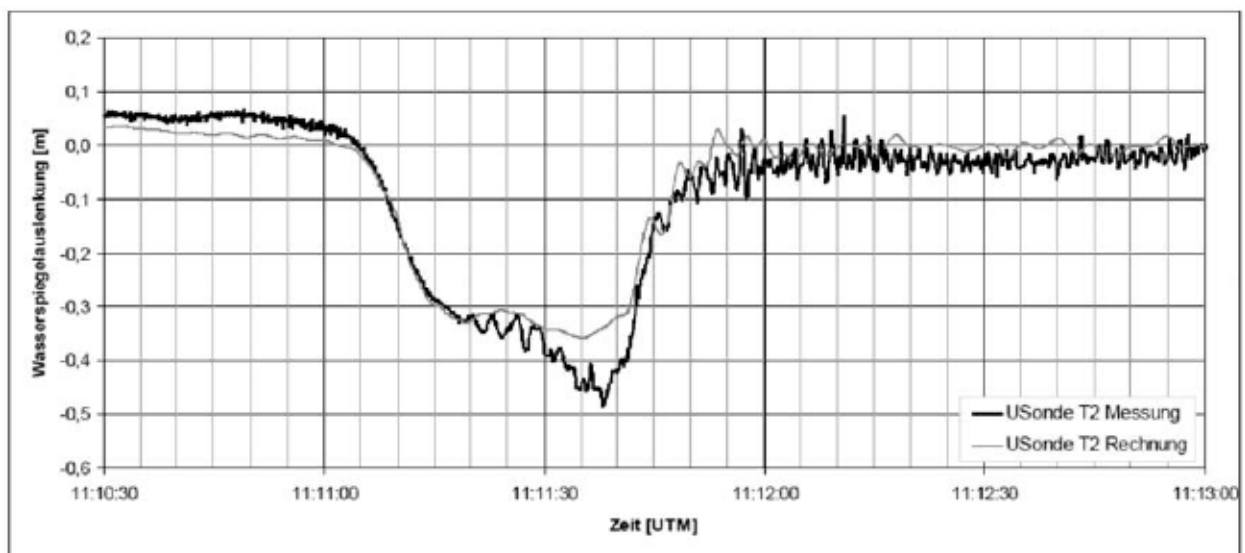


Abb. 4: Vergleich berechneter und gemessener Wasserspiegelauslenkung in Nähe des Böschungsfußes.

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/9  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

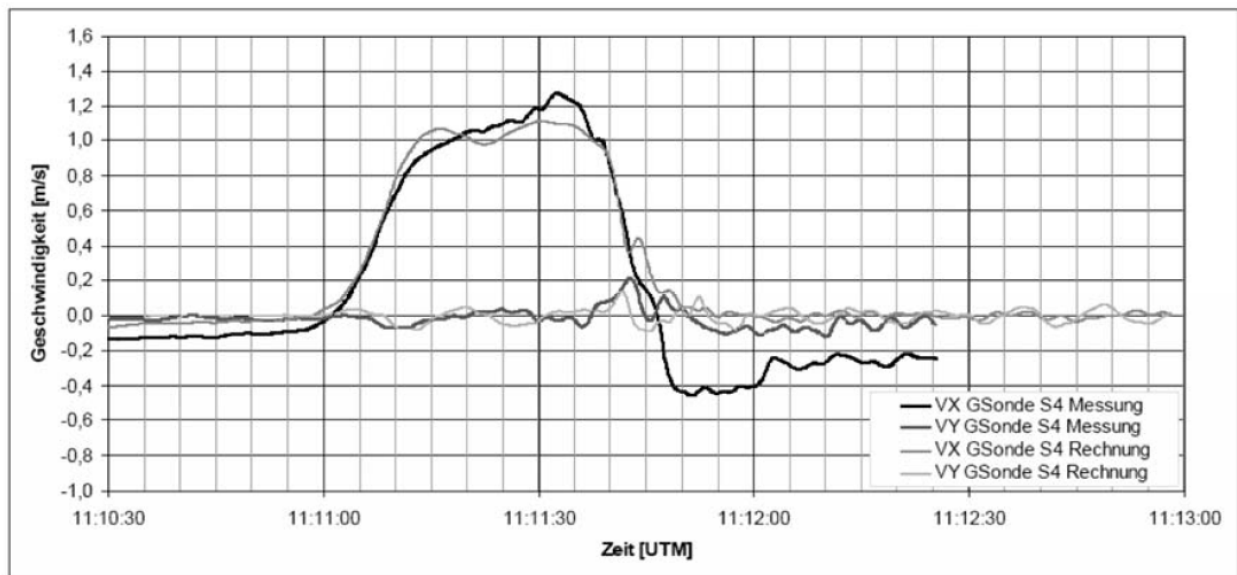


Abb. 5: Vergleich berechneter und gemessener Strömungsgeschwindigkeiten in Nähe des Böschungsfußes.

Auch bei den Strömungsgeschwindigkeiten sind in diesen beiden Bereichen Ungenauigkeiten der Modellrechnungen festzustellen. Mit der Unterbewertung der Wasserspiegelauslenkung beim Bugstau wird auch die Strömung in Bewegungsrichtung des Schiffes unterbewertet. Im Heckbereich fehlt ebenfalls der Anteil der Rückströmung infolge des Propellerstrahls. Mit Implementierung des Impulseintrags durch den Propeller werden hier spürbare Verbesserungen erwartet. Generell kann aber bereits zum jetzigen Zeitpunkt festgestellt werden, dass die Veränderung des Strömungsfeldes infolge des sich bewegenden Schiffes in BoWave 2D gut wiedergegeben wird.

Es ist vorgesehen, PeTra 2D und BoWave 2D miteinander zu koppeln. Dabei wird die Schiffsbewegung auf Grund der äußeren Kräfte, die durch ein Strömungsfeld auf den Schiffskörper wirken, und die Ruder- und Antriebskräfte in PeTra 2D in einem vorgegebenen Zeitschritt berechnet und anschließend an BoWave 2D übergeben. In BoWave 2D werden Strömungsfeld und Wasserspiegelauslenkung infolge dieser Bewegung und unter Beachtung der 3D-Geometrie der Gewässerberandung nachgeführt und das veränderte Strömungs- und Druckfeld um das Schiff sowie die Wasserspiegelauslenkung wiederum an PeTra 2D zurückgegeben, das u. a. die neue Trimmelage aus der

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

Schwimmbedingung errechnet. Dadurch wird die Schwimmlage des Schiffes an den neuen Wasserspiegelverlauf angepasst.

Aus dieser gekoppelten Betriebsweise werden folgende Verbesserungen der Modellergebnisse erwartet: Zum einen erhält man durch die Wellengenerierung und Berechnung der Wellenausbreitung Informationen über die hydraulischen Belastungen am Ufer durch Wellen und Strömung. Für die Fahrdynamik wird andererseits eine verbesserte Modellierung der Wechselwirkung Schiff / Wasserstraße und Schiff / Schiff möglich. Darüber hinaus erhofft sich die BAW durch die Berücksichtigung der Wasserspiegeldeformation verbesserte Informationen über den Squat und die dynamische Trimmelage

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/10  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

und letztendlich über die Druckbilanz während der Laufzeit eine verbesserte Modellierung der Bankeffekte.

Die Modellverfahren PeTra 2D und BOWAVE werden die bestehenden eindimensionalen Modellverfahren, insbesondere TRASSE und PeTra 1D, vor allem aus Rechenzeitgründen nicht vollständig ersetzen können. Wenn der Binnenschiffahrt künftig z. B. zeitnah optimierte Kursachsen und zugehörige Empfehlungen zur Wahl der örtlichen Schiffsgeschwindigkeiten zur Verfügung gestellt werden sollen, die sich aus einer aktuell veränderten Sohlentopografie ergeben, kann dies für die vielen zu berücksichtigenden Randbedingungen (Schiffstyp, Abladung, Wasserstand) und eingedenk der i. d. R. zu betrachtenden langen Strecken, z. B. für die gesamte frei fließende Rheinstrecke von Iffezheim bis Rotterdam, in absehbarer Zeit nur mit vereinfachten Verfahren geschehen. Die neuen zweidimensionalen Modellverfahren werden diese aber sukzessive ergänzen, um beispielsweise die mit dem virtuellen Schiffsführer erzeugten Kursachsen in Bereichen mit Querströmungseinfluss zu überprüfen, sie anschließend weitergehend fahrdynamisch zu optimieren und um weiterführende Untersuchungen zu ermöglichen. Hierzu gehören die Wellenausbreitung in allgemein begrenzten Wasserkörpern oder der Einfluss des „human factor“ auf die notwendige Verkehrsfläche. Solche Untersuchungen sind im Rahmen des vom BMVBS geförderten Verbundprojekts zur Klimafolgenforschung KLIWAS (Wassermann et al., 2010) vorgesehen. Dabei sollen einem kommerziellen Autopiloten menschliche Eigenschaften zugeordnet werden, z. B., indem er verzögert reagiert und sogar Fahrfehler macht, um notwendige Sicherheitsabstände besser festlegen zu können.

Die eindimensionalen Modellverfahren können dabei nicht nur zur Voroptimierung von Kursachsen, sondern allgemein zur Ermittlung von Steuerparametern im Rahmen der Autopilotierung genutzt werden. Um sie im Hinblick auf Kompatibilität mit den mehrdimensionalen Verfahren weiter

## **Autorenfassung**

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

zu ertüchtigen, ist auch eine Weiterentwicklung der Verfahren vorgesehen. So soll PeTra 1D um den Einfluss von Bugruderanlagen erweitert werden und auf die gleichen Ansätze hinsichtlich der Kräfte auf das Unterwasserschiff gestützt werden wie in PeTra 2D (Programm CFOPT). Dadurch können die Kalibrierungsparameter beider Modellfamilien ausgetauscht werden.

### **2.2.2 Schiffsführungssimulation in der BAW**

Wie bereits ausgeführt, gerät das Konzept der fahrdynamischen Modellierung mit PeTra 2D, BO-WAVE und kommerziellen Autopiloten an seine Grenzen, wenn das Schiff starke Querströmungsfelder passieren muss und wenn kritische Manöversituationen zu untersuchen sind. Dies bedeutet, dass entweder ein realer Schiffsführer oder aber ein guter Regler, der die Fähigkeiten eines realen Schiffsführers hat, erforderlich wird, um das Schiff zu steuern. Erste Untersuchungen der BAW haben ergeben, dass bestehende Regler insbesondere dann zu unbefriedigenden Ergebnissen führen, wenn der Schiffsführer vorausschauend handeln muss, um z. B. die Abdrift aus einem Querströ-

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/11  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

mungsfeld zu minimieren. Spielen zudem Sichtbedingungen bei der Beurteilung einer nautischen Situation eine besondere Rolle, muss ein Mensch das fahrdynamische Modell bedienen. Hierzu wird u. a. ein Sichtmodell benötigt. Darüber hinaus müssen originale Bedienelemente vorhanden sein, damit der Schiffsführer seine normale Arbeitsumgebung wiederfindet.

Aus diesen Gründen hat sich die BAW entschieden, einen kommerziellen Schiffsführungssimulator vom Typ ANS 5000 der Firma Rheinmetall Defence Electronics zu beschaffen. Für den Betrieb des Simulators werden Schnittstellen geschaffen, damit die in der BAW vorhandenen numerischen Abflussmodelle in den Simulator eingespeist werden können. Zusätzlich werden die beschriebenen Modellverfahren PeTra 2D und BoWave 2D als alternative Verfahren zu den im ANS 5000 enthaltenen Modellen implementiert.

## Autorenfassung

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---



Abb. 6: BAW-Schiffsführungssimulator ANS 5000 am Standort Karlsruhe.

Simulationen in der BAW sollen überwiegend im Sinne von fast time-Simulationen mit einem noch weiter zu entwickelnden Regelkreislauf durchgeführt werden. Werden Simulationen notwendig, bei denen die Verkehrssituation, zusammen mit den Sichtbedingungen und dem „human factor“, entscheidend sind, z. B. bei starkem Verkehrsaufkommen im stark eingeschränkten Fahrwasser, werden derartige Simulationen in der BAW nur vorbereitet. Die eigentlichen Simulationen sollen dann von Betreibern auf baugleichen Simulatoren durchgeführt werden, die über die notwendige Schiffsbrücke verfü-

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/12  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

gen. PeTra 2D und BoWave 2D werden für diese Zwecke so modular aufgebaut sein, dass sie auf Simulatoren anderer Betreiber eingespielt werden können.

### 3 Literatur

Dettmann, T. (1998): Ein Beitrag zur Berechnung von Fahrrinnenverbreiterungen in Kanal- und Flusskrümmungen bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten. Binnenschiffahrt Nr. 23

## **Autorenfassung**

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

Graewe, H. (1971): Beitrag zur Frage der Bemessung von Fahrwasserverbreiterungen in Kanal- und Flusskrümmungen. Die Bautechnik, Heft 1

Heinzelmann, C., Dettmann, T., Zentgraf, R. (2009a): Hydraulisch-fahrdynamische Modelle zur Optimierung der Befahrbarkeit von Binnenwasserstraßen. Wasserwirtschaft, Heft 4

Heinzelmann, C., Dettmann, T., Zentgraf, R. (2009b): Optimierung der Befahrbarkeit der Binnenwasserstraßen am Beispiel des Rheins. HTG-Kongress 2009

Kolarov, P. (2006). Simulation von Schiffsbewegungen im Fließgewässer. Dissertation, Universität Rostock

Kolarov, P., Dettmann, T. (2007): Entwicklung eines Verfahrens zur Beschreibung der Fahrdynamik von Binnenschiffen in zweidimensionalen, tiefengemittelten Strömungsfeldern. Binnenschiffahrt, Heft 5

Schröter, A. (1995): Nichtlineare zeitdiskrete Seegangssimulation im flachen und tieferen Wasser. Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen der Universität Hannover, Bericht 42/1995

Söhngen, B. (2006): Field investigations and numerical calculations concerning modern vessels entering Lüneburg ship lift. 31. PIANC-Kongress, Estoril, Portugal

Söhngen, B., Dettmann, T., Neuner, H. (2007): Modelluntersuchungen zur Ermittlung der erforderlichen horizontalen Sicherheitsabstände von Binnenschiffen zu Uferböschungen. BAW-Mitteilungsblatt Nr. 90

Wassermann S., Söhngen, B., Dettmann T., Heinzelmann C. (2010). Investigations to define minimum fairway widths for inland navigation channels. 32. PIANCKongress, Liverpool, UK

## **Anschrift der Verfasser**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Söhngen

Dipl.-Ing. Thorsten Dettmann

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt  
zum Schiffsführungssimulator- Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. S. F/13  
In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): 40. Internationales Wasserbau-Symposium  
Aachen (IWASA), 7. Und 8. Januar 2010. Aachen: Shaker-Verlag 2011, S. F/1-F/13.

**Autorenfassung**

Heinzelmann, Söhngen, Dettmann: Vom Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung, 2011

---

Bundesanstalt für Wasserbau

Postfach 21 02 53

76152 Karlsruhe