

# 41. Duisburger Kolloquium Schiffstechnik / Meerestechnik

5. und 6. März 2024

## Digitalisierung der Binnenschiffsflotte und der Wasserstraße



Eine gemeinsame Veranstaltung der Universität Duisburg-Essen,  
der Bundesanstalt für Wasserbau und des Entwicklungszentrums für  
Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.



## Potenziale zur Umsetzung des Pariser Klimaabkommens für das System Schiff/Wasserstraße

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Christoph Heinzelmann, Bundesanstalt für Wasserbau, 76187 Karlsruhe, Germany,  
[christoph.heinzelmann@baw.de](mailto:christoph.heinzelmann@baw.de)

### Zusammenfassung

Um den Temperaturanstieg und die negativen Folgen des anthropogen bedingten Klimawandels zu begrenzen, müssen die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor drastisch sinken. Hierzu kann die Güterverlagerung von LKW auf die schon heute klima- und umweltfreundlichen Binnenschiffe einen wirkungsvollen Beitrag leisten. Trotz dieser schon bestehenden Vorteile gilt es, Verbesserungspotenziale der Binnenschifftransporte zu ermitteln, zeitnah zu nutzen und die Wasserstraße an die zukünftigen klimawandelbedingten Veränderungen anzupassen.

Als wissenschaftlicher Dienstleister auf dem Gebiet des Verkehrswasserbaus sowie als Ressortforschungseinrichtung des Bundes kann die Bundesanstalt für Wasserbau durch Politik- und Projektberatung die Umsetzung dieser Ziele für das System Schiff/Wasserstraße wirkungsvoll unterstützen. Im Vortrag werden Beispiele zur Reduzierung von Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen der Binnenschiffahrt sowie zur Anpassung der Wasserstraßen an die Folgen des Klimawandels dargestellt.



On-Board-Emissionsmessungen der Bundesanstalt für Wasserbau (Quelle: BAW)

## Maritime Innovation: Elektrische Antriebe und Autonomes Fahren in der Schifffahrt

Axel Buechling, Torqeedo GmbH, 82234 Weßling, Germany, [axel.buechling@torqeedo.com](mailto:axel.buechling@torqeedo.com)

### Zusammenfassung

Der Vortrag wird mit einer kurzen Einführung des Unternehmens und seiner Hauptgeschäftsfelder beginnen. Anschließend wird das Torqeedo Deep Blue System vorgestellt. Dieses innovative System bietet eine neue Generation von Antriebslösungen für die Schifffahrtsindustrie und hat das Potenzial, die Branche zu revolutionieren.

In diesem Zusammenhang wird das Konzept eines softwaredefinierten Systems erläutert, welches darauf abzielt, neue Funktionen für Vernetzung, Automatisierung und Personalisierung zukünftig zunehmend durch Software zu realisieren, im Gegensatz zu herkömmlichen hardwarebasierten Systemen.



Ein weiterer Schwerpunkt des Vortrags wird auf dem Thema Systemsicherheit liegen, wobei verschiedene Aspekte wie Datenintegrität, Vertraulichkeit und Verfügbarkeit diskutiert werden.

Darüber hinaus werden einige Beispiele autonomer Fahrzeuge vorgestellt, wobei in diesem kurzen Vortrag nur auf die verschiedenen Ansätze der Kurssteuerung eingegangen wird.

Abschließend wird es eine Frage-und-Antwort-Runde geben, in der das Publikum die Gelegenheit haben wird, weitere Einblicke zu den präsentierten Themen zu erhalten und offene Fragen zu klären.



## EcoMATE compact Vessel operation monitoring for inland vessels

Ralf Dopieralla, KROHNE Norway AS, Brevik, [r.dopieralla@krohne.com](mailto:r.dopieralla@krohne.com)

Dr. Dagmar Dirzus, KROHNE Messtechnik GmbH, 47058 Duisburg, Germany, [d.dirzus@krohne.com](mailto:d.dirzus@krohne.com)

### Zusammenfassung

EcoMATE compact™, the vessel performance system and fleet operation optimization software from KROHNE, is a complete solution for real-time monitoring of fuel consumption. Regardless of inland vessel type, EcoMATE compact™ provides the full solution needed to proactively improve EEXI, fleet performance, and compliance reporting, while lowering company OPEX. The system provides operational users with complete control and insight over important data.

As a unified fleet solution for shipowners, managers, and crew, the EcoMATE compact™, can be accessed both on-site and in real-time via the cloud, which serves as a shared digital platform for reporting and monitoring vessel performance.

Precise fuel consumption measurement and monitoring are critical in the SEEMP, serving as a critical link between emissions, costs, and efficiency. The Fuel Consumption Module collects and stores fuel data from mass flowmeters and displays instant fuel consumption. When used in combination with OPTIMASS mass flowmeters, the system provides an overview of all corresponding flow readings on the supply and return lines to the main engine, and each of the other consumers onboard. Our system is designed to fulfill the proposed requirements from IMO and other authorities and generates emission reports for different fuel types.



## Lessons Learned: Regelungsstrategien für die Rheinfähre Horst

M.Sc. Rinat Prezdnyakov, RWTH Aachen, Institut für Regelungstechnik, 52074 Aachen, Germany,  
[r.prezdnyakov@irt.rwth-aachen.de](mailto:r.prezdnyakov@irt.rwth-aachen.de)

Prof. Dr.-Ing. Heike Vallery, RWTH Aachen, Institut für Regelungstechnik, 52074 Aachen, Germany,  
[h.vallery@irt.rwth-aachen.de](mailto:h.vallery@irt.rwth-aachen.de)

### Zusammenfassung

Die Binnenschifffahrt steht vor einer Reihe von Herausforderungen, darunter Personalengpässen, erhöhten Sicherheitsstandards bei zunehmendem Verkehrsaufkommen, sowie Effizienzdruck. Die Automatisierung der Schiffsysteme stellt dabei eine aussichtsreiche Teillösung dar, die die bestehenden Probleme anzugehen versucht. Im Rahmen des BMWK-Verbundprojekts AKOON wurde daher ein Automatisierungssystem für eine Flussfähre entwickelt und auf der Rheinfähre „Horst“ im Praxiseinsatz erprobt. Diese Automatisierung umfasst Umgebungs- und Verkehrserfassung sowie eine vollständig autonome Überfahrt, einschließlich des Anlegens und Ablegens.



Die Fähre „Horst“ wird von 4 Voith-Schneider-Propellern angetrieben, wodurch eine hohe Manövrierbarkeit erreicht und komplexe Bewegungsmuster nachgefahren werden können. Neben dem erweiterten Bewegungsspielraum bringt die Flexibilität, die in Folge der vorliegenden Überaktuierung entsteht, auch eine erhöhte regelungstechnische Komplexität mit. Die schwer modellierbaren hydrodynamischen Effekte, Rumpfverluste und stark variierende Schubbeschränkungen der einzelnen Propeller erfordern zusätzliche Maßnahmen bei der Modellierung und Integration der entworfenen Modelle in den Regelungsprozess.

Der vorliegende Vortrag stellt zunächst das Forschungsprojekt, das Versuchsschiff sowie das Gesamtkonzept der Schiffsautomatisierung vor. Anschließend wird für ein solches System eine Regelungsarchitektur präsentiert, die die fähren- und insbesondere antriebspezifischen Besonderheiten adressiert. Als Ausgangslösung wird eine Regelstrategie bestehend aus einer Kombination aus LQR-Regler und einer dynamischen Schuballokation aus [2] präsentiert. Danach werden offene Probleme diskutiert und eine finale Lösung vorgestellt. Dabei wird anstatt des LQR-Reglers ein modellprädiktiver Regelungsansatz aus [1] eingesetzt und um einen Störgrößenbeobachter erweitert. Während der modellprädiktive Regler die nichtlineare Schiffsdynamik sukzessive linearisiert, Schubbegrenzungen explizit berücksichtigt und vorausschauend auf bevorstehende Manöver reagiert, kompensiert der Störgrößenbeobachter die verbleibenden Modellunsicherheiten. Die Schuballokation verteilt die gewünschten Kräfte und Drehmomente auf die einzelnen Propeller, woraus dann die erforderlichen Stellgrößen – Drehzahlen und Steigungen resultieren. Die Messergebnisse aus realen Messreihen zeigen auf, dass das ausgelegte Regelungssystem in der Lage ist, während einer dynamischen Fahrt die Positionsabweichung unter 5 m zu halten. Im stationären Betrieb sind bei ruhigen Bedingungen Positionsabweichungen von weniger als 10 cm realisierbar.

### Literatur

- [1] M. Kosch, A. Elkhashap, P. Koschorrek, R. Zweigel und D. Abel. „Hardware-in-the-Loop Trajectory Tracking and Collision Avoidance of Automated Inland Vessels Using Model Predictive Control“. In: Proceedings of the European Control Conference (ECC). 2021.
- [2] P. Koschorrek und M. Kosch. „An Approach to QP-based Thrust Allocation considering Inflow“. In: Proceedings of the 13th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Robotics, and Vehicles (CAMS). 2021

## Vorbereitung der Binnenhäfen auf die automatisierte Binnenschifffahrt

M.Sc. Cyril Alias, Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme, 47057 Duisburg, Germany, [alias@dst-org.de](mailto:alias@dst-org.de)

### Zusammenfassung

Die Automatisierung der Binnenschifffahrt, mit der die Hoffnung auf Effizienzgewinne und die effektive Behebung des Mangels an Nachwuchskräften verbunden wird, schreitet seit einigen Jahren stetig voran. Die bisherigen Forschungsarbeiten sind dabei insbesondere schiffszentriert und fokussieren besonders die Automatisierung bestimmter schiffsbetrieblicher Funktionen, speziell der Navigation [1-3]. Die angrenzenden Systeme, etwa die Wasserstraße oder die Häfen, werden dabei lediglich hinsichtlich ihres jeweils aktuellen Zustands und gegebenenfalls ihres punktuellen Anpassungsbedarfs, etwa Lücken in der Vorschriftenlage einzelner Sachverhalte oder notwendiger Installation navigatorischer Hilfsmittel an Land, berücksichtigt [4].

Das System Wasserstraße besteht jedoch aus vielen interdependenten Teilsystemen, sodass die einseitige Betrachtung der Automatisierung auf der Wasserseite nicht ausreichend ist. Vielmehr ist es für eine ganzheitliche Automatisierung des Systems Wasserstraße notwendig, Vorbereitungs- und Anpassungsmaßnahmen auf der Landseite zu berücksichtigen [5-6]. Eine wissenschaftliche Untersuchung, welche dieser Perspektive folgt und dabei die Auswirkungen der Automatisierung auf der Wasserseite und hafens- und landseitige Reaktionsmöglichkeiten darauf betrachtet, fehlt jedoch bislang. So ist es wenig überraschend, dass vorbereitende landseitige Maßnahmen bislang nur vereinzelt zu finden sind, sodass eine fortschreitende Automatisierung an der ineffizienten Interaktion zwischen (autonomen) Binnenschiff und Land scheitern würde.

Um dem frühzeitig entgegenzuwirken, werden notwendige und geeignete Reaktions- und Vorbereitungsmaßnahmen in der Durchführbarkeitsstudie RAIN mithilfe einer hafenzentrierten Betrachtung herausgearbeitet. Dabei kommt die Szenariotechnik zum Einsatz, die die systematische Betrachtung unterschiedlicher Varianten der Zukunftsentwicklung eines komplexen Sachverhalts samt Prognose ihrer jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit ermöglicht. Da es sich bei der Automatisierung der Binnenschifffahrt u.a. um einen laufenden Entwicklungsprozess handelt und sich die relevanten Technologien, aber auch die entsprechenden Gütermärkte im Wandel befinden, sind verschiedene (Zwischen-)Zustände für die Zukunft denkbar. In dem hier beschriebenen Vorhaben werden bestimmte Varianten, z.B. hinsichtlich der bordseitigen Automatisierung, mit verschiedenen technischen, organisatorischen sowie ökonomischen Anpassungen auf Seiten des Hafens- und Terminalbetriebs kombiniert. In diesen Prozess werden möglichst viele Praxisvertreter, etwa aus dem Schifffahrtsgewerbe, der Hafengewirtschaft, von Komponentenlieferanten sowie aus der Forschung und Verwaltung, eingebunden.

Diese unterschiedlichen Kombinationen werden zu kohärenten, inhaltlich sinnvollen Zukunftsbildern konsolidiert, die Aussagen hinsichtlich der zugrunde gelegten Automatisierungsgrade in den Funktionen auf Bord- und Landseite sowie der rechtlichen, organisatorischen und wirtschaftlichen Entwicklungen und Anpassungsbedarfe auf Seiten des Hafens ermöglichen. Zu guter Letzt werden für jedes definierte Szenario Handlungsempfehlungen für die beteiligten Parteien, insb. für die Hafens- und Terminalbetreiber, zusammengestellt. Das Ergebnis der Studie dient somit als Leitlinie für die künftige parallele Entwicklung der Automatisierung der Binnenschifffahrt und der Binnenhäfen.

### Literatur

- [1] British Ports Association (2018). *Automation of Ships in Ports and Harbours*. London (GB).
- [2] Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services CML (2019). *Autonomous Vehicles' Impact on Port Infrastructure Requirements*. Hamburg.
- [3] Industrie- und Handelskammern im Ruhrgebiet (2018). *Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt. Machbarkeitsstudie für ein Testfeld im Ruhrgebiet*. Duisburg.
- [4] TNO; MARIN; TU Delft (2019). *Vision Paper on automated barging. Settings sails towards the future of inland navigation*. Delft (NL).
- [5] Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (2022). *Detallierte Zukunftsvision zur Unterstützung der Entwicklung der automatisierten Schifffahrt*. Strasbourg (FR).
- [6] PIANC (2022). *Smart Shipping on Inland Waterways. InCom Working Group Report N° 210*. Brüssel (BE).

## Wasser, Ware, Wandel

Janna Göers & Tim Holzki, Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft mbH, 13353 Berlin, Germany,  
[j.goeers@behala.de](mailto:j.goeers@behala.de); [t.holzki@behala.de](mailto:t.holzki@behala.de)

### Zusammenfassung

Die Geschichte der Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft (BEHALA) spiegelt die Transformation Berlins von einem industriell geprägten Wirtschaftsstandort zu einer modernen, zukunftsorientierten Metropole wider. Seit ihrer Gründung im Jahr 1923 spielte die BEHALA eine zentrale Rolle bei der Versorgung der Stadt Berlin, indem sie die Infrastruktur für den Güterumschlag und die Lagerung bereitstellte. Der Westhafen verdeutlicht die Bedeutung des Wassers als Transportweg und Warenumschlagplatz besitzt eine strategisch günstige Lage im Herzen der Stadt. Er entwickelte sich als größter Berliner Hafen schnell zum bedeutendsten Drehkreuz für den Warenverkehr und ermöglichte die Verknüpfung von Wasserwegen mit dem Eisenbahnnetz und den Straßen Berlins, was eine effiziente Verteilung von Gütern innerhalb der Stadt und darüber hinaus ermöglichte. Diese integrative Funktion unterstreicht die essenzielle Rolle des Westhafens in der trimodalen Versorgungskette und im wirtschaftlichen Gefüge Berlins.

In den Jahrzehnten ihres Bestehens musste sich die BEHALA jedoch immer wieder an veränderte wirtschaftliche Bedingungen und technologische Entwicklungen anpassen. Der Wandel von einer industriell geprägten Wirtschaft zu einer dienstleistungs- und wissensbasierten Ökonomie birgt neue Anforderungen an Logistik und Infrastruktur. Heute stellt sich die BEHALA mit verschiedensten Forschungs- und Entwicklungsprojekten in den Bereichen Schiffstechnik, alternative Antriebstechnologien, Automatisierung, Digitalisierung und City-Logistik für die Zukunft auf und investiert in moderne Technologien und innovative Logistiklösungen, um eine effiziente und nachhaltige Versorgung der Hauptstadtregion zu gewährleisten. Durch die Verbindung von Tradition und Innovation sichert die BEHALA nicht nur ihre Rolle in der Logistikinfrastruktur Berlins, sondern trägt auch zu einer nachhaltigen Entwicklung der Stadt Berlin bei.



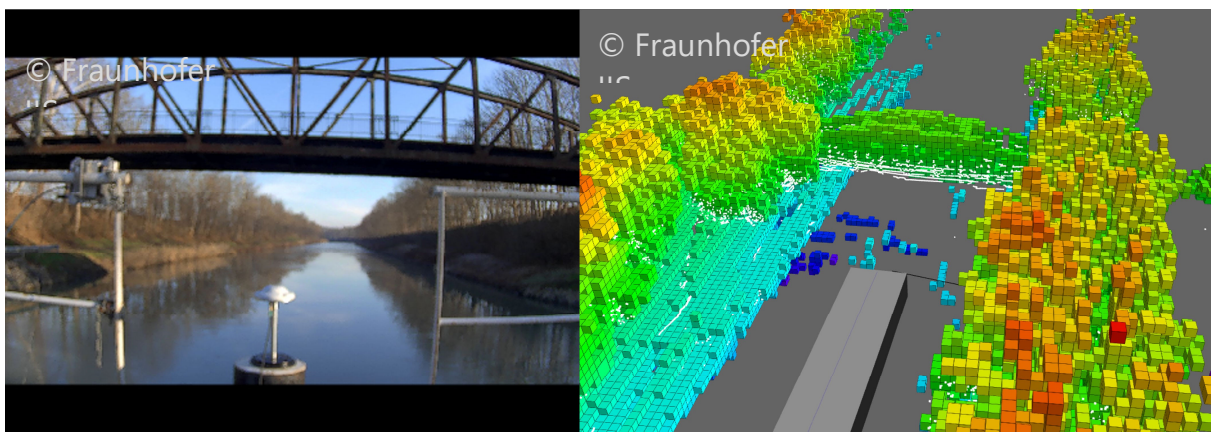
## Untersuchungen zu nachrüstbarer Sensorik für Automatisierung in der Binnenschifffahrt

Dipl.-Ing. Matthias Overbeck, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, 90411 Nürnberg, Germany,  
[matthias.overbeck@iis.fraunhofer.de](mailto:matthias.overbeck@iis.fraunhofer.de)

### Zusammenfassung

(Teil-)autonomes Fahren ist ein wichtiges Thema auf unseren Binnenschiffahrtsstraßen. Dabei geht es primär darum, dem Fachkräftemangel effektiv zu begegnen sowie das Potenzial der Binnenschifffahrt besser auszunutzen und somit den Schienen- und Straßenverkehr zu entlasten. Gerade sog. Stichkanäle bieten hier noch erhebliches Optimierungspotential. In dem Forschungsprojekt Smart Port Shuttle (SPS) geht es um die Entwicklung eines Testfelds auf dem Stichkanal Hildesheim. Aufgrund der aktuellen Gegebenheiten ist die Lage der Häfen am Ende der Stichkanäle des Mittellandkanals für die Binnenschifffahrt unattraktiv: fehlender Ausbau der Stichkanäle, Ladung nur in eine Richtung transportierbar, zu kleine Schleusen. Um die Kosten für diesen Transportweg zu senken und ihn dadurch attraktiver werden zu lassen, wird ein (teil-)autonomer Shuttlebetrieb mit Schubleichtern zwischen dem Hauptkanal und den Häfen am Ende der Stichkanäle auf dem Testfeld eingerichtet. Neben der Automatisierung der Binnenschifftransporte, der Entwicklung eines angepassten Schiffskonzepts mit Elektroantrieb und eines effizienten Logistikkonzepts für den Shuttlebetrieb auf Stichkanälen sind die rechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen und die bereits in der Automobilbranche vorhandenen Systeme für (teil-)autonomes Fahren zu evaluieren, zu integrieren sowie zuverlässig Daten für eine exakte Positionsbestimmung bereitzustellen.

Um die Fahrten der Schubleichter teilweise und später voll zu automatisieren, wurden Messfahrten mit verschiedenen Sensoren und satellitenbasierten Empfängertechnologien zur Positionsbestimmung durchgeführt. Die Technologien zur Positionsbestimmung wurden vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS bereitgestellt und an Bord eines Binnenschiffs der Deutschen Binnenreederei erprobt. Die Ergebnisse der Messfahrten mit dem aufgebauten Messsystem, bestehend aus GNSS-Empfängern, LIDAR-Sensoren, RADAR und Kameras, werden in diesem Vortrag vorgestellt. Ein Ausblick auf die nächsten notwendigen Schritte hin zum (teil-)autonomen Fahren runden den Vortrag ab.



SPS Hildesheim – Ergebnis der Sensortests im Stichkanal Hildesheim (Quelle: Fraunhofer IIS)



## Erste Erfahrungen aus der Umsetzung DTW

Nicole Langrock, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 53175 Bonn, Germany,  
[nicole.langrock@bmdv.bund.de](mailto:nicole.langrock@bmdv.bund.de)

### Zusammenfassung

Mit dem Förderprogramm „Digitale Testfelder auf Bundeswasserstraßen“ unterstützt das Bundesministerium für Digitales und Verkehr mit bisher insgesamt rund 34 Millionen Euro die Industrie und Forschung bei der Erprobung und Weiterentwicklung automatisierter Systeme für die Schifffahrt. Im Rahmen des Förderprogramms werden neue digitale Technologien und ihre Implementierung im Kontext des Verkehrsträgers Wasserstraße erforscht, um letztendlich das Ziel einer hochautomatisierten und autonomen Schifffahrt zu erreichen.

Im Zeitraum seit 2020 wurden hierzu sechs Testfelder in 11 Projekten zur Erforschung der hochautomatisierten und ferngesteuerten Schifffahrt eingerichtet. Anhand eines strukturierten Fragebogens sowie Workshops, werden die wichtigsten technischen und regulatorischen Herausforderungen erfasst, mit denen die Projekte bei der Umsetzung ihrer Ziele konfrontiert waren. Diese umfassen u.a. die Bereiche Wahrnehmung und Kontrolle, Positionierung und Kommunikation, gesetzliche Beschränkungen, Antriebe sowie Daten und Simulation zur Verifizierung und Validierung.



## Virtuelle Abbildung und Modellierung der Binnenschifffahrt für die Erprobung von Assistenz- und Automatisierungssystemen

Dipl.-Ing. Stephan Schweig, Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., 47057 Duisburg, Germany, [schweig@dst-org.de](mailto:schweig@dst-org.de)

Dr.-Ing. Jens Neugebauer, Universität Duisburg-Essen, Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme, 47057 Duisburg, Germany, [jens.neugebauer@uni-due.de](mailto:jens.neugebauer@uni-due.de)

### Zusammenfassung

Der Einsatz von Fernsteuerungs- und Assistenzsystemen sowie die Automatisierung von Binnenschiffen gelten als vielversprechende Maßnahmen, um einem steigenden Personalmangel entgegenzuwirken, die Effizienz zu steigern sowie den Leistungsbedarf und Emissionen zu reduzieren. Die genannten Technologien sollen auch dazu dienen, neue Märkte zu erschließen und Transporte auf die Wasserstraßen zu verlagern, deren Kapazitäten noch nicht ausgelastet sind. Mit steigendem Automatisierungsgrad sinkt allerdings die Einflussnahme des Bordpersonals auf nautische Entscheidungen. Wie kann sichergestellt werden, dass Fernsteuerungs-, Assistenz- und Automatisierungssysteme sowie deren Komponenten sicher, zuverlässig und effizient arbeiten? Ansätze, wie Langzeit-Erprobungen im Realbetrieb sind hilfreich, können aber nicht garantieren, dass ausreichend viele unterschiedliche kritische Verkehrssituationen und Umgebungsbedingungen während des Testzeitraums auftreten, um ein System abschließend zu bewerten. Kritische Situationen und Fehlerszenarien können im Realbetrieb außerdem nicht gefahrlos angefahren werden.

Im Gegensatz dazu können virtuelle Erprobungen gefahrlos durchgeführt werden. Die Reaktionen von Assistenz- und Automatisierungssystemen oder fernsteuernden Schiffsführern in komplizierten Verkehrsszenarien und bei Begegnungen mit geringen Abständen können bspw. virtuell ebenso gezielt untersucht werden, wie die Auswirkungen von Sensorausfällen oder Beeinträchtigungen von Sensorik durch Umgebungsbedingungen. Stresssituationen für zu testende Systeme und Komponenten können virtuell mit deutlich höherer Dichte erzeugt werden als sie in der Realität auftreten. Mit der Unterstützung virtueller Technologien können in kurzer Zeit Erprobungen durchgeführt werden, die im Realbetrieb sehr lange Erprobungszeiträume erfordern – es entsteht ein Zeitraffereffekt.

Das vom BMDV im Rahmen der Förderrichtlinie DTW II geförderte Projekt VERA widmet sich der Entwicklung eines virtuellen Testfeldes für die Entwicklung und Erprobung von Technologien zur Fernsteuerung, Teil- und Vollautomatisierung von Schiffen. Wichtige Voraussetzungen hierfür sind die korrekte optische und physikalische Abbildung der Realität, z.B. hinsichtlich der Gewässerströmung, des Windes, der Interaktion zwischen Schiffen und Fahrinnenbegrenzungen sowie die effiziente Anpassbarkeit der virtuellen Umgebung und der Fahrzeuge. Die Datenqualität und das Fehlverhalten virtueller Sensoren muss gezielt verändert und an die zu testenden Systeme weitergegeben werden können. Der Vortrag gibt einen Überblick über die Entwicklungen im Projekt und die eingesetzten Technologien.



Gegenüberstellung der virtuellen Umgebung und der Realität

## Neue Informations- und Assistenzsysteme für die Binnenschiffahrt – Digitale Verkehrs- und Strömungsdaten zur Effizienzsteigerung

Dr.-Ing. Christian Noß, Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich, 76187 Karlsruhe, Germany, [christian.noss@baw.de](mailto:christian.noss@baw.de)

### Zusammenfassung

Aktuelle Informations- und Assistenzsysteme schlagen u.a. fahrzeug- und antriebsabhängige Routen mit dem geringsten Verbrauch vor und berechnen Ankunfts- und Fahrzeiten unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrslagen – leider nicht für das Binnenschiff. Voraussetzung für diese häufig KI-basierten Systeme [1] sind umfangreiche digitale Datensätze zum Verkehr und zur Infrastruktur. Anders als auf der Straße und Schiene unterliegt die Wasserstraße nicht nur der Verkehrs- sondern auch einer hohen Strömungsdynamik, die mit unterschiedlichen sich teils ändernden Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten maßgeblich die Transportprozesse beeinflussen kann.

Im Rahmen eines mFUND-Projektes entwickelt die BAW zusammen mit der Alberding GmbH und unter Beteiligung assoziierter Partner ein Reiseassistenzsystem für die Binnenschiffahrt (RUBIN). In RUBIN sollen sowohl die Daten externer Informations- und Routingdienste [2, 3] eingehen als auch intern erzeugte Strömungs- und Verkehrsprognose berücksichtigt werden. Die Strömungsprognosen werden mithilfe instationärer 2D-hydroneumerischer Modelle mit Eingangsgrößen aus Pegelprognosen und Wasserhaushaltsmodellen erstellt. Die Verkehrsprognosen erfolgen bis zu einem Tag mithilfe von Mikroverkehrssimulationen und darüber hinaus auf Basis datenbasierter Modelle. Ein Pilotbetrieb auf dem Rhein und Wesel-Datteln-Kanal mit Unterstützung durch zwei Reedereien soll zeigen, wie hilfreich die Reiseunterstützung hinsichtlich prognostizierter Ankunftszeiten, Empfehlungen zu maximalen Abladetiefen bzw. Ladungshöhen und für eine Effizienzsteigerung in der Transportleistung ist.

Von zentraler Bedeutung für RUBIN aber auch anderer interner und externer Dienste und Projekte ist das Datenmanagement. Flächendeckende hochauflösende Daten des Verkehrs und der Strömung bedürfen einen umfangreichen Speicherplatz, selbst für kürzere Zeiträume von wenigen Tagen bzw. Abschnitte mit wenigen Kilometern. Zur Sicherung und Verarbeitung dieser Daten betreibt die BAW zwei Server, den INSEL-Server (Inland Navigation Service Library), der aktuell Infrastruktur- und Strömungsdaten des Rheins vorhält, und den AIS-Server (Automatic Identification System), mit dem über die Inland-AIS-Infrastruktur der GDWS empfangene Daten. Der INSEL-Server bietet für beliebige Abflüsse interpolierte Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten entlang des freifließenden Rheins (km 334 bis 852, 106 Mio. Datenpunkte). Zukünftig werden über den INSEL-Server auch die Ergebnisse der instationären Strömungsmodellierung und prognostizierte Weg-Zeitpunkte für Eigenschiffe öffentlich verfügbar. Bei dem AIS-Server handelt es sich um einen WSV-internen Dienst, der einen Abruf der AIS-Daten von 2019 bis heute mit zusätzlichen Angaben zur Position der Schiffe auf den Wasserstraßen und querschnittsbezogener statistischer Analysen zur Flottenstruktur ermöglicht. Diese Verkehrsdaten bilden u.a. die Grundlage zur Ableitung von Anfangs- und Randbedingungen für die Verkehrsprognosen in RUBIN.

Die neuen und zu erweiternden Informations- und Assistenzsysteme sollen im Fall von RUBIN und INSEL die Binnenschiffahrt sowie mithilfe des AIS-Servers zusätzlich die WSV bei ihren Entscheidungen unterstützen und wertvolle Daten für nachfolgende Analysen bereitstellen.

### Literatur

- [1] Derrow-Pinion et al.: *ETA Prediction with Graph Neural Networks in Google Maps* in Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management, New York (2010), ISBN 9781450384469, S. 3767–3776.
- [2] <https://www.elwis.de>, zuletzt aufgerufen am 28.02.2024.
- [3] <https://www.eurisportal.eu>, zuletzt aufgerufen am 28.02.2024.

## CAPTN – Maritime Testfelder für ein urbanes Mobilitätskonzept

Daniel Laufs, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Lehrstuhl für Technologiemanagement und Wissenschaftszentrum Kiel, 24118 Kiel, Germany, [d.laufs@wize-kiel.de](mailto:d.laufs@wize-kiel.de)

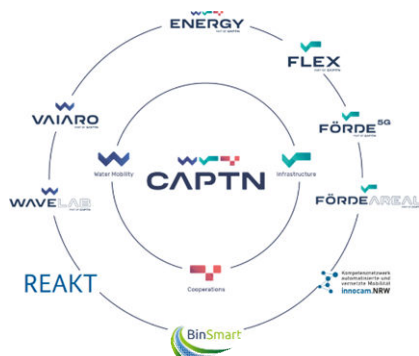
### Zusammenfassung

Das Clean Autonomous Public Transport Network, kurz CAPTN, entwickelt die Personenmobilitätskette der Zukunft am Standort Kiel. Diese soll durch einen Mix aus wasser- und landseitigen autonomen, umweltfreundlichen Verkehrsmitteln geprägt sein. Im Rahmen dieser Initiative hat sich in den vergangenen fünf Jahren ein regionales Innovationsökosystem gebildet, dessen Akteure aus Gesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Verwaltung in unterschiedlichen Konstellationen CAPTN-Kooperationsprojekte zur gemeinsamen Forschung und Entwicklung durchführen. Ein wesentlicher Fokus liegt auf der Entwicklung einer autonomen Personenfähre. Dazu wurde im Projekt CAPTN Förde Areal ein Versuchsträger im *Open Innovation* Ansatz errichtet, welcher nun im Regelbetrieb betrieben wird und wichtige Daten sammelt, deren Analyse zur Verbesserung der ferngesteuerten und autonomen Schifffahrt beiträgt. Im Folgenden werden technische Aspekte dieses Versuchsträgers und des Testfeldes im Hinblick auf die Zusammenarbeit innerhalb der Initiative betrachtet.

Der Versuchsträger MS Wavelab wurde im Rahmen des DTW-Projekts CAPTN Förde Areal in Kooperation mit den Projektpartnern von der Gebr. Friedrich Werft in Kiel gebaut und in 2023 feierlich getauft. Der 21 x 8 m Katamaran ist batteriebetrieben und steht interessierten Akteuren aus Wissenschaft und Industrie als offene Forschungsplattform zur Verfügung. Bereits beim Bau wurde eine möglichst hohe Versatilität angestrebt, um ein möglichst breites Anwendungsspektrum bedienen zu können. So ermöglicht ein umliegender Sensorrahmen die Positionierung sämtlicher (neuer) Sensorik rund um das durch zwei Ruderpropeller wendige Schiff. Auf dem großzügigen Arbeitsdeck findet auch ein Container für bis zu ca. 8 t Forschungsequipment Platz. Arbeitsplätze im Deckshaus sind mit den erweiterbaren Serverschränken in den Rümpfen verbunden. So wird er derzeit von den Projektpartnern, namentlich der FuE GmbH der FH Kiel, der Christian-Albrechts-Universität Kiel, sowie den Firmen ADDIX, Anschütz und dem Wissenschaftszentrums genutzt, um durch Erprobungsfahrten einen diversen Datenkorpus aufzubauen, welcher einer Vielzahl von Forscher:innen zur Auswertung zur Verfügung steht. Im Fokus stehen neben der Erprobung und Evaluierung bestehender Technologien wie Assistenzsystemen auch die Sensorfusion, die Kommunikation (z.B. zwischen Schiff und Land) und die Entwicklung von Routing Algorithmen. Die Forschungsteams arbeiten transdisziplinär und schließen mittlerweile auch „projektexterne“ Akteure ein.

Als digitales Testfeld für CAPTN gilt gewissermaßen die gesamte Kieler Innenförde. Bis zur Inbetriebnahme der MS Wavelab ermöglichte die Schlepp- und Fährgesellschaft Kiel die Datensammlung auf ausgewählten Fährrouen. Heute ist die MS Wavelab entweder im Marinearsenal im geschützten Raum oder als „Binnenschiff Zone 2 See“ auf der Kieler Förde im Einsatz. Die Kieler Förde bietet eine gute 5G Netzabdeckung, welche im Rahmen des Förderprojekts CAPTN Förde 5G bereits vor einigen Jahren ausgebaut wurde. Neben dem öffentlichen 5G Netz steht der MS Wavelab ein zusätzliches privates Wifi-Netz zur Verfügung. Der angrenzende Nord-Ostsee-Kanal bietet ebenfalls neue Möglichkeiten und bildet eine wünschenswerte Erweiterung des Testfeldes.

Abschließend ist noch einmal die Kooperationsbereitschaft in den Vordergrund zu stellen. In diesem Sinne möchten wir gerne den Dialog starten, um unsere Kieler Forschungsinfrastruktur zur Verfügung zu stellen, um die Digitalisierung in der Schifffahrt weiter voranzutreiben.



Das CAPTN Innovationsökosystem inklusive Kooperationsnetzwerke (links) und der Versuchsträger MS Wavelab (rechts)

## KI-Anwendungen für eine virtuelle Testumgebung auf einem Binnenschiffsführungssimulator

Jannis Daubner, Bundesanstalt für Wasserbau, 76187 Karlsruhe, Germany, [jannis.daubner@baw.de](mailto:jannis.daubner@baw.de)

### Zusammenfassung

Die zunehmende Automatisierung in der Binnenschifffahrt stellt neue Herausforderungen an die Zulassung und Prüfung von Assistenzsystemen sowie die entstehende hybride Verkehrsform aus manuell geführten und (teil-)autonomen Schiffen. Diesbezügliche Untersuchungen unter realen Bedingungen haben den Nachteil, dass nicht alle notwendigen Szenarien getestet werden können und andere Verkehrsteilnehmer bei Systemfehlern oder -ausfällen gefährdet werden. Eine gefahrlose Alternative, Assistenzsysteme in einer realitätsnahen Umgebung zu testen, bietet der BAW-Binnenschiffsführungssimulator. Welche Anforderungen sind an diese virtuelle Testumgebung zu stellen? Benötigt werden sowohl menschliche Verkehrsteilnehmer als auch virtuelle autonome Schiffe, die in einer hybriden Simulationsumgebung interagieren. In diesem Forschungsvorhaben werden vorbereitend autonome Verkehrsschiffe mithilfe von Ansätzen des maschinellen Lernens, dem *Reinforcement Learning*, entwickelt. In einem ersten Arbeitsschritt wurde ein KI-gesteuerter Pfadfolger entwickelt, der ausschließlich den Kurs des Schiffs steuert und keinen Einfluss auf die Motordrehzahl nimmt. Nach ersten Tests mit einem sinusförmigen Sollkurs auf einer freien Wasserfläche wurde die Trainingsumgebung durch die Trajektorie eines Messschiffs auf dem Mittelrhein ersetzt, wobei die Flussströmung aus einem numerischen Strömungsmodell übernommen wurde. Eine Testfahrt auf dem Mittelrhein ist in Abb. 1 zu sehen. Man erkennt, dass das KI-gesteuerte Schiff dem vorgegebenen Kurs gut folgen kann. Abschließend wurde untersucht, inwieweit die KI nach einem Training auf dem Mittelrhein in der Lage ist, einer Trajektorie auf dem Niederrhein zu folgen. Im Weiteren soll dieser Pfadfolger um die Steuerung der Motordrehzahl und um eine Trajektorienplanung erweitert werden. Dies soll es ermöglichen, verschiedene Verkehrssituationen in einer hybriden Umgebung aus autonomen und manuell geführten Schiffen zu simulieren und hinsichtlich der Anforderungen an die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt zu analysieren.

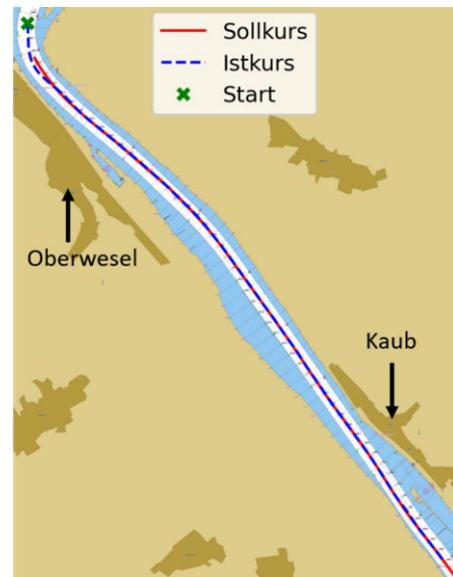


Abbildung 1: Testfahrt auf dem Mittelrhein

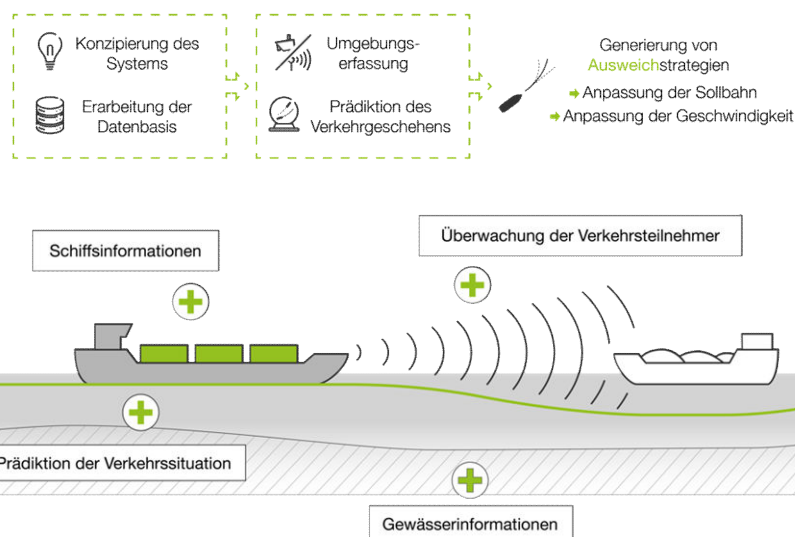
## KoliBRI – Projektübersicht und Entwicklungen

M.Sc. Florian Gschwandter, Argonics GmbH, 70565 Stuttgart, Germany, [florian.gschwandtner@argonics.de](mailto:florian.gschwandtner@argonics.de)  
M.Sc. Jan-Niklas Busse, KIT, MVM DPE, 76187 Karlsruhe, Germany, [jan-niklas.busse@kit.edu](mailto:jan-niklas.busse@kit.edu)

### Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes "Kollisionsvermeidung in der Binnenschifffahrt basierend auf Radar und der Integration weiterer Sensorik" (KoliBRI) soll ein neuartiges Assistenzsystem für die Binnenschifffahrt erforscht werden, welches alle Anforderungen und Bedingungen des Automatisierungsgrads 3, nach Definition der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), erfüllt.

Den ersten Schritt stellt die Erfassung der Umgebung dar, wobei eine Kombination aus mehreren Sensoren verwendet wird. Neben den standardmäßig verfügbaren Sensoren Radar und AIS werden optische und thermische Kameras sowie Laserscanner eingesetzt. Durch Fusion dieser Sensoren können deren individuelle Stärken in idealer Weise kombiniert werden.



Auf Basis dieser verfügbaren Daten soll das zukünftige Verhalten aller für das Eigenschiff relevanter Verkehrsteilnehmer prädiziert werden. Dies dient vor allem dem Zweck, dass kritische Begegnungen frühestmöglich erkannt werden, um ihnen rechtzeitig ausweichen zu können. Dazu sollen datenbasierte Schiffsmodelle hergeleitet und mit Hilfe von Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens ergänzt werden. Zur Verbesserung der Prädiktionsfähigkeit soll die Extrapolation durch auf Multihypothesen basierende Filterbänke unterstützt werden. Dies ermöglicht vor allem die Anpassung der Vorhersage an aktuelle Situationen, wie beispielsweise Veränderungen von Wasserständen. Durch eine anschließende Modellierung von Sicherheitsbereichen um dynamische und statische Hindernisse herum, können Begegnungen zwischen Verkehrsteilnehmern identifiziert und kritische Situationen detektiert werden. Zur Lösung dieser sollen geeignete Ausweichstrategien formuliert werden. Dabei soll sich zur Kollisionsvermeidung oder Begegnungen in Engstellen methodisch vor allem auf die alleinige Anpassung der Geschwindigkeit oder des Querversatzes der Schiffe fokussiert werden. Im Falle von besonders kritischen Situationen sollen ebenfalls Ansätze zur gleichzeitigen Anpassung beider Zustandsgrößen, sowie die Möglichkeit der Generierung von neuen Sollbahnen durch geeignete Pfadplanungsalgorithmen erforscht werden. Ein weiterer Bestandteil dieses Projektes ist die erweiterte Betrachtung des Verkehrsgeschehens mit Hilfe von kooperativen Methoden der Kollisionsvermeidung. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Verkehrsteilnehmer untereinander Daten, wie beispielsweise geplante Bahnen, austauschen können. Somit sollen bei der Berechnung von geeigneten Ausweichstrategien alle Verkehrsteilnehmer gleichermaßen berücksichtigt werden, um eine optimale Gesamtlösung finden zu können. Hierzu können Ansätze aus dem Bereich der Mehrziel-Optimierung und der Spieltheorie zum Einsatz kommen. Die Anforderung an eine Echtzeitfähigkeit der erforschten Methoden ist dadurch begründet, dass zum Abschluss dieses Projektes ein Funktionsmuster des Assistenzsystems auf einem Großschiff demonstriert werden soll.

## FernBin: Fernsteuerung als Perspektive in der Binnenschifffahrt

Dr.-Ing. Frédéric Etienne Kracht, Universität Duisburg-Essen, Institut für Mechatronik, 47058 Duisburg, Germany, [frederic.kracht@uni-due.de](mailto:frederic.kracht@uni-due.de)

### Zusammenfassung

Das Verbundprojekt FernBin – ferngesteuertes, koordiniertes Fahren in der Binnenschifffahrt – reagiert auf aktuelle Herausforderungen in der Binnenschifffahrt, wie den Mangel an qualifiziertem Personal und die Notwendigkeit effizienter Lösungen. Mit dem Konzept des ferngesteuerten Fahrens wurden innovative Wege gesucht, diesen Problemen zu begegnen. Der Beitrag stellt die Ergebnisse dieses vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projektes vor.

Als Versuchsobjekt wurde die GMS Ernst Kramer gewählt. Die GMS Ernst Kramer ist ein typisches Trockengutschiff mit 105 m Länge und 9,5 m Breite. Sie wird von der Rhenus PartnerShip GmbH & Co. KG bereedert und ist vom Main über den Rhein bis in die Niederlande unterwegs. Die installierte Technik besteht aus einem Fernbedienungsstand am Lehrstuhl für Mechatronik und am DST (Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.), Sensoren, Aktoren und Assistenzsystemen an Versuchsschiff. Besonderes Augenmerk wurde auf eine robuste und sichere mobile Datenübertragung gelegt, um eine effektive Bahnführung und Kollisionsvermeidung zu gewährleisten. Neben der erhöhten Sicherheit bietet die ferngesteuerte Binnenschifffahrt auch wirtschaftliche Vorteile wie eine verbesserte Auslastung der Schiffe und eine effizientere Nutzung der Arbeitszeit der Besatzung.

Im Rahmen des Projektes wurden ferngesteuerte Testfahrten auf dem Vinckekanal und dem Rhein-Herne-Kanal erfolgreich durchgeführt. Eine Probandenstudie, begleitet von psychologischen Untersuchungen, wurde ebenfalls durchgeführt, um die Akzeptanz und Sicherheit des Systems zu evaluieren.

Das Projekt FernBin wird als Zwischenschritt auf dem Weg zur Vollautomatisierung der Binnenschifffahrt gesehen. Es legt den Grundstein für zukünftige Entwicklungen und unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Forschung zur Integration von ferngesteuerten und autonomen Schiffsführungssystemen. Die Realisierung einer Leitstelle zur Koordination eines gemischten Verkehrs aus ferngesteuerten, automatisierten und konventionellen Schiffen wird als entscheidend angesehen. Dieses Kontrollzentrum wird umfassende Informationen über die Verkehrssituation liefern und zur Optimierung der Verkehrsflüsse beitragen.

Das Projekt FernBin hat wichtige Fortschritte erzielt und einen vielversprechenden Weg für die Zukunft der Binnenschifffahrt geebnet. Durch die Entwicklung innovativer Technologien und Konzepte wurden die Projektziele erfolgreich erreicht und wichtige Grundlagen für zukünftige Entwicklungen gelegt.

Dieses Forschungsprojekt mit dem Förderkennzeichen 03SX506F wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Llinks: Testschiff GMS Ernst Kramer; rechts: Logo des BMWK