



Manövrieren in die Zukunft

Ein Impulspapier des Arbeitskreises Wasser

Exposee

Binnenschifffahrt bietet große Chancen für umweltfreundliche, effiziente Gütertransporte, steht jedoch vor personellen und strukturellen Herausforderungen. Durch fortschreitende Automatisierung und Vernetzung kann die Binnenschifffahrt ihre Potenziale besser ausschöpfen, Personalmangel lindern und so langfristig einen entscheidenden Beitrag zur nachhaltigen Verkehrswende leisten. Dieses Impulspapier skizziert im Rahmen des Arbeitskreises Wasser (innocam.NRW) zentrale Handlungsfelder einer Vernetzung und Automatisierung: klare rechtliche Rahmenbedingungen, Testfelder für autonome Schiffssysteme, Kommunikationsstandards sowie den Ausbau von Infrastruktur und Vernetzung. Eine ganzheitliche Betrachtung sozialer und ökologischer Aspekte ist ebenso essenziell.

Verantwortlicher Ansprechpartner: Dr.-Ing. Tim Reuscher
E-Mail: info@innocam.nrw



Inhalt

Einleitung: Aktuelle Lage der Binnenschifffahrt - Chancen und Herausforderungen	2
Schlüsselrolle der Binnenschifffahrt im Güterverkehr	3
Impulse aus dem Arbeitskreis Wasser	5
Schaffung geeigneter Testfelder	6
Kommunikationsstandards	7
Infrastruktur und Vernetzung	8
Klare gesetzliche Rahmenbedingungen	10
Ganzheitliche Betrachtung der Thematik inkl. sozialer und ökologischer Einflüsse autonomer Systeme	11
Quellenverzeichnis	12





Einleitung: Aktuelle Lage der Binnenschifffahrt – Chancen und Herausforderungen

Die Binnenschifffahrt spielt eine zentrale Rolle im Güterverkehr Nordrhein-Westfalens [1] und Deutschlands [2] und bietet zahlreiche Alleinstellungsmerkmale und Vorteile gegenüber anderen Transportmitteln. Sie zeichnet sich durch Zuverlässigkeit, Umweltfreundlichkeit und Kosteneffizienz aus und ist ein unverzichtbarer Bestandteil intermodaler Transportketten. Trotz dieser Stärken steht die Branche vor Herausforderungen wie dem demografisch bedingtem Personalmangel und hohem Kostendruck durch Konkurrenz wie dem straßengebundenen Gütertransport. Darüber hinaus erfordert der Klimawandel bei allen Verkehrsträgern und somit auch in der Schifffahrt Anpassungen, um die europäischen Emissionsminderungsziele zu erreichen [3].

Das Ziel dieses Impulspapiers ist es, auf Basis der Diskussionen und Arbeiten im Arbeitskreis Wasser des Kompetenznetzwerkes innocam.NRW Impulse für zukünftige Entwicklungen auf dem Weg zur automatisierten und vernetzten Binnenschifffahrt in politischer und technischer Hinsicht zu liefern. Besonders eine Steigerung des Automatisierungsgrades wird als Schlüsseltechnologie betrachtet, um den Personalmangel in der Binnenschifffahrt zu kompensieren und die Effizienz sowie Sicherheit im Binnenschiffsbetrieb zu steigern. Gleichzeitig kann durch technologische Innovation und den verstärkten Einsatz von Automatisierung die Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt nachhaltig erhöht werden. Hierfür stehen allerdings kritische Aufgaben in Industrie, Politik und Forschung bevor, die in diesem Impulspapier beleuchtet werden sollen [4].

Insbesondere fokussieren wir uns auf Herausforderungen in den Bereichen der Testfelder, Kommunikationsstandards, Infrastruktur und Vernetzung, rechtlicher Rahmenbedingungen und einer ganzheitlichen Betrachtung der Thematik, die in unseren bisherigen Arbeitskreissitzungen diskutiert wurden. Hierfür werden im Impulspapier offene Fragenstellungen benannt, welche im Rahmen der nächsten Arbeitskreissitzungen ausführlich behandelt werden sollen, um notwendige Ergebnisse in diesen Bereichen zu erreichen.





Schlüsselrolle der Binnenschifffahrt im Güterverkehr

Die Binnenschifffahrt ist ein zentraler Bestandteil des europäischen Gütertransportnetzes und spielt eine wichtige Rolle in der Logistik. Sie bietet Vorteile in Zuverlässigkeit, Umweltfreundlichkeit und Kosteneffizienz, insbesondere beim Transport großer Mengen Schüttguts oder Container. Dennoch spielt die Binnenschifffahrt im Massentransport im Vergleich zum Schienen- und Straßengüterverkehr bisher eine untergeordnete Rolle. Dies liegt u.a. an den Nachteilen, die sich insbesondere in geringerer Flexibilität äußern. Insbesondere in der Verschiffung kleinerer Gütermengen kann die Binnenschifffahrt Anfragen häufig nicht bedienen.[5]

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Destatis) wurden im Jahr 2023 insgesamt 172 Millionen Tonnen Güter auf den deutschen Binnenwasserstraßen befördert. Das entspricht einem Rückgang von 5,9 % gegenüber dem Vorjahr. Diese Verschiebungen im Transportaufkommen sind zum Teil auf eine schwache Konjunktur und eine Verringerung der Kohletransporte zurückzuführen. Denn die meisttransportierten Güter waren flüssige Mineralölerzeugnisse, Steine und Erden, Eisenerze sowie Kohle, die zusammen 51 % des Transportvolumens ausmachten. Flüssige Mineralölerzeugnisse stellten mit rund 27,9 Millionen Tonnen den größten Anteil, gefolgt von anderen Baustoffen und Kohle [6].

Nordrhein-Westfalen verfügt über ein gut ausgebautes Binnenwasserstraßennetz mit insgesamt etwa 720 Kilometern Länge, davon entfallen 240 Kilometer auf den Rhein und 480 Kilometer auf das Kanalnetz: Dortmund-Ems-Kanal, Datteln-Hamm-Kanal, Wesel-Datteln-Kanal, Rhein-Herne-Kanal, die Weststrecke des Mittelland-Kanals sowie Ruhr und Weser. Die Binnenwasserstraßen leisten einen großen Beitrag für die wirtschaftliche und infrastrukturelle Leistungsfähigkeit in Nordrhein-Westfalen, insbesondere in der Rhein-Ruhr-Region. Die Schifffahrt bietet erhebliches Potenzial, um Klima und Umwelt zu schützen und den Straßenverkehr zu entlasten. [7]

Über den Rhein, Europas wichtigste und verkehrsreichste Wasserstraße, ist Nordrhein-Westfalen direkt mit den großen Nordseehäfen Belgiens und der



Niederlande verbunden und von großer Bedeutung für den Wirtschaftsstandort NRW. An Nordrhein-Westfalens Wasserwegen liegen etwa 120 Häfen, davon mehr als 23 öffentliche und 97 private. Aufgrund der Transformation des Industriestandortes NRW (bspw. Rückgang der Kohletransporte) ist der Güterumschlag der Binnenschifffahrt in den Häfen Nordrhein-Westfalens genau wie der gesamtdeutsche Umschlag rückläufig. [7]

Die Binnenschifffahrt eignet sich insbesondere für Massengüter, Gefahrgut und containerisierte Waren [6], bietet hohe Zuverlässigkeit [8] und ist in vielen Belangen - zusammen mit dem Schienenverkehr - der Güterverkehrsträger mit dem geringsten negativen Umwelteinfluss [9], [10] (für eine vollständigere Auflistung von Vor- und Nachteilen empfiehlt der Arbeitskreis Wasser Quelle [9]).

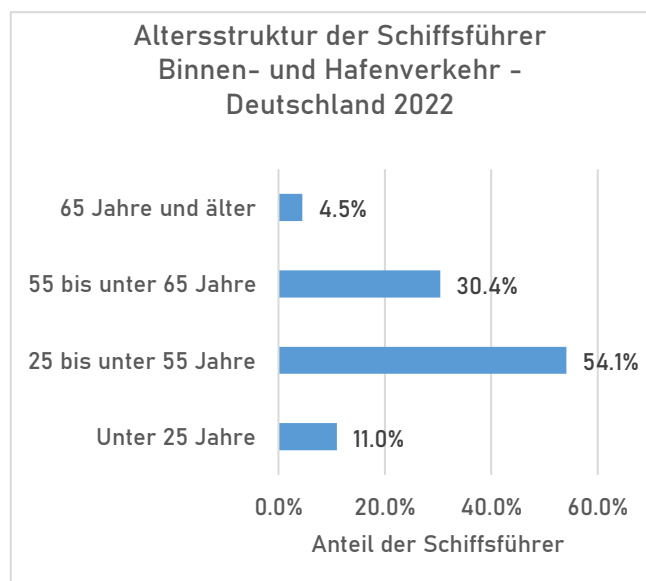


Abbildung 1: Altersstruktur der Schiffsführer im Binnen- und Hafenverkehr in Deutschland im Jahr 2022 [5]

Demgegenüber stehen neben inhärenten Schwierigkeiten wie der geringen Flexibilität des Verkehrsträgers [9] hervorgerufen durch ein festes Routennetz und insbesondere Mindesttransportmengen, die im Widerspruch zum Bedarf von Unternehmen und Speditionen stehen, viele kleinere Transporte umzusetzen. Die aktuell jedoch treibendste Herausforderung ist der drohende Personalmangel in der Binnenschifffahrt. Ein Blick

auf die Altersverteilung (Abbildung 1) in der Binnenschifffahrt offenbart die Schwere dieser Herausforderung. Ein erheblicher Teil der Belegschaft ist bereits im fortgeschrittenen Alter, während gleichzeitig jüngere Generationen nur begrenzt nachrücken. Dies wird zu einer kritischen Lücke in der Fachkräfteverfügbarkeit führen, die zu einer Verringerung des Anteils der Binnenschifffahrt im Transport beitragen kann.



Impulse aus dem Arbeitskreis Wasser

Angesichts der aktuellen Herausforderungen der Binnenschifffahrtsbranche ist eine umfassende Einführung von autonomen und vernetzten Systemen eine Chance, die Binnenschifffahrt dennoch langfristig als zuverlässiges Transportmittel zu erhalten. Die Technologien in der Binnenschifffahrt hinken den aktuellen Entwicklungen in weltweit umgesetzten Forschungsprojekten im Bereich der automatisierten Schifffahrt [4] jedoch um 10 bis 15 Jahre hinterher. Im Bereich der Bewältigung des bestehenden und drohenden Personal mangels in der Binnenschifffahrt besteht eine Chance insbesondere im Einsatz automatisierter Systeme, die entweder ganz oder teilweise die Aufgaben der Schiffsführung übernehmen. Trotz der Vielzahl an Pilot- und Forschungsprojekten [11] fehlt jedoch bislang die Marktdurchdringung dieser Systeme.

Personaleinsparungen sind hierbei allerdings voraussichtlich nur in bestimmten Bereichen möglich. Insgesamt ist primär eine Verlagerung der Tätigkeiten zu erwarten, die die Attraktivität des Schiffsführerberufs langfristig wieder steigern kann. Der Anteil insbesondere navigatorischer Arbeiten an Bord nimmt ab, während Tätigkeiten in den Bereichen Fernüberwachung, Entwicklung und Wartung anteilig zunehmen. Kraftstoffeinsparungen durch den Einsatz der Technologien scheinen aufgrund der Forschungsergebnisse möglich. Jedoch ist unklar, ob es durch Personalverlagerung und die Entwicklung neuer Technologien langfristig zu Kosteneinsparungen kommt. Sicher ergibt sich durch die steigende Automatisierung jedoch eine Erhöhung der Flexibilität. Das Potential wird beispielsweise im Projekt AutoFlex [12] durch automatisierte Vernetzung von Logistikwegen aufgezeigt. Innovationen wie diese sorgen dafür, dass die Dienstleistung des kostengünstigen Transports von Massengütern für den Industriestandort Deutschland/NRW durch die Binnenschifffahrt weiterhin erbracht werden können.

Obwohl es eine steigende Marktdurchdringung für verschiedenste Unterstützungssysteme gibt, sind weiterhin viele Probleme in der Umsetzung automatisierter Systeme ungelöst. Nachfolgend werden als Ergebnis der Arbeit im Arbeitskreis die wahrgenommenen größten Potentiale für Entwicklungen in der autonomen und vernetzten Binnenschifffahrt beschrieben. Diese erfordern die





Zusammenarbeit aller Akteure von Politik über Behörden zu Forschung und Industrie. Hierfür zeigen wir jeweils die kritischsten Handlungsfelder auf, um diese Zusammenarbeit aktiv zu unterstützen.

Schaffung geeigneter Testfelder

Stark zu betonen ist die Notwendigkeit geeigneter Testfelder für die Weiterentwicklung automatisierter und vernetzter Systeme in der Binnenschifffahrt. Derzeit fehlen hierfür einheitliche Standards, was zu großen bürokratischen Hemmnissen führen kann. Ausnahmegenehmigungen bieten eine vorrübergehende Lösung, die jedoch für den flächendeckenden Test und die kommerzielle Umsetzung von Systemen nur bedingt geeignet sind. Sie bedeuten individuellen Aufwand und Wartezeiten, die für einen Serieneinsatz ungeeignet sind. Gleichzeitig sollten physische Testfelder die realen Bedingungen in der Binnenschifffahrt so gut wie möglich widerspiegeln, ohne Personen, Umwelt und Güter zu gefährden. Die Möglichkeiten des BMDV-Förderprogramms „Forschung und Entwicklung von digitalen Testfeldern an Bundeswasserstraßen“ sind hier ein Schritt in die richtige Richtung. Die Teilnahme am Förderprogramm erlaubt primär die Erforschung verschiedener Inhalte durch finanzielle und organisatorische Unterstützung, ist jedoch nicht an erweiterte rechtliche Rahmenbedingungen geknüpft [4].

Auf den bestehenden physischen und virtuellen Testfeldern für autonome Systeme in der Binnenschifffahrt, wie der Spree-Oder-Wasserstraße, werden verschiedene Projekte durchgeführt, um die Technologie und Anwendungen zu erproben. Diese Projekte umfassen im Wesentlichen:

1. Autonome Schiffsoperationen
2. Sensorik und Kommunikation
3. Integration in bestehende Verkehrsnetze
4. Datengewinnung [13].

Während diese Punkte für den Erfolg von autonomen Systemen kritisch sind, adressieren sie jedoch nicht den rechtlichen Aspekt, den Testfelder wünschenswerterweise einschließen. Der Vergleich mit den Nachbarländern Belgien





und Niederlande zeigt deutlich [14], [15], dass aktuelle Entwicklungen aufgrund der großen bürokratischen Hürden aktuell nur sehr eingeschränkt in Deutschland erprobt und eingeführt werden und damit Erkenntnispotential ungenutzt bleibt. Hinzu kommt, dass für den Rhein der rechtliche Rahmen durch die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) bestimmt wird und Erprobung wie Zulassung daher vom internationalen Recht und den entsprechenden Genehmigungsverfahren der ZKR abhängen. Daher nehmen wir es uns zum Ziel, in den Arbeitskreisterminen folgende Fragestellungen zu erarbeiten:

- Was kann Deutschland für die Einführung von AVM (automatisierte und vernetzte Mobilität) in der Binnenschifffahrt aus Umsetzungen im europäischen Ausland bzw. aus anderen Verkehrssektoren lernen? Wie unterscheiden sich die Anforderungen von Industrie und Forschung?
- Welche konkreten Anforderungen an Testfelder gibt es aus technischer Sicht?
- Wie lauten die rechtlichen Vorbehalte aus Sicht der regulierenden Behörden?
- Welche Gebiete eignen sich als Testfelder?
- Wie kann NRW die Entwicklungen und Einführung unterstützend begleiten?

Kommunikationsstandards

Die Vernetzung von Schiffen stützt sich gegenwärtig primär auf das Automatic Identification System (AIS) und GPS, das Kurs- und Geschwindigkeitsdaten übermittelt. [16] Allerdings sind die übertragenen Daten in ihrem Umfang limitiert und wichtige Kommunikationswege werden nach wie vor über analoge Funktechnik abgewickelt. [17] Es wird aufgrund der beträchtlichen Investitionshöhen für neue Systeme und dem ohne Automatisierung geringen Mehrwert erwartet, dass sich an dieser Situation in den kommenden Jahren nicht viel ändern wird.

In der Vernetzung der Binnenschifffahrt stellt die Datenqualität ein zentrales Problem dar: Obwohl auf dem Rhein für viele Schiffsklassen der Einsatz von AIS verpflichtend ist, gibt es zahlreiche menschliche Fehlerquellen. Beispielsweise werden die Position





des Empfängers auf dem Schiff, sowie die Abmaße der Schiffe häufig fehlerhaft eingetragen. [18]

Insgesamt ist das System daher nicht zuverlässig genug für eine Nutzung in automatisierten Systemen. Für eine effiziente kollaborative Navigation ist eine Überarbeitung des Systems mit mehrwertstiftenden Features nötig. Insbesondere „intention sharing“, bei dem automatisierten Schiffe ihre geplante Trajektorie kommunizieren sowie der Austausch über erkannte, nicht kommunizierende Hindernisse, können großen Mehrwert für die automatisierte Schifffahrt bieten.

Das aktuelle System weist zudem Sicherheitslücken auf, da es unverschlüsselt und anfällig für Manipulationen ist. Eine Verifizierung der Daten durch Dritte könnte dazu beitragen, die Sicherheit deutlich zu erhöhen. [19] Dies trägt weiter dazu bei, dass AIS-Daten überwiegend zur Informationsbereitstellung genutzt werden, während ihre Anwendung in der Navigation noch begrenzt ist. [20]

Eine Überarbeitung sollte mit den Bedarfen der automatisierten Schifffahrt in Einklang gebracht werden. In technischen Sitzungen werden folgende Aktivitäten im Vordergrund stehen:

- Ausloten von Bedarfen aus technischer Sicht für eine Überarbeitung der Systeme
- Zusammentragen aktueller Forschungsergebnisse um das Thema Kommunikationsstandards
- Identifikation von zur Erprobung dieser Systeme notwendiger Infrastruktur
- Aufzeigen von Potenzialen von Testfeldern, die zukünftige Technologien implementieren

Infrastruktur und Vernetzung

Auch Infrastrukturthemen stellen eine Herausforderung dar. So müssen vorhandene Anlagen abgesichert werden, bevor eine Integration autonomer Technologien möglich ist. Darüber hinaus benötigen insbesondere die Binnenhäfen ihr aktuelles Budget vollständig für die Aufrechterhaltung aktueller Infrastruktur bzw. die Deckung





zukünftiger Kapazitätsbedarfe. Die umfangreichen technologischen Ergänzungen, die für den Betrieb hochautomatisierter Schiffe notwendig sind, machen weitreichende Investitionen notwendig. Hierfür ist nicht nur das notwendige Kapital eine Herausforderung, sondern insbesondere auch fehlende Klarheit über die notwendigen und relevanten Technologien. Erste Schritte werden hier aktuell getätigt. Im Förderprogramm Intelligente Hafentechnologien (IHATEC) des BMDV werden entsprechende Zukunftstechnologien erforscht. Die Studie RAIN [21] beschäftigt sich gezielt mit den Handlungsoptionen für Binnenhäfen im Spannungsfeld des steigenden Automatisierungsgrades. Eine Roadmap, welche Investitionen oder Umsetzungen zu priorisieren sind, existiert zurzeit jedoch nicht. Zukünftige Investitionen zur Ertüchtigung von Hafeninfrastruktur sollten gezielt mit der Integration automatisierter An- und Ablegesysteme sowie digital vernetzter Umschlagstechnologien verknüpft werden, um sicherzustellen, dass der Umbau der Häfen bereits die Anforderungen der Automatisierung mitberücksichtigt.

Die Binnenhäfen spielen eine zentrale Rolle als Umschlagzentren und Gewerbestandorte. Hier kann vor allem eine Vernetzung von Schiffen, Häfen und weiteren Logistikketten eine große Rolle in einer transmodalen Logistikkette spielen. Der Zusammenschluss dreier Rheinhäfen im Projekt RheinPorts [22] entwickelt aktuell ein sogenanntes RiverPorts Planning and Information System (RPIS), mit dem genau diese Aufgabe der Vernetzung erfüllt werden soll. Erste Tests laufen in der Schweiz. Eine zeitnahe und umfangreiche Umsetzung solcher Systeme auch in Deutschland kann die Rolle der Binnenschifffahrt stark verbessern. Mit dem westdeutschen Kanalnetz und den zahlreichen Hafenstandorten und Terminals verfügt NRW über eine geeignete Infrastruktur. Aus diesen Gründen werden wir in Arbeitskreissitzungen folgendes erarbeiten:

- Einblicke in den aktuellen Stand der verschiedenen Systeme
- Mögliche Einsatzszenarios von AVM in der vernetzten Binnenschifffahrt
- Identifikation von Entwicklungslücken, die durch Forschung geschlossen werden sollten





- Möglichkeiten für die Unterstützung der flächendeckenden Harmonisierung und Etablierung des RPIS oder eines ähnlichen Systems in allen Rheinhäfen zur Verbesserung von Informationsaustausch und Prozesskoordination

Klare gesetzliche Rahmenbedingungen

Für die Entwicklung und den Betrieb von Systemen mit hohen Automatisierungsgraden sind klare rechtliche Rahmenbedingungen notwendig. Dies betrifft sowohl die Anbieter als auch Anwender dieser Systeme. Im Projekt SafeBin wurden deutsche und Europäische Regelwerke (v.a. CEVNI (*Code Européen des Voies de la Navigation Intérieure*) und BinSchStrO (Binnenschiffverkehrsstraßen-Ordnung)) untersucht. In 22 % der CEVNI Regeln und 17% der BinSchStrO wird der Shipmaster explizit als an Bord befindliche Person genannt [23]. Damit automatisierte Systeme einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Personalsituation in der Binnenschiffahrt leisten können, müssen diese relevanten Regelwerke also so angepasst werden, dass der Einsatz automatisierter Systeme zu einer Reduktion der Crew führen kann.

Die Regelwerke haben dabei einen starken Einfluss auf langfristige Entwicklungen bei den Herstellern solcher Systeme. Daher ist eine frühzeitige Rechtsklarheit wichtig, um keine Hemmnisse für die Einführung von Systemen zu bilden. Der Wunsch besteht nach einer kollaborativen Entwicklung des Gesetzeswerks unter Einbeziehung aller Beteiligten und Betroffenen.

Konkret sehen wir in innocam.NRW Arbeitskreistermine vor, um die notwendigen Informationen für alle Beteiligten zu sammeln und gebündelt darzustellen. Eingebunden werden Entwickler von Assistenzsystemen, Nutzer von Assistenzsystemen, Infrastrukturanbieter/Betreiber, regulierende Behörden und Forschungsvertreter. Das Ergebnis der Arbeitstermine ist ein Dokument mit folgenden Schwerpunkten:

- Aktueller Arbeitsstand in Forschung und Entwicklung,
- Klärungsbedarf an ein Regelwerk aus technischer Sicht,
- Aktuelle Einschränkungen in der Entwicklung durch fehlende Regelwerke,





- Informationsbedarf aus Sicht der regulierenden Behörden.

Ganzheitliche Betrachtung der Thematik inkl. sozialer und ökologischer Einflüsse autonomer Systeme

Bislang stehen die technischen Notwendigkeiten im Einsatz autonomer Systeme im Fokus vieler Entwicklungen. Weniger Beachtung haben soziale und ökologische Gesichtspunkte erhalten. Der Einfluss dieser Systeme in beiden Bereichen kann jedoch signifikant sein. Der Einsatz einer Vielzahl unbemannter Schiffe ggü. wenigen Großen kann z.B. die Ökologie entlang der Wasserstraßen beeinflussen. Unterschiedlicher Tiefgang und Wellenbildung sind hierbei die größten Einflussparameter. Aber auch Maschinenlärm und weitere Emissionscharakteristika könnten sich im Rahmen einer flächendeckenden Automatisierung in relevanter Weise ändern.

Im sozialen Bereich bedeutet insbesondere die Reduktion von Crewmitgliedern und eine Veränderung des Arbeitsbereichs der verbleibenden Mitglieder eine Veränderung des Arbeitsplatzes Binnenschiff. Dies kann weitreichende Chancen hinsichtlich individueller Qualifikation und Belastung haben, die bei der Umsetzung von Automatisierungsprojekten beachtet werden müssen.

In beiden Bereichen sind aktuell keine flächendeckend angelegten Studien bekannt. Um frühzeitig die erwarteten Herausforderungen angehen zu können, ist eine gezielte Herbeiführung von Forschungsergebnissen wünschenswert. Der Arbeitskreis Wasser wird sich hier durch die Zusammenstellung relevanter Informationen und ggfs. die Beauftragung von Studien einbringen, um eine Diskussion zu diesen Themen auf einer wissenschaftlichen Datenbasis zu ermöglichen.





Quellenverzeichnis

- [1] „Binnenschifffahrt | Landesbetrieb IT.NRW“. Zugriffen: 28. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.it.nrw/thema/binnenschifffahrt>
- [2] „Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern“, Statistisches Bundesamt. Zugriffen: 28. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html>
- [3] „Delivering the European Green Deal - European Commission“. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en
- [4] PCCG Point Conception Consulting GmbH (, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für Kommunikation und Navigation, Hochschule Bremen - Institut für Maritime Simulation, und ISL - Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik, „Internationale Umfeldanalyse zu Anwendungsfällen von Autonomen Maritimen Systemen (AMS)“, Hamburg, 22.06.2022.
- [5] „Beförderungsmengen nach Güterabteilungen und Verkehrsträgern in 1 000 Tonnen für Eisenbahn, Binnenschifffahrt, Seeverkehr und Straßenverkehr inländischer Lastkraftwagen“, Statistisches Bundesamt. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/verkehrstraeger-gueterabteilung-a.html>
- [6] ckadmin, „Güterschifffahrt“, BDB. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/gueterschifffahrt/>
- [7] „Güterumschlag der NRW-Binnenschifffahrt auch 2023 weiter rückläufig“. Zugriffen: 24. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.it.nrw/gueterumschlag-der-nrw-binnenschifffahrt-auch-2023-weiter-ruecklaeufig-126167>
- [8] ckadmin, „Lärm- und Umwelt“, BDB. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/laerm-und-umwelt/>
- [9] „Vorteile“. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.binnenschiff.eu/vorteile/>
- [10] Norbert Kriedel, Laure Roux, Lucie Fahrner, Sarah Meissner, und Bastien Cheville, „Jahresbericht 2024“, Zentralkommission Rheinschifffahrt, Strasbourg Cedex, Jahresbericht, Okt. 2024.
- [11] „Verzeichnis der Pilot- und Forschungsprojekte im Bereich Automatisierung in der Binnenschifffahrt“. Zugriffen: 11. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://automation.ccr-zkr.org/>
- [12] „AUTOFLEX Project | AUTOFLEX HEU | Horizon Europe“. Zugriffen: 28. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://autoflex-vessel.eu/>
- [13] „BMDV - Förderprogramm Digitale Testfelder Wasserstraßen“. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter:





- <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/foerderichtlinie-digitale-testfelder-bundeswasserstrassen.html>
- [14] „Home“, Seafar. Zugriffen: 11. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://seafar.eu/>
- [15] M. V. S. Import, „Der digitale Steuermann“, wissenschaft.de. Zugriffen: 11. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wissenschaft.de/technik-digitales/der-digitale-steuermann/>
- [16] Ph. Hagel und B. Suhr, „Technologieerprobung zur qualitativen Untersuchung von AIS Signalen“, gehalten auf der Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2015, Rostock, Deutschland, Sep. 2015. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/102853/>
- [17] M. Jarofka, F. Kracht, und D. Schramm, „Automatisiert und umweltfreundlich fahren zu Lande und auf dem Wasser: Forschungsstrategie für den Ausbau der Automatisierung innerhalb des straßengebundenen Verkehrs sowie der (Binnen)-Schifffahrt“, *Mobil. Transp. Im Wandel Strateg. Umsetzung*, S. 8–21, 2023, doi: 10.17185/dupublico/78091.
- [18] S. Svenja, „Schallemissionen in der Binnenschifffahrt“, S. 3,00 MB, 2021, doi: 10.5675/EXPNBMI2021.2021.01.
- [19] M. Balduzzi, A. Pasta, und K. Wilhoit, „A security evaluation of AIS automated identification system“, in *Proceedings of the 30th Annual Computer Security Applications Conference*, New Orleans Louisiana USA: ACM, Dez. 2014, S. 436–445. doi: 10.1145/2664243.2664257.
- [20] H. Ma, Y. Zuo, und T. Li, „Vessel Navigation Behavior Analysis and Multiple-Trajectory Prediction Model Based on AIS Data“, *J. Adv. Transp.*, Bd. 2022, S. 1–10, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/6622862.
- [21] „Schiff und Hafen im Wandel » DST – Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.“ Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dst-org.de/rain-kick-off/>
- [22] „Rheinports 2023 – Multi Port Community System“. Zugriffen: 13. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://rheinports.eu/>
- [23] M. S. K. Illuri, T. Kerkmann, und I. Bačkalov, *Master of autonomous inland vessel: Contradictio in adjecto?* 2023. doi: 10.13140/RG.2.2.32969.11366.

