



Binnenschifffahrt im Wandel – Rückgrat der Versorgung der energieintensiven Grundstoffindustrien

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU



Autorinnen und Autoren

Dr. Alexandra Göbel – DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Dr.-Ing. Sabrina Müller – DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Maximilian Much – DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Roland Frindik – MARLO Consultants GmbH

Disclaimer

Der Großteil der verwendeten Daten und Informationen wurde im Rahmen eines Unterauftrags von der MARLO Consultants GmbH erhoben und aufbereitet. Die darauf basierenden Inhalte und Analysen wurden sorgfältig geprüft. Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der von der MARLO Consultants GmbH bereitgestellten Informationen übernimmt der DECHEMA e.V. jedoch keine Gewähr.

Angesichts der dynamischen Entwicklung der Projektlandschaft können sich die dargestellten Transformationsprojekte jederzeit ändern. Eine eigenständige und zeitnahe Prüfung durch die Leserinnen und Leser wird daher ausdrücklich empfohlen.

Die Inhalte der Autorenpublikation wurden unabhängig vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt erstellt und spiegeln nicht zwangsläufig die Meinung des Ministeriums oder des gesamten Wasserstoff Leitprojekts wider.

TransHyDE – Systemanalyse

Das Teilprojekt Systemanalyse ist Bestandteil des Wasserstoff-Leitprojekts TransHyDE, in dessen Rahmen Technologien für eine zukünftige Wasserstoffinfrastruktur erforscht, weiterentwickelt und demonstriert werden. Gefördert wird das Vorhaben durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt und ist ein zentraler Baustein der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung.

Im Fokus des Projekts Systemanalyse steht die Modellierung von Wasserstoffinfrastruktursystemen. Die Entwicklungsperspektiven werden dabei durch zwei komplementäre Ansätze abgebildet: Zum einen erfolgt die Betrachtung auf Grundlage von Daten einzelner wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Akteurinnen und Akteure, zum anderen aus einer übergeordneten, volkswirtschaftlich-systemischen Perspektive.

Hintergrund der Studie

Die Binnenschifffahrt stellt einen zentralen Transportträger für energie- und rohstoffintensive Industrien dar. Sie ist für die Versorgungssicherheit von entscheidender Bedeutung und fungiert für einzelne Standorte als regelrechte Lebensader. Gleichzeitig ist die Binnenschifffahrt stärker als andere Verkehrsträger von Extremwetterereignissen und den Folgen des Klimawandels betroffen. Zu den wichtigsten transportierten Gütern zählen neben Kohle weitere fossile Energieträger und Erze. Im Zuge der industriellen Transformation hin zur Klimaneutralität sind tiefgreifende Veränderungen zu erwarten, die die Binnenschifffahrt unmittelbar beeinflussen werden. Um die bestehenden Verflechtungen sowie die zukünftige Rolle der Binnenschifffahrt für die Wasserstoffwirtschaft und die Industrie zu verdeutlichen, wurde von der MARLO Consultants GmbH im Rahmen eines Unterauftrags eine entsprechende Analyse erstellt.

Impressum

Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE

cruh21 GmbH

Erste Brunnenstraße 1
20459 Hamburg

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und
Geothermie IEG
Gulbener Straße 23
03046 Cottbus

Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion
Stiftstraße 34-36
45470 Mülheim an der Ruhr



ISBN 978-3-89746-252-6

© Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE, 11/2025.



Inhaltsverzeichnis



	Abbildungsverzeichnis	S. 4
1 	„Status-Quo“ der Binnenschifffahrt in Deutschland	S. 5
	1.1 Bedeutung der Binnenschifffahrt	S. 5
	1.2 Binnenschifffahrtsflotte	S. 6
	1.3 Binnenhäfen und wichtige Wasserstraßen	S. 6
	1.4 Kosten der Binnenschifffahrt	S. 8
	1.5 Umweltkosten/-einflüsse	S. 9
	1.6 Aktuelle Herausforderungen	S. 9
2 	Zukünftige Herausforderungen und Perspektiven der Binnenschifffahrt	S. 10
	2.1 Prognosen	S. 10
	2.2 Auswirkungen des Klimawandels	S. 11
	2.3 Maßnahmen	S. 11
	2.4 Zukünftige Flotte	S. 12
	2.5 Alternative Kraftstoffe	S. 12
	2.6 Wasserstoffbedarf in der Binnenschifffahrt	S. 12
	2.7 H ₂ -Integration an Binnenhäfen	S. 12
	2.8 Wasserstoff(-träger) und -derivate als Transportgut	S. 13
3 	Fazit	S. 17
4 	Anhang	S. 18





Abbildungsverzeichnis

1.1	Anteil der Verkehrsträger am Gütertransport. Die Angaben beziehen sich auf das Gewicht der transportierten Güter und stammen aus Daten des Statistischen Bundesamts (Destatis) von 2023.	6
1.2	Binnenhäfen in Deutschland und ihre Lage an den Wasserstraßen. Darstellung von MARLO Consultants GmbH (2024).	7
1.3	Aufkommen der Binnenschifffahrt nach Wasserstraßengebiet 2021-2022. Die Daten stammen vom statistischen Bundesamt (Destatis).	8
1.4	Transportkosten für Flüssig- bzw. Schüttgut per Binnenschiff im Jahr 2023. Berechnungen von MARLO Consultants GmbH basierend auf [5].	8
2.1	Analyse und prognostizierte Transportaufkommen und -leistung des Gütertransports in der Binnenschifffahrt für die Jahre 2019, 2030 und 2040. Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus [13].	11
2.2	Geplante Anschlüsse von Häfen an das H ₂ -Kernnetz.	11
2.3	Anteil der Technologien der Antriebsart in der Gesamtflotte der Binnenschifffahrt im Jahr 2040. Eigene Darstellung. Werte abgeleitet aus [16].	13
2.4	Geplante Netzanschlüsse der Binnenhäfen an das Wasserstoffkernnetz. Eigene Darstellung.	14



1

„Status-Quo“ der Binnenschifffahrt in Deutschland

1.1. Bedeutung der Binnenschifffahrt

Obwohl die Binnenschifffahrt im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern nur einen geringen Anteil am gesamten Güterverkehr aufweist, bildet sie einen zentralen Bestandteil des deutschen Verkehrssystems. Sie ist für den Transport bestimmter Massengüter unverzichtbar und leistet dank ihrer hohen Energieeffizienz sowie einer vergleichsweise geringen Umweltbelastung einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Gestaltung von Transportketten.

Die Analyse der Verteilung von Transportmengen auf verschiedene Verkehrsträger liefert aufschlussreiche Hinweise zu den Strukturen und Prioritäten des Güterverkehrs in Deutschland. Fragt man nach den dominierenden Transportträgern, wird die Binnenschifffahrt häufig nur nachrangig genannt, während Straße und Schiene klar im Vordergrund stehen. Diese Wahrnehmung deckt sich mit den empirischen Daten: Betrachtet man die insgesamt beförderte Tonnage¹ (vgl. Abbildung 1.1), dominiert der Straßengüterverkehr mit einem Anteil von über 80 %. An zweiter Stelle folgt der Schienengüterverkehr mit rund 10 %. Die Binnenschifffahrt und Rohrleitungen erreichen demgegenüber lediglich Anteile von etwa 5 % bzw. 2,4 % und stellen daher bezogen auf das insgesamt transportierte Gewicht die am wenigsten genutzten Transportvektoren in der hier betrachteten Gesamtschau dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Wasserstraßen und Pipelines, im Gegensatz zum Straßennetz, nicht flächendeckend verfügbar sind und daher überwiegend nur für Teilschnitte innerhalb logistischer Transportketten genutzt werden können.

Trotz ihrer Bedeutung für einzelne Industriezweige ist der

auf die Tonnage bezogene Anteil der Binnenschifffahrt am Gütertransport seit 2010 rückläufig (2010: 6,8 %, 2022: 5,0 %). Als Hauptursache hierfür gilt die zunehmende Verlagerung des Gütertransports auf die Straße. Parallel dazu hat auch die Tragfähigkeit der deutschen Binnenschiffflotte in einem vergleichbaren Umfang abgenommen und sich im genannten Zeitraum von knapp 3 Millionen Tonnen auf rund 2,4 Millionen Tonnen reduziert.

Den größten Anteil an den per Binnenschiff transportierten Gütern weisen hierbei Erze, Steine und Erden auf. An zweiter Stelle kommen Kokerei- und Mineralölzeugnisse, gefolgt von Kohle, Rohöl und Erdgas sowie chemischen Erzeugnissen. Diese Gütergruppen machen mehr als die Hälfte des gesamten Güteraufkommens in der Binnenschifffahrt aus. Sie bestehen überwiegend aus fossilen Massengütern sowie Grundstoffen mit hohem Transportgewicht. Den größten Anteil stellen Schüttgüter mit 58 %, gefolgt von Flüssiggütern mit 26 %. Der Containertransport auf Binnenschiffen macht zwar nur 10 % des gesamten Transportvolumens in Tonnen aus, stellt jedoch wertmäßig einen bedeutenden Markt dar. Im Vergleich zu Schütt- und Flüssiggütern werden hier Produkte mit deutlich höheren Warenwerten pro Tonne befördert.

Während die Binnenschifffahrt insbesondere auf den frei fließenden Flüssen ihre Kapazitätsgrenze noch nicht erreicht hat, sieht die Situation bei anderen Verkehrsträgern wie Straße und Schiene deutlich anders aus. Zwar existieren auch in der Binnenschifffahrt Engpässe, diese beschränken sich jedoch auf wenige Kanalabschnitte, in denen kein Begegnungsverkehr möglich ist, oder auf Schleusen mit längeren Wartezeiten infolge von

¹ Gesamttonnennzahl oder das Gewicht einer Ladung in Tonnen. In der Schifffahrt bezeichnet der Begriff nicht nur das Gewicht, sondern auch das Raummaß eines Schiffs, also die Tragfähigkeit oder Größe eines Schiffes.

Anteil der Verkehrsträger am Gütertransport nach Tonnage

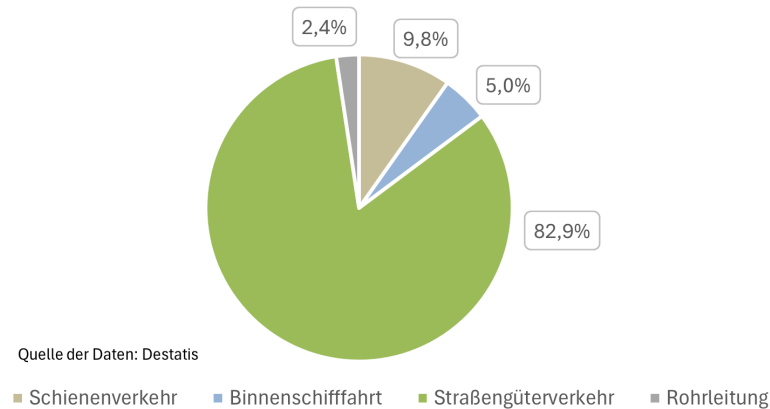


Abbildung 1.1. Anteil der Verkehrsträger am Gütertransport. Die Angaben beziehen sich auf das Gewicht der transportierten Güter und stammen aus Daten des Statistischen Bundesamts (Destatis) von 2023.

Baumaßnahmen. Die hohe Auslastung des Schienen- und Straßennetzes erschwert hingegen eine kurzfristige Verlagerung des Güterverkehrs von der Binnenschifffahrt auf andere Verkehrsträger und kann die Versorgungssicherheit einzelner Standorte erheblich beeinträchtigen. Absolut betrachtet fällt der Anteil der Binnenschifffahrt am gesamten Gütertransport im Vergleich zum Straßengüterverkehr zwar gering aus, dennoch besitzt sie insbesondere für die Grundstoffindustrien eine zentrale Bedeutung, da sie eine kostengünstige, effiziente und abgesehen von Niedrigwasserphasen verlässlich planbare Logistikooption darstellt. Aufgrund dieser Vorteile wird die Binnenschifffahrt von der Grundstoffindustrie überproportional genutzt. Sie sind auf die kontinuierliche Versorgung mit großen Mengen preisgünstiger Rohstoffe angewiesen und betreiben ihre Produktionsprozesse in der Regel ganzjährig ohne Unterbrechung, sodass eine zuverlässige und planbare Belieferung von entscheidender Relevanz ist. Damit bildet die Binnenschifffahrt einerseits einen wesentlichen Pfeiler für die Versorgungssicherheit dieser Branchen und fungiert andererseits als zentrales Bindeglied in der Logistikkette zwischen Hinterland und Seehäfen.

Dass die Flüsse regelrechte Lebensadern für einige Unternehmen sind, wurde durch die Auswirkungen des Niedrigwassers 2018 deutlich. Über längere Zeiträume im dritten und vierten Quartal lag der Wasserstand des Rheins deutlich unter dem Normalwert. Infolgedessen kam die Rohstoffversorgung per Schiff für den Chemiekonzern BASF nahezu zum Erliegen, was zu einem Ergebnismrückgang von etwa 250 Millionen Euro führte [1]. Als Reaktion setzt der Konzern unter anderem auf spezielle Niedrigwasserschiffe, die zwar eine geringere Ladekapazität aufweisen, aufgrund ihres reduzierten Tiefgangs jedoch auch bei niedrigen Pegelständen einsatzfähig bleiben [2]. Ähnliche Probleme traten im Jahr 2018 auch bei Shell, ArcelorMittal und ThyssenKrupp auf, die ihre Produktionsmengen infolge niedriger Pegelstände reduzieren mussten. Die Auswirkungen dieser Produktionsrückgänge waren unmittelbar für Verbraucherinnen und Verbraucher spürbar und äußerten sich unter anderem in zeitweiliger Treibstoffknappheit sowie deutlich erhöhten Kraftstoffpreisen an den Tankstellen [3].

1.2. Binnenschifffahrtsflotte

Bei neuen Schiffen wird seit einigen Jahrzehnten zunehmend auf größere Schiffe gesetzt, allerdings sind diese Neubeschaffungen fokussiert und daher selten, weshalb das Alter der deutschen Binnenschifffahrtsflotte stetig zunimmt. Hierbei ist zu beachten, dass größere Binnenschiffe nur entsprechend klassifizierte Wasserstraßen passieren können. Das bedeutet, dass Kanäle oder andere geringer klassifizierte, also schmalere und flachere Wasserstraßen, für größere Binnenschiffe nicht befahrbar sind. Sie sind häufig mit Brücken überbaut, die nur eine maximale Schiffshöhe zulassen. Größere Binnenschiffe haben außerdem einen tieferen Tiefgang, der mit der geringen Wassertiefe niedriger klassifizierter Wasserstraßen nicht vereinbar ist. Da viele Kanäle aber wichtige Ergänzungen zu den großen Wasserstraßen darstellen, können diese größeren Schiffe die kleineren also nicht vollständig ersetzen.

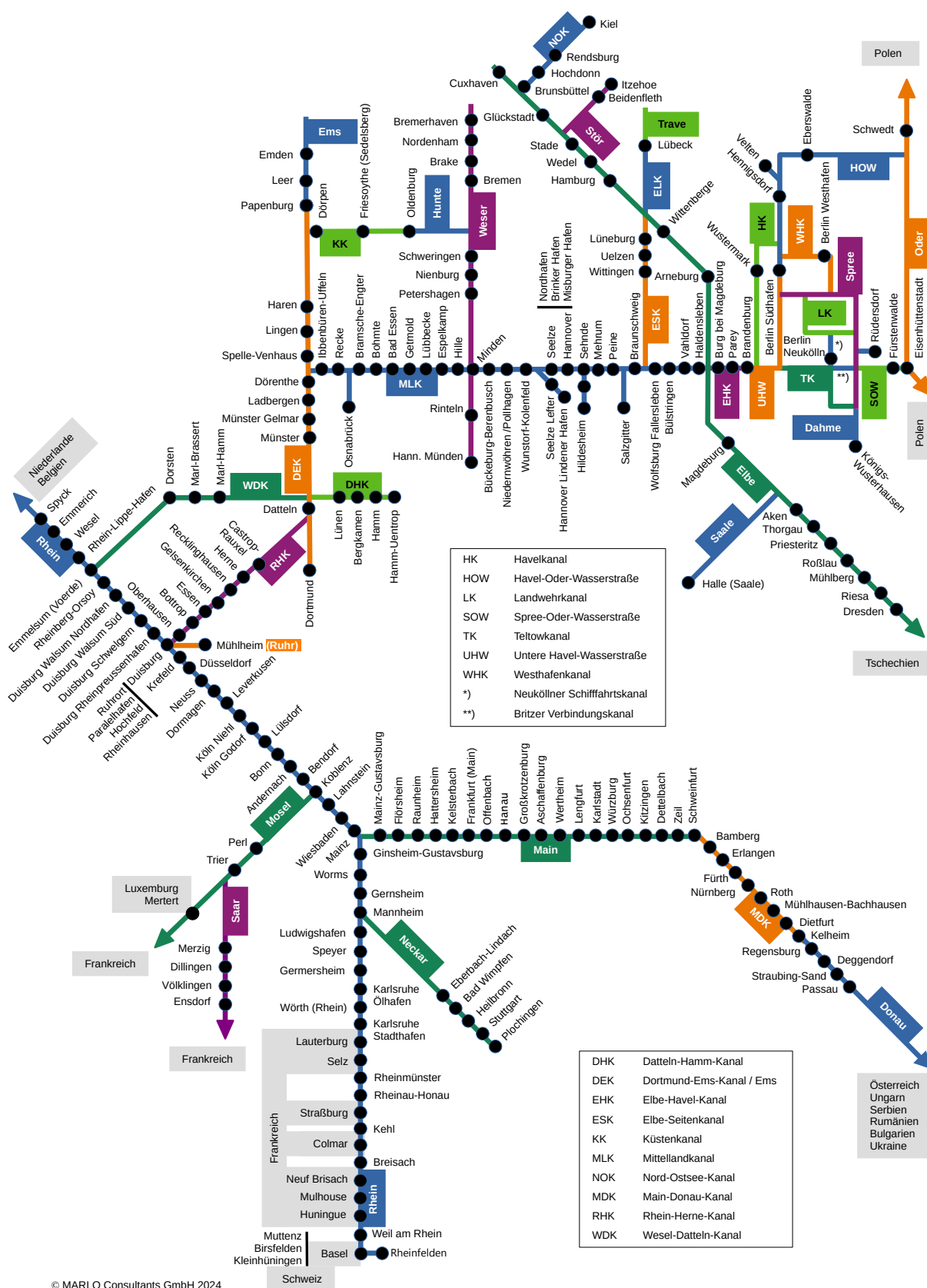
1.3. Binnenhäfen und wichtige Wasserstraßen

Deutschland verfügt über 223 Binnenhäfen an 51 Wasserstraßen und Kanälen. Hierbei liegen 56 der Binnenhäfen am Rhein, gefolgt vom Mittellandkanal und dem Main mit jeweils 25 bzw. 24 Binnenhäfen (Abbildung 1.2). Der Main mündet direkt in den Rhein, während der Mittellandkanal nur über den Dortmund-Ems-Kanal via Rhein-Herne- bzw. den Wesel-Datteln-Kanal mit Rhein und Main verbunden ist. Gibt es Beeinträchtigungen auf der wichtigsten deutschen Wasserstraße durch Hoch-, Niedrigwasser oder Havarien², sind häufig auch weitere Wasserstraßen durch die zentrale Position des Rheins im Binnenschifffahrtsnetz betroffen.

Auch im Hinblick auf die transportierte Menge an Gütern ist der Rhein dominierend. Das Gewicht der auf dem Rhein per Binnenschiff transportierten Güter ist mehr als doppelt so groß wie das aller anderen Häfen zusammengenommen (Abbildung 1.3). Das hohe Hafenaufkommen entlang des Rheins sowie die großen transportierten Tonnagen haben verschiedene Gründe. Einerseits befinden sich entlang des Rheins wichtige Industrieclus-

² Im Jahr 2011 kam es Anfang Januar zu einer Havarie eines Tankmotorschiffes, welches 96 %ige Schwefelsäure geladen hatte. Der Rhein war bis zum Abschluss der Bergungsmaßnahmen über einen Zeitraum von 32 Tagen für den Schiffsverkehr partiell oder vollständig gesperrt, so dass insbesondere oberhalb der Unfallstelle bis zu 450 Schiffe an einer weiteren Talfahrt gehindert waren [4].

Binnenhäfen in Deutschland Stand 04/2024



© MARLO Consultants GmbH 2024

Abbildung 1.2. Binnenhäfen in Deutschland und ihre Lage an den Wasserstraßen. Darstellung von MARLO Consultants GmbH (2024).

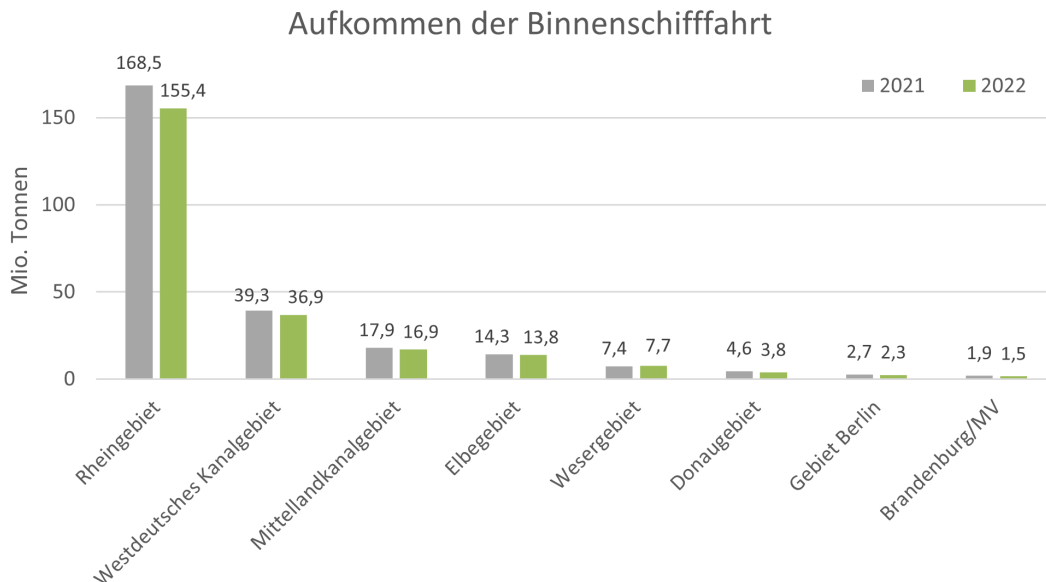


Abbildung 1.3. Aufkommen der Binnenschifffahrt nach Wasserstraßengebiet 2021-2022. Die Daten stammen vom statistischen Bundesamt (Destatis).

ter (Ruhrgebiet, Kölner Bucht, Oberrhein), wie stahlerzeugende Betriebe und Chemiewerke, welche die Haupttransportgüter der Binnenschifffahrt benötigen oder produzieren. Andererseits stellt der Rhein auch eine Anbindung zu den wichtigen Seehäfen Antwerpen, Rotterdam und Amsterdam dar, über die 90 Millionen Tonnen an Waren im Jahr 2022 für Deutschland per Binnenschiff ex- bzw. importiert werden. Hiervon ist Rotterdam mit 60 Millionen Tonnen Gütern der für Deutschland bedeutendste Hafen. Warenimporte nach Deutschland über diese Seehäfen übersteigen die Exporte um das Doppelte. Die Binnenschifffahrt bildet somit ein zentrales Bindeglied zwischen den Seehäfen und der logistischen Anbindung des Hinterlandes.

Betrachtet man das Gesamtgüteraufkommen ist der Hafen Duisburg mit Abstand der größte Binnenhafen Deutschlands. Duisburgs Güterumschlag auf das Binnenschiff ist etwa fünf Mal größer als derjenige des Hamburger Hafens. Die Dominanz des Hafens Duisburg liegt vor allem an der ansässigen Stahlindustrie, die sowohl Kohle und Erze hier anlandet als auch Stahlerzeugnisse und Abfallprodukte der Stahlproduktion per Binnenschiff abtransportiert. Die umgeschlagenen Güter, welche der Stahlindustrie zuzuordnen sind, machen insgesamt knapp 90 % des gewichtsbezogenen Gesamtgüteraufkommens des Hafens aus. Die restlichen Gütergruppen können zu einem großen Teil der umliegenden (petro-)chemischen Industrie zugeschrieben werden. Ein weiterer Grund ist der starke Containerumschlag am Duisburger Hafen, der mit Abstand der größte in Deutschland ist.

Ähnlich wie in Duisburg weisen auch viele andere Binnenhäfen eine Spezialisierung auf bestimmte Gütergruppen auf, die in der Regel eng mit den jeweils ansässigen Industrien verknüpft ist. So zählen im Bereich Kokerei- und Mineralölprodukte insbesondere die Binnenhäfen in Köln, Karlsruhe und Gelsenkirchen zu den führenden Standorten – Städte, in denen jeweils Raffinerien betrieben werden. Für chemische Erzeugnisse sind beispielsweise die Binnenhäfen in Ludwigshafen (Rhein), Köln, Krefeld, Marl, Duisburg, Frankfurt am Main, Dormagen, Hanau und Köln von Bedeutung, die allesamt zentrale Chemiestandorte sind.

Im Bereich mineralischer Erzeugnisse – etwa Glas, Zement und Gips – verzeichnet der Hafen Neuss mit großem Abstand das höchste Güteraufkommen. Daneben sind auch die Standorte Mainz und Mannheim hervorzuheben: In Mainz befinden sich

sowohl Zementproduktion als auch der Hauptsitz des Glasproduzenten Schott, während Neuss ebenso wie Mannheim über Produktionsstätten für Zement- und Gips verfügt.

1.4. Kosten der Binnenschifffahrt

Die Transportkosten per Binnenschiff variieren in Abhängigkeit vom Beladungsgrad sowie von der Art der transportierten Güter (Schüttgut, Container, Flüssiggut). Bei Beladungen über 1.000 Tonnen für Flüssig- bzw. Schüttgut auf Kanalschiffen sind die Kosten deutlich geringer und belaufen sich in der Regel auf wenige Cent pro Tonnenkilometer. Die Kosten für Leerfahrten belaufen sich auf 12,77 Euro pro Kilometer für Flüssiggut und auf 8,52 Euro pro Kilometer für Schüttgut. Der Kostenverlauf in Abhängigkeit der Ladungskapazität für Flüssig- und Schüttgut sind in Abbildung 1.4 dargestellt.

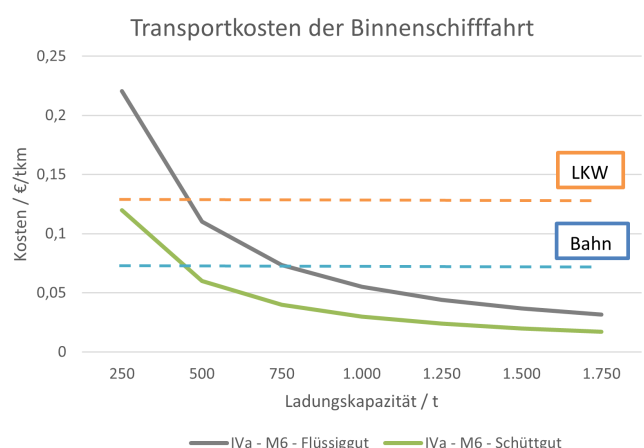


Abbildung 1.4. Transportkosten für Flüssig- bzw. Schüttgut per Binnenschiff im Jahr 2023. Berechnungen von MARLO Consultants GmbH basierend auf [5].

Die Transportkosten für Schüttgutschiffe sind deutlich niedriger als für Binnenschiffe, die für den Transport von Flüssiggütern ausgelegt sind. Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern sind die Kosten pro Tonnenkilometer für die Binnenschifffahrt bedeutend geringer als für andere Transportoptionen: Binnenschiff 2 Cent/tkm, Bahn 7 Cent/tkm, LKW 13 Cent/tkm [5]. Für Schütt-

gut mit Ladungsmengen unter 500 Tonnen ist der Transport per Schiene eine ökonomischere Option, während selbst für kleine Ladungsmengen der Transport per LKW in der Regel teurer ist. Für Flüssiggut wird Kostenparität mit dem Straßentransport bei Ladungen von etwa 500 Tonnen erreicht, während der Schienentransport bei Ladungen bis zu 750 Tonnen die kostengünstigere Option ist. Kleinere Gütermengen lassen sich generell also per Binnenschiff nur eingeschränkt wirtschaftlich befördern.

Hieraus ergibt sich die ausgeprägte Affinität der Grundstoffindustrien zur Nutzung der Binnenschifffahrt: Diese Branchen sind auf große Mengen kostengünstiger Rohstoffe und Güter angewiesen und erreichen dabei Transportvolumina, die oberhalb der genannten ökonomischen Break-even-Punkte im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern liegen.

Im Fall der Binnenschifffahrt werden allerdings auch die versteckten Kosten des Klimawandels deutlich sichtbar: Bei Niedrigwasser ist es erforderlich, die Beladung zu reduzieren, um den Tiefgang der Schiffe zu verringern. Dies führt unmittelbar zu steigenden Transportkosten bis hin zur Unwirtschaftlichkeit des Betriebes des Binnenschiffes.

Liegen günstige Wasserpegel auf freifließenden Wasserstraßen vor, haben große Schiffe deutliche Kostenvorteile gegenüber kleineren, da die anteiligen Fixkosten je Tonne transportierter Ladung geringer sind³. Hierin liegt auch der Grund für den Trend, dass neue Binnenschiffe über die letzten Jahrzehnte zunehmend größer gebaut wurden. Anders verhält es sich bei Niedrigwassersituationen. Hier weisen kleinere Schiffstypen mit geringeren Ladekapazitäten deutlich niedrigere Fixkosten auf als wenig ausgelastete große Schiffe. Auch bei Hochwasser steigen die Transportkosten, da die Binnenschiffe aufgrund des höheren Antriebsbedarfs größere Betriebskosten aufweisen. Zudem können einige Wasserstraßen bei Hochwasser auch unpassierbar werden. Dies betrifft insbesondere Passagen mit niedrigeren Brücken, die durch die erhöhten Wasserpegel nicht mehr die erforderliche Durchfahrtshöhe für größere Schiffe aufweisen.

Die Investitionskosten für ein kleines Binnenschiff belaufen sich auf 3 bis 4 Millionen Euro. Größere Binnenschiffe mit einer Länge von 110 m oder mehr bewegen sich in einem Preisrahmen von 5 bis 7 Millionen Euro. Tankschiffe für den Transport chemischer Produkte kosten bei Anschaffung 6 bis 8 Millionen Euro aufgrund höherer sicherheitstechnischer Anforderungen. Nach 60 bis 70 Jahren hat ein Binnenschiff normalerweise einen Großteil seines Werts verloren, verfügt aber immerhin noch über einen Restwert von ca. 250.000 bis 350.000 Euro [6].

1.5. Umweltkosten/-einflüsse

Bedingt durch die Folgen des Klimawandels kam es in den letzten Jahren vermehrt zu Extremwetterlagen. Hier war die Binnenschifffahrt besonders hart betroffen, da bedingt durch Niedrig- oder auch Hochwasser einige Wasserstraßen über längere Phasen nicht mehr schiffbar waren. Niedrigwasser tritt bei den freifließenden Flüssen wiederkehrend in der regenarmen Sommerperiode oder auch im Winter bei Bindung des Niederschlages in Form von Schnee auf. Maßgebend für die Schifffahrt ist, inwiefern das Niedrigwasser ein Niveau erreicht, bei dem die volle Abladetiefe, die bei gleichmäßigem Wasserstand möglich ist, nicht mehr gegeben ist. In Folge muss die Beladung reduziert

werden bis zu einem extrem niedrigen Wasserstand, bei dem eine sichere Navigation (insbes. Grundberührung) nicht mehr gegeben ist. Bei längerem Niedrigwasser von mehreren Wochen hat dies Auswirkungen auf den Verloader bzw. Empfänger in Form von Kostenerhöhungen durch Kleinwasserzuschlag und Lieferengpässen.

Betrachtet man die Emissionen, die beim Güterverkehr entstehen, weist der Gütertransport per Binnenschiff einen deutlich niedrigeren CO₂-Fußabdruck auf als der Transport per LKW. Mit 121 g CO₂/tkm ist der Straßentransport via LKW fast 3 mal CO₂-intensiver als die Binnenschifffahrt mit 36 g CO₂/tkm. Bezieht man die gesamten Umweltkosten ein⁴, ergeben sich für einen THG-Kostensatz von 195 €/t CO₂-Äqu. für das Jahr 2020 [7] Werte für Umweltkosten von Binnenschiffen von etwa 0,02 €/tkm. Diese liegen zwischen denen eines LKW (Trailer 28-40 t, Umweltkosten 0,03 €/tkm) und denen eines Güterzugs mit 0,01 €/tkm [7].

1.6. Aktuelle Herausforderungen

Die Binnenschifffahrt steht derzeit vor einer Reihe erheblicher Herausforderungen. Zum einen sind zahlreiche Kanäle und Schleusen, die insbesondere für die chemische Industrie von zentraler Bedeutung sind, dringend sanierungsbedürftig. Werden diese Infrastrukturen nicht rechtzeitig instandgesetzt, drohen gravierende Folgen bis hin zur Gefährdung der Versorgungssicherheit ganzer Standorte.

Zudem leidet auch die Binnenschifffahrt unter dem Fachkräftemangel: Sowohl das Durchschnittsalter der Flotte als auch das der Beschäftigten steigt kontinuierlich an. Ein weiterer Risikofaktor ergibt sich aus dem seit Jahrzehnten anhaltenden Trend zu immer größeren Schiffen. Setzt sich diese Entwicklung fort, ist künftig mit Engpässen bei kleineren, kanalgängigen Binnenschiffen zu rechnen.

Erschwerend kommt hinzu, dass Investitionsentscheidungen durch den bevorstehenden Ausstieg aus fossilen Energieträgern erheblich belastet werden. Die Binnenschifffahrt ist hiervon überproportional betroffen, da ein Großteil ihrer Transportleistungen auf fossile Güter entfällt. Zwar wird im Zuge der industriellen Transformation die Bedeutung anderer Güter wie Biomasse oder Polymerabfälle zunehmen, jedoch ist bislang ungewiss, ob diese die wegfallenden Mengen – etwa durch den Rückgang der Kohletransporte – vollständig kompensieren können.

³ Die verfügbare Wassertiefe und die hydrodynamischen Eigenschaften der Binnenschiffe bestimmen über die Abladetiefe die maximale Zuladung des Schiffes und damit die Auslastung und den Leistungsbedarf sowie die Geschwindigkeit und damit die Umlaufzeit und die spezifischen Kosten [€/t] des Schiffstransportes.

⁴ Betrieb: Treibhausgase, Luftschadstoffe Auspuff, Luftschadstoffe Abrieb; Vorprozesse: Infrastruktur und Fahrzeuge, Energiebereitstellung; Flächenverbrauch und Zerschneidung; (für mehr Details s. [7])

2

Zukünftige Herausforderungen und Perspektiven der Binnenschifffahrt

Angesichts von prognostizierten Rückgängen des Gütertransportaufkommens und der -leistung steht die Binnenschifffahrt vor Herausforderungen hinsichtlich der Umsetzung sowie vor ökonomischen und ökologischen Interessenkonflikten bezüglich des Ausbaus von Kanälen und Flüssen, der Sanierung von Schleusen, der allgemeinen Erhaltung der Infrastruktur oder dem Einhalten von Klimaschutzziele in der Emissionsminderung von Binnenschiffen. Der Binnenschifftransport steht in erheblicher Konkurrenz zum Straßen- und Schienentransport. Jedoch ist die Verkehrspolitik gewillt, die Verlagerung von erheblichen Teilen des Gütertransports auf die Wasserstraße voranzutreiben [8]. Die Möglichkeiten dazu sind aufgrund der nicht optimal ausgebauten Infrastruktur leider begrenzt. Lediglich der Rhein und seine Nebenflüsse befinden sich in einem nach gängigen Standards ausgebauten Zustand, welcher einen international bedeutenden Transport mit großen Binnenschiffen erlaubt. Auf diesen Strecken dominiert die Wasserstraße sowohl den Straßen- als auch den Schienentransport im intermodalen Wettbewerb. Die anderen Wasserstraßennetze besitzen leider nicht die für große Schiffe und Lasten notwendige Fahrrinnentiefe. Dadurch wird die Ladekapazität und somit die Wirtschaftlichkeit der Binnenschiffe auf diesen Strecken beschränkt (s. hierzu auch Kosten der Binnenschifffahrt) [9].

2.1. Prognosen

Das Bundesministerium für Verkehr erstellt mittel- und langfristige Verkehrsprognosen, welche als Grundlage für die Bundesverkehrswegeplanung dienen [10–12]. Hierbei wird unter

anderem auch der zukünftige Güterverkehr auf Wasserstraßen untersucht.

Zurzeit wird an der längerfristigen Verkehrsprognose 2040 für die Wasserstraßen gearbeitet⁵ [11, 13]. Einige erste Ergebnisse wurden bereits in der Basisprognose 2040 veröffentlicht [13]. Die Voraussage der Basisprognose 2040 sagt einen Rückgang des Transportaufkommens der Binnenschifffahrt von 15,9 % gegenüber der Analyse von 2019 voraus. Auch die Transportleistung weist mit einem vorhergesagten Minus von 6,6 % einen Rückgang gegenüber dem Jahr 2019 auf. Als maßgebliche Gründe für diese rückläufige Entwicklung werden insbesondere die Rahmenbedingungen der Energie- und Klimapolitik angeführt. Diese fördern den bereits erwähnten Ausstieg aus energetischen und stofflichen Energieträgern auf fossiler Basis, was vor allem klassische Massengüter wie Kohle, Eisenerz, Rohöl und Mineralölprodukte betrifft. Gleichzeitig eröffnen sich neue Transportpotenziale für klimafreundlichere Energieträger wie Wasserstoff oder Biomasse, deren konkrete Ausgestaltung jedoch noch mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist.

Der Übergang von den rückläufigen traditionellen Massengütern hin zu neuen Produktgruppen stellt daher eine zentrale wirtschaftliche Herausforderung der Binnenschifffahrt dar: Einerseits gilt es, den Rückgang der bisherigen Transportaufkommen auszugleichen, andererseits müssen Investitionen getätigt und neue Gütermärkte erschlossen werden. Dazu könnte der Import von Ersatzstoffen wie Eisenschwamm anstelle klassischer Eisenerzprodukte sowie die Erschließung neuer Bezugsquellen für ehemalige Kraftwerksnebenprodukte zählen. Hinzu könnte auch ein steigendes Transportaufkommen von Biomasse kommen, sei es zur energetischen Verwendung oder zur Herstellung von Bio-

⁵ Die Prognose für den Verkehr auf der Wasserstraße wird im Fachteil 5 der Verkehrsprognose 2040 erarbeitet.

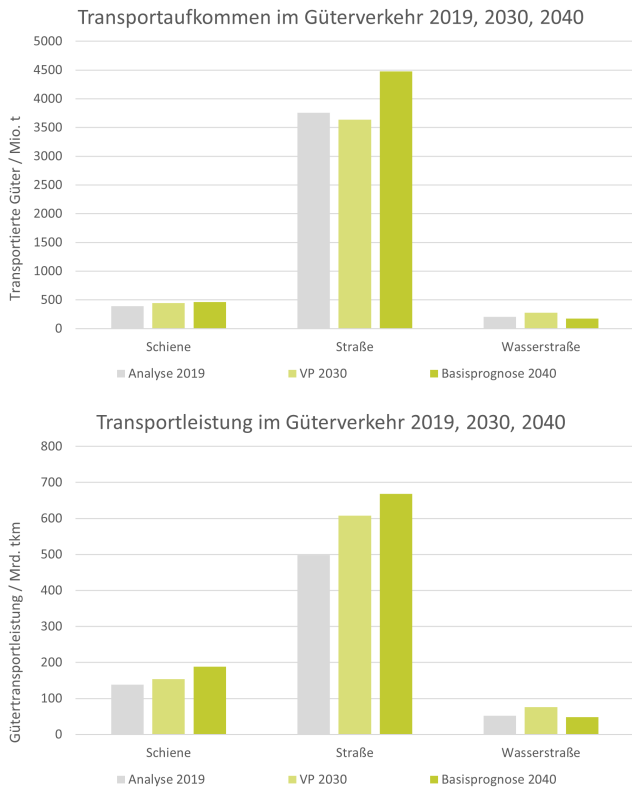


Abbildung 2.1. Analyse und prognostizierte Transportaufkommen und -leistung des Güterverkehrs in der Binnenschifffahrt für die Jahre 2019, 2030 und 2040. Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus [13].

methanol. Auch das Recycling könnte an Bedeutung gewinnen, da Menge und Vielfalt der zu transportierenden Materialien kontinuierlich zunehmen. Eine wichtige Rolle werden darüber hinaus Treibstoffe aus erneuerbaren Energieressourcen spielen. Die Bedeutung, die der Binnenschifffahrt für den zukünftigen Wasserstofftransport zukommt, wird durch die Anzahl der Binnenhäfen deutlich, die am aktuell geplanten H₂-Kernnetz liegen (Abbildung 2.2).

Geplante Anschlüsse von Häfen an das H₂-Kernnetz

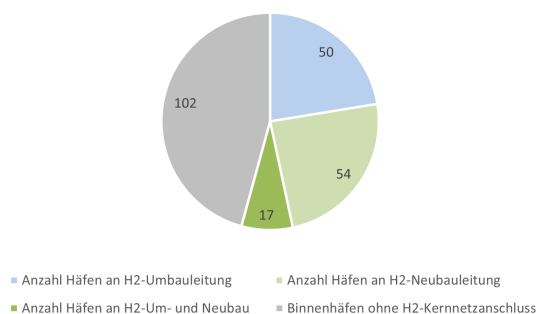


Abbildung 2.2. Geplante Anschlüsse von Häfen an das H₂-Kernnetz.

Von den 223 deutschen Binnenhäfen sind über die Hälfte geographisch an dem neu entstehenden Pipelinesnetz gelegen. Neben Wasserstoff in Reinform rücken dabei zunehmend auch H₂-Derivate in den Fokus. Diese Entwicklung könnte durch Wachstumspotenziale im südosteuropäischen Raum sowie durch eine steigende Bedeutung des Containerverkehrs noch zusätzlich verstärkt werden.

2.2. Auswirkungen des Klimawandels

Extremwetterereignisse wie Starkregen oder Dürreperioden üben maßgeblichen Einfluss auf die Befahrbarkeit von Wasserstraßen aus. Die zunehmende Dauer von Niedrigwasserperioden gefährdet Logistikketten und kann langfristig Standortverlagerungen nach sich ziehen. Von dieser Entwicklung sind nicht nur Massengüter betroffen, sondern auch Güterarten mit geringerem Gesamtaufkommen, darunter insbesondere volumenintensive oder besonders schwere Transporte.

Derzeitige Prognosen sagen für die wirtschaftlichen Auswirkungen der erwartungsgemäß öfter auftretenden Extremwasserstände⁶ eine Zunahme der durchschnittlichen Stückkosten voraus. Die bereits bestehenden Tendenzen zu intensiveren Winterregen und daraus resultierendem Hochwasser verstärken sich in einigen Flussgebieten weiter. Abschnitte, die schon heute regelmäßig von winterlichen Hochwasserereignissen betroffen sind, müssen künftig mit einer erhöhten Hochwassergefährdung rechnen. Im Extremfall kann dies sogar zu Sperrungen der Wasserstraßen führen.

Im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS wurden umfangreiche Simulationen zu den Abflüssen und Niedrigwasserwahrscheinlichkeiten beispielhaft an drei ausgewählten deutschen Flüssen durchgeführt [14]. Während für die nahe Zukunft bis 2050 keine gravierenden Veränderungen im Abflussregime zu erwarten sind, zeichnet sich ab der zweiten Hälfte des Jahrhunderts eine deutliche Zunahme von Niedrigwasserereignissen im Sommerhalbjahr sowie von Hochwasserereignissen im Winterhalbjahr ab. Die Gesamtzahl der Tage und die Dauer der Phasen oberhalb des Hochwasserschwellenwerts bleiben trotz dieses Anstiegs deutlich hinter den Werten der Unterschreitungstage des Niedrigwasserschwellenwerts zurück. Niedrigwassersituationen sind und bleiben damit für die Binnenschifffahrt und die Verloader relevanter als Hochwasserereignisse.

Die Prognosen der Binnenschifffahrt der KLIWAS-Studie am Beispiel Rotterdam – Oberrhein, Fahrtrichtung zu Berg, weisen auf sinkende Transportkapazitäten hin, die mit im Mittel niedrigeren Wasserständen und steigenden Stückkosten korrelieren. Die Prognosen wurden für zwei Zeiträume (2021-2050 und 2071-2100) sowohl für ein optimistisches als auch für ein pessimistisches Abflussszenario unter Annahme dreier unterschiedlicher Schiffsflotten berechnet. Wohingegen im optimistischen Szenario bis 2050 ein positiver Trend der Transportkapazität gemäß des prognostizierten höheren Güteraufkommens auf dem Rhein vorhergesagt wird, ist im pessimistischen Szenario hier bereits ein Abwärtstrend zu erkennen. In beiden Szenarien und für alle betrachteten Flotten zeigte sich in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ein Rückgang der Transportkapazitäten [15]. Auf lange Sicht ist somit mit einer Verkleinerung der Transportkapazität auf deutschen Wasserstraßen durch den Einfluss des Klimawandels zu rechnen.

2.3. Maßnahmen

Den negativen Zukunftsszenarien kann grundsätzlich durch Anpassungsmaßnahmen entgegengewirkt werden, beispielsweise mit innovativer Schiffstechnik, wasserbaulichen Maßnahmen, optimierter Navigation und Schiffsbetrieb, veränderter Flottenstruktur oder Unternehmenslogistik. Eine detaillierte Auflistung möglicher Maßnahmen sind im Anhang zusammengestellt. Entsprechende Maßnahmen gehen mit erhöhten Kosten einher.

⁶ Hoch- und Niedrigwasserereignisse.

Eine entsprechende Zahlungsbereitschaft ist nur in ausgewählten Märkten vorhanden, in denen die Schifffahrt eine besonders große Bedeutung hat, wie beispielsweise in der chemischen Industrie, die entlang des Rheins angesiedelt ist. In solchen Fällen kann die Industrie durch eigene Initiativen zur Schiffsentwicklung Impulse für den Markt setzen, auch wenn die originäre Verantwortung hierfür bei den Reedern liegt.

2.4. Zukünftige Flotte

Ein besonderer Bedarf an konstruktiv optimierten Schiffen, die auch bei niedrigen Wasserständen betrieben werden können, zeigt sich vor allem auf einigen Flussabschnitten am Mittel- und Oberrhein sowie bei Transporten von chemischen Erzeugnissen, Mineralöl, Erzen und Containern. Für das Jahr 2030 wird dort ein Bedarf von 280 konstruktiv optimierten Binnenschiffen größer als 100 m Länge mit einer Tragfähigkeit von mindestens 2.000 Tonnen prognostiziert [6].

Die Entwicklung konstruktiv optimierter Schiffe erweist sich jedoch nur dann als sinnvoll, wenn Niedrigwasserstände künftig häufiger auftreten. Zwar ist der Klimawandel bereits spürbar, doch das Ausmaß seiner Auswirkungen auf die Wasserstände wird in der KLIWAS-Studie nur als mäßig und erst ab der zweiten Hälfte des Jahrhunderts als ausgeprägt beschrieben [14]. Viele Marktteilnehmer betrachten extreme Niedrigwasserereignisse wie im Jahr 2018 nach wie vor als Ausnahmesituation, die keine grundlegende oder nur eine begrenzte Umstellung der Logistik rechtfertigt. Niedrigwasserschiffe weisen generell höhere Transportkosten auf (s. hierzu Kosten der Binnenschifffahrt), eine derartige Anschaffung ist also eine Abwägung zwischen den hypothetischen Ausfällen durch Extremwetterereignisse und den seit dem Umstieg auf diese Schiffstypen dauerhaft erhöhten Kosten. Hinzu kommt eine deutliche Zurückhaltung der Reeder bei Investitionen in speziell angepasste Schiffe. Gründe hierfür sind die hohen zusätzlichen Kosten, die Unsicherheit über die Zukunftsfähigkeit einzelner Branchen (z. B. fossile Energieträger) sowie die Möglichkeit, Güter durch vorhandene Pufferbestände abzusichern. Daher geht der Trend entgegen den Erwartungen zu immer größeren, bei regulären Pegelständen wirtschaftlicheren Binnenschiffen. Das Kanalnetz ist von Niedrigwasserphasen unabhängig und stellt daher kein potenzielles Einsatzgebiet für konstruktiv optimierte Binnenschiffe dar, kann aber bei längeren, jedoch zunehmend selteneren Frostperioden durch Eis unbefahrbar werden.

2.5. Alternative Kraftstoffe

Die Energiewende stellt die Binnenschifffahrt vor eine existenzielle Herausforderung. Die langfristige politische Unterstützung für die Weiterentwicklung der Binnenschifffahrt wird entscheidend davon abhängen, ob die Branche den Übergang zu klimaneutralen Antrieben aktiv vorantreibt [16]. Derzeit setzt die Binnenschifffahrtsflotte nahezu ausschließlich auf Diesel als Energieträger. Im Zuge der klimapolitischen Entwicklungen gibt es jedoch Bestrebungen, verstärkt e-Fuels und andere CO₂-ärmere Treibstoffe einzusetzen. Zahlreiche Schiffe werden aktuell bereits für die Nutzung von LNG umgerüstet. Im konservativen Übergangsszenario der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) wird künftig mehr als 25 % der Flotte mit e-Fuels betrieben (vgl. Abbildung 2.3) [16]. Dennoch werden im Jahr 2040 sowohl im konservativen als auch im innovativen Szenario

noch rund 50 % der Schiffe mit Diesel fahren. Zwar unterliegt auch dieser Kraftstoff bei einer Betankung in Deutschland der CO₂-Bepreisung, bleibt jedoch weiterhin von der Energiesteuer befreit [13].

Im konservativen Szenario werden diejenigen alternativen Kraftstoffe und Technologien in Betracht gezogen, die vergleichsweise einfach, schnell und kosteneffizient umgesetzt werden können. Hierunter fallen beispielsweise fortschrittlicher Biodiesel oder flüssiges Biomethan (LBM), die in konventionellen Motoren verbrannt werden können. Diese Technologien weisen einen hohen TRL⁷ auf und haben sich auf dem Markt etabliert [16].

Im innovativen Übergangsszenario werden Technologien, die sich derzeit noch auf einem geringen TRL befinden und vergleichsweise teuer sind, verstärkt Einsatz finden. Hierunter fallen batterieelektrische und wasserstoffbetriebene Antriebsarten, die lokal emissionsfrei sind. Es wird davon ausgegangen, dass sie sich in den kommenden Jahren weiterentwickeln und zum Jahr 2040 ausgereift und dann auch über die gesamte Wertschöpfungskette klimaneutral sein werden. Nicht alle Schiffstypen sind für batterieelektrische Antriebe geeignet. Für die Flottenfamilie der großen Schubschiffe mit über 2.000 kW Leistung könnten Batterien weniger geeignet sein, da Volumen und Gewicht erhebliche Nachteile für Schiff und Betrieb mit sich bringen würden [16].

2.6. Wasserstoffbedarf in der Binnenschifffahrt

Der Wasserstoffbedarf in der Binnenschifffahrt wird in den kommenden Jahren deutlich ansteigen. Er rückt zunehmend in den Fokus als alternativer Energieträger für Schiffe, die bislang überwiegend mit Diesel betrieben werden. Treiber sind sowohl ambitionierte politische Vorgaben zur Emissionsreduktion als auch zahlreiche Pilotprojekte, die den praktischen Einsatz von Brennstoffzellen- und Wasserstoffspeicherlösungen erproben. Neben Umbauten bestehender Schiffe entstehen auch erste Neubauten, die von Beginn an für den Wasserstoffbetrieb ausgelegt sind. Eine Zusammenstellung ausgewählter Pilotprojekte und Neubauten findet sich im Kapitel 4.

Eine im Auftrag des Deutschen Maritimen Zentrums erstellte Studie hat den potenziellen Wasserstoffbedarf in der Schifffahrt untersucht. Für die Binnen- und Küstenschifffahrt wird ein jährlicher Verbrauch zwischen 1 und 3,8 TWh beziehungsweise 30.000 bis 115.000 Tonnen Wasserstoff bis zum Jahr 2045 erwartet. Die große Bandbreite der Prognosen ergibt sich aus den derzeit noch offenen Fragen, in welchem Umfang sich batterieelektrische gegenüber wasserstoffbasierten Antrieben durchsetzen werden [17].

Die zentrale Herausforderung besteht darin, den wachsenden Wasserstoffbedarf mit einer zuverlässigen Versorgung und geeigneter Infrastruktur zu decken. Dazu gehören insbesondere die Entwicklung von Hafenstandorten mit Bunkerstationen, die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff in ausreichender Menge sowie die Schaffung einheitlicher Sicherheits- und Zulassungsstandards.

2.7. H₂-Integration an Binnenhäfen

Von den 223 Binnenhäfen in Deutschland liegen 121 in unmittelbarer Nähe zum vorgeschlagenen H₂-Kernnetz (FNB-Gas Pla-

⁷ Technology Readiness Level.

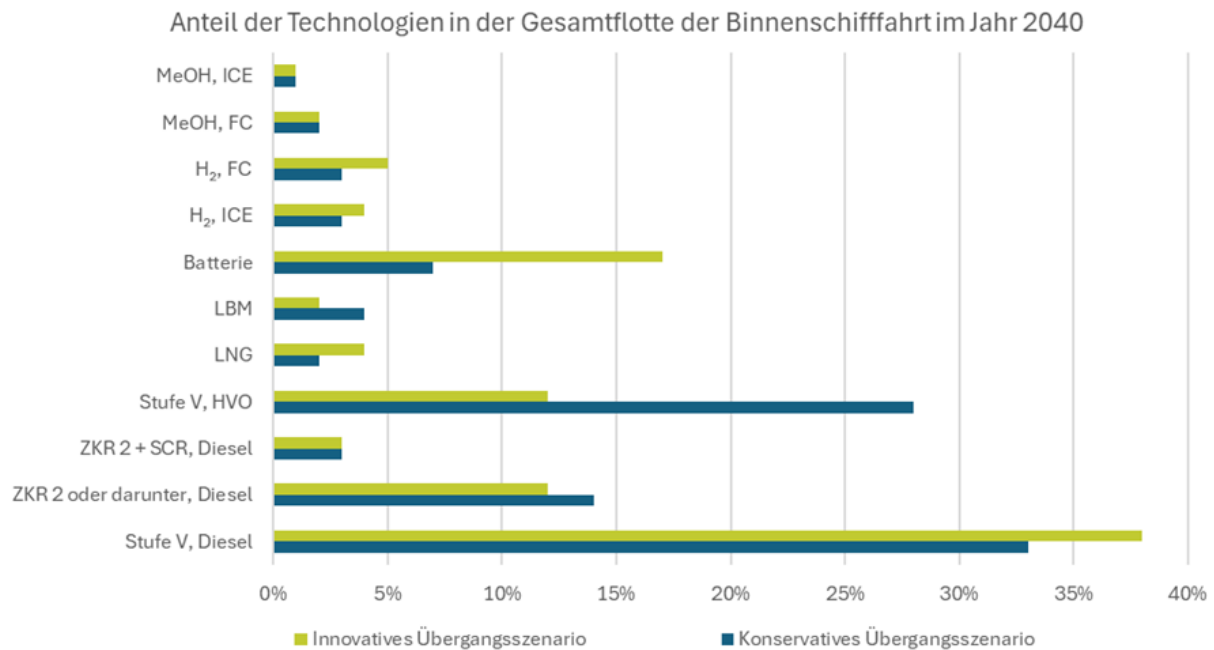


Abbildung 2.3. Anteil der Technologien der Antriebsart in der Gesamtflotte der Binnenschifffahrt im Jahr 2040. Eigene Darstellung. Werte abgeleitet aus [16].

Antriebsart mit Beschreibung

MeOH, ICE	Methanol in Verbrennungsmotoren
MeOH, FC	Methanol in Brennstoffzellen
H ₂ , FC	Wasserstoff als Flüssigkeit oder Gas gespeichert in Brennstoffzellen
H ₂ , ICE	Wasserstoff als Flüssigkeit oder Gas gespeichert in Verbrennungsmotoren
Batterie	Batterieelektrische Antriebssysteme, Batteriesystem fest eingebaut oder austauschbar
LBM	Verflüssigtes Biomethan (oder Bio-LNG) in Verbrennungsmotor (Emissionsgrenzwerte der EU-Stufe V sind erfüllt)
LNG	Verflüssigtes Erdgas in Verbrennungsmotor (Emissionsgrenzwerte der EU-Stufe V sind erfüllt)
Stufe V, HVO	Hydriertes Pflanzenöl (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO ⁸) in Verbrennungsmotor (Emissionsgrenzwerte der EU-Stufe V sind erfüllt)
ZKR 2 + SCR, Diesel	Fossiler Diesel in Verbrennungsmotor (Emissionsgrenzwerte nach ZKR 2 sind erfüllt, zusätzlich mit selektiven katalytischen Reduktionssystem ausgestattet)
ZKR 2 oder darunter, Diesel	Fossiler Diesel in Verbrennungsmotor (Emissionsgrenzwerte nach ZKR 2 sind erfüllt) oder in älterem Motor
Stufe V, Diesel	Fossiler Diesel in Verbrennungsmotor (Emissionsgrenzwerte der EU-Stufe V sind erfüllt)

nungsstand 12.07.2023) (siehe Abbildung 2.4). Dabei werden 54 Binnenhäfen mit Neubauleitungen berücksichtigt, 50 Häfen sollen mit umgebauten Erdgasleitungen an das H₂-Kernnetz angeschlossen werden und weitere 17 Häfen sollen demnach mit Neu- sowie Umbau Leitungen ausgestattet werden. Die Anteile geplanter Anschlüsse an den Binnenhäfen Deutschlands sind in Abbildung 2.2 dargestellt.

Leitungsneubauten sind vermehrt in den neuen Bundesländern zu verzeichnen. Die alten Bundesländer profitieren von einem in wasserstraßennähe befindlichen Erdgasnetz, welches zum Teil für eine Umrüstung vorgesehen ist. Große Hotspots für Um- und Neubauten scheinen die Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg, die industrie-

intensive Rhein-Ruhr-Region sowie die Mittelrheinregion um Ludwigshafen zu sein (s. Abbildung 2.4).

2.8. Wasserstoff(-träger) und -derivate als Transportgut

Da für den kontinentalen Transport von gasförmigem Wasserstoff künftig vor allem Pipelines vorgesehen sind, könnte die Binnenschifffahrt ihre zukünftig freiwerdenden Transportkapazitäten für die Verteilung von Wasserstoffderivaten zu kleineren Abnehmern nutzen. Neben Wasserstoff selbst könnten dabei auch synthetisch hergestellte Kraftstoffe einen Anteil am Güter-

⁸ Unter HVO werden hydrierte Pflanzenöle ohne Beimischung fossiler Brennstoffe sowie vergleichbare Drop-in-Biokraftstoffe (einschließlich E-Fuels) verstanden. Dazu zählt auch synthetischer Diesel, der unter Verwendung von abgeschiedenem CO₂ und nachhaltig erzeugtem Strom hergestellt wird.

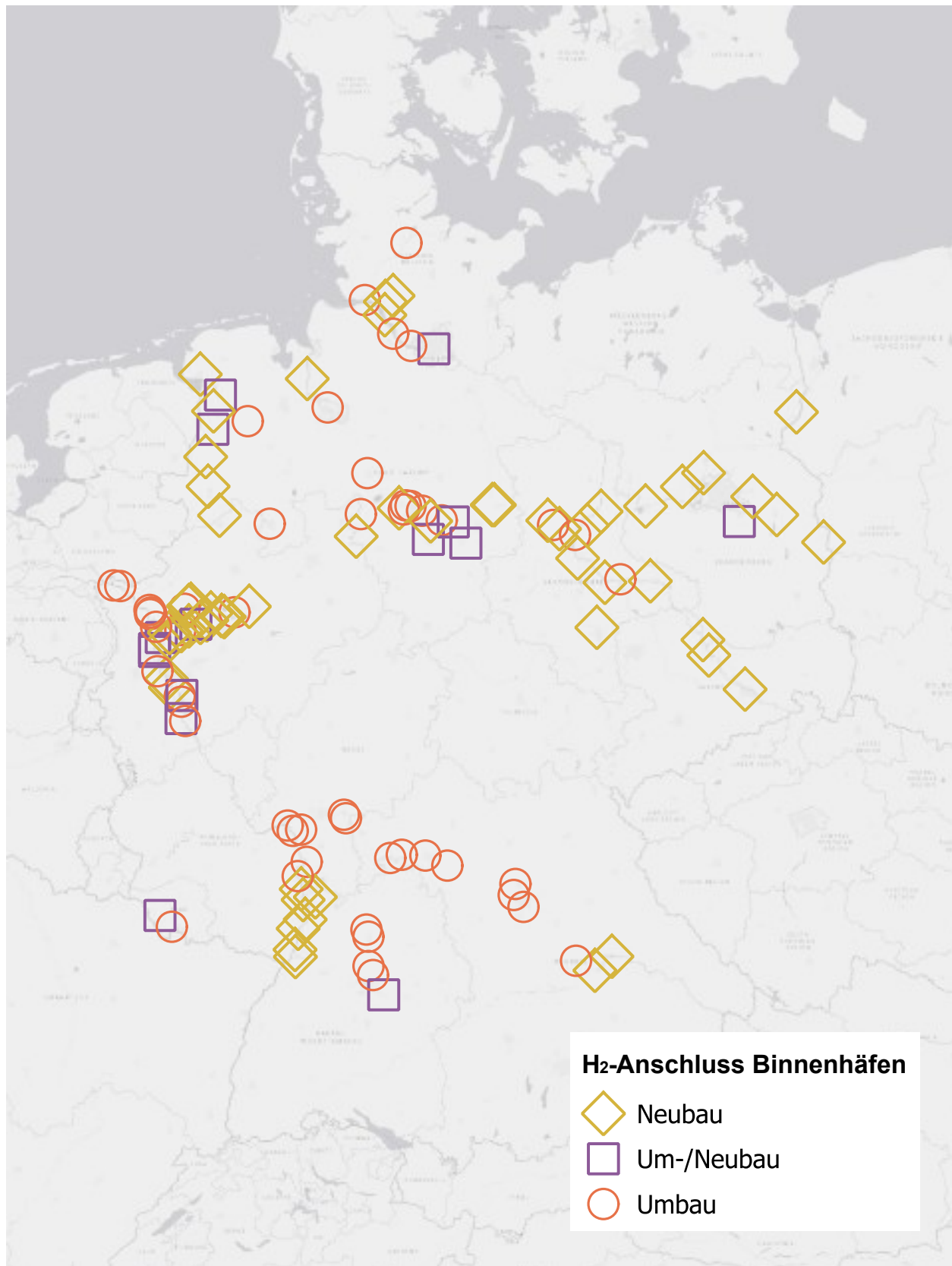


Abbildung 2.4. Geplante Netzanschlüsse der Binnenhäfen an das Wasserstoffkernnetz. Eigene Darstellung.

transport übernehmen.

Künftig werden neben Wasserstoff auch seine Derivate und Wasserstoffträgersubstanzen wie Methanol, Ammoniak oder LOHC eine wichtige Rolle spielen und einen erheblichen Anteil am Transportvolumen ausmachen. Während Pipelines zwischen Seehäfen und Hinterland langfristig große Mengen an gasförmigem Wasserstoff zu Großabnehmern liefern, bleibt die Binnenschifffahrt vor allem am Rhein ein zentraler, komplementärer Transportträger. Zudem können kleinere Abnehmer, die

nicht an das Wasserstoffkernnetz angeschlossen werden, über die Wasserstraße versorgt werden. Zusätzlich ist in emissionsintensiven Industrien, wie der Zement- und Stahlindustrie, mit einem steigenden Bedarf an einer Abführung von CO₂ als zu exportierendes Transportgut zu rechnen. Auch hier kann die Binnenschifffahrt kurzfristig Transportkapazitäten bieten und einen bedeutenden Transportvektor darstellen, solange noch kein flächendeckendes CO₂-Pipelinennetz vorhanden ist. Voraussetzung ist ein zügiger Ausbau der Hafeninfrastruktur mit Speicherka-

pazitäten, Be- und Entladeeinrichtungen für CO₂, Wasserstoff und dessen Derivate sowie mit Anlagen zur Umwandlung dieser Energieträger. Sollen Binnenschiffe als Übergangslösung – bis eine ausreichende Pipelineinfrastruktur vorhanden ist – eingesetzt werden, müssten politische Anreize geschaffen werden, da das Investitionsrisiko für die Betreiber eines spezialisierten Binnenschiffs sehr hoch ist.

2.8.1. Transport gasförmigen Wasserstoffs

Der Transport von Wasserstoff im gasförmigen Zustand erfolgt derzeit nach dem Stand der Technik in Druckgasflaschen, die in Containerrahmen integriert sind. Die aktuell größte verfügbare Kapazität liegt bei 1.150 kg pro 40-Fuß-Container. Container dieser Größe mit einer erweiterten Kapazität von bis zu 3.000 kg befinden sich derzeit in der Entwicklung.

Für den Transport von Wasserstoff per Lkw oder Binnenschiff über Distanzen von bis zu 400 km und bei täglichen Mengen im zweistelligen Tonnenbereich erweist sich komprimierter, gasförmiger Wasserstoff als die kostengünstigste Lösung. Ausschlaggebend hierfür sind die vergleichsweise niedrigen Importkosten sowie die geringe Zahl erforderlicher Umwandlungsschritte zwischen Beschaffung und Nutzung beim Endkunden [18].

Geeignete Abnehmer für Wasserstoff finden sich vor allem an Standorten, die weder über eine eigene Erzeugung, insbesondere durch Elektrolyse, verfügen noch an das zukünftige Wasserstoff-Pipelinennetz angeschlossen sein werden. Hierzu zählen in erster Linie ländliche Regionen. Damit rücken kleinere Binnenhäfen im ländlichen Raum in den Fokus, die bereits von Container-Liniendiensten bedient werden. Alternativ können Wasserstoffcontainer auch auf Frachtschiffen mitgeführt werden, die zusätzlich weiteres Stückgut transportieren. In beiden Fällen ermöglicht eine Mischkalkulation, die Transportkosten in einem wettbewerbsfähigen bzw. marktfähigen Rahmen zu halten.

Ein ausschließlich mit Wasserstoffcontainern beladenes Binnenschiff, etwa ein kleineres Rhein-Herne-Kanalschiff, wäre hingegen aufgrund der erheblich höheren Containerkosten nicht wettbewerbsfähig.

2.8.2. Transport flüssigen Wasserstoffs

Ökonomische Betrachtungen zeigen, dass bei Transportwegen weiter als 400 km die Versorgung mit verflüssigtem Wasserstoff die wirtschaftlichste Option sein kann. Flüssigwasserstoff könnte in Containern über die Schiene, Straße oder auch per Binnenschiff zu Abnehmern in einer Einzelmenge von bis zu 4.300 kg verteilt werden [18].

In der Binnenschifffahrt kann der Einsatz von spezialisierten Tankschiffen zum Transport flüssigen Wasserstoffs eine kostengünstige Alternative zum Straßen- oder Schienentransport dar-

stellen. Werden größere Mengen an Wasserstoff, beispielsweise 100 Tonnen pro Tag, benötigt, wäre ein Binnenschiff in der Lage den mehrfachen Tagesbedarf zu decken [18]. Produkttanks für den Transport großer Mengen flüssigen Wasserstoffs sind in der Binnenschifffahrt bislang jedoch noch nicht realisiert. Auf Hochseeebene wurde bereits ein erster Flüssigwasserstofftanker mit einer Kapazität von 1.250 m³ (75 t) gebaut, der im Jahr 2022 erstmals zwischen Australien und Japan eingesetzt wurde [19]. Sobald in Zukunft Flüssigwasserstoff in größeren Mengen an deutschen und europäischen Importterminals zur Verfügung steht, ist davon auszugehen, dass der Weitertransport in flüssiger Form erfolgt. Die Verteilung zu den Endverbrauchern wird dabei voraussichtlich über Binnenschiffe, Schienen- und Straßentransporte realisiert [18].

2.8.3. Transport von Ammoniak

Ammoniak als Energieträger und Transportmedium für Wasserstoff ist energieeffizienter als der Transport von reinem Wasserstoff und ermöglicht es, auf begrenztem Raum größere Energiemengen über weite Distanzen zu befördern. Für den Transport und Vertrieb kann auf bestehende globale Infrastrukturen zurückgegriffen werden, was die Gesamtkosten potenziell senkt, insbesondere wenn eine direkte Nutzung möglich ist. Ist dies nicht der Fall, muss Ammoniak durch Cracking in Wasserstoff umgewandelt werden, was zusätzliche Kosten verursacht. Für große Mengen ist dieser Prozess jedoch bislang noch nicht ausreichend technisch ausgereift [18].

Seit April 2024 entwickelt HGK Shipping das erste Gastankschiff, das sowohl für tiefkaltes Ammoniak bei -33 °C als auch für verflüssigtes Kohlendioxid ausgelegt ist. Der geplante Neubau wird mit einer innovativen Tank- und Ladesystemtechnologie ausgestattet, die den Transport von Gasen sowohl in tiefkalter als auch in druckverflüssigter Form ermöglicht. Mit einer Länge von 135 m und einer Breite von 17,5 m ist dieser Schiffstyp speziell für Transporte zwischen den großen Seehäfen (Rotterdam, Amsterdam, Antwerpen) und dem rheinischen Hinterland konzipiert [20].

Insgesamt ist Ammoniak ein etabliertes Transportgut, welches in der Binnenschifffahrt aufgrund seiner wassergefährdenden Toxizität besondere Anforderungen an die Transportsicherheit stellt. Im Schienengüterverkehr steht bereits eine Flotte spezialisierter Tankwaggons zur Verfügung, die den Aufbau multimodaler Transportketten erleichtert. Der Straßentransport von Ammoniak per LKW erfolgt nur in Ausnahmefällen, überwiegend auf den letzten Kilometern zu Zielorten ohne direkten Bahnanschluss. Gesetzliche Vorgaben untersagen die Tunneldurchfahrt mit Ammoniakladung, wodurch eine flächige Verteilung über das Straßennetz erheblich eingeschränkt wird.

Antriebsart mit Beschreibung

Substanz	Eigenschaften
Ammoniak NH ₃	sehr hohe Transporteffizienz, bekanntes Gefahrgut, bisherige Tanks nutzbar
Komprimierter gasförmiger H ₂	in kleineren Mengen für diverse Transportbedarfe geeignet, höhere Drücke und größere Reinheit zukünftig technisch möglich, neue Druckgasbehälter erforderlich, sehr hohe Investitionskosten
Flüssiger H ₂	hohe Transporteffizienz, Containertechnologie zum Transport verfügbar bzw. wird erprobt, große spezialisierte Tankbinnenschiffe noch nicht verfügbar, hohe Investitionskosten.
LOHC	hohe Transporteffizienz, einfache Handhabung (ähnlich wie bei Diesel), bisherige Tanks nutzbar

2.8.4. Transport von LOHC

Unter LOHC versteht man sogenannte „Liquid Organic Hydrogen Carriers“. Diese organischen Verbindungen können Wasserstoff binden und unter Wärmeeinfluss wieder freigeben.

Der Transport von Wasserstoff als LOHC bietet den Vorteil, bestehende Infrastrukturen aus der Erdöl- und Petrochemie nutzen zu können. Die Dehydrierung stellt jedoch eine zentrale Herausforderung dar, da sie sowohl spezielle Anlagen als auch hohen Energieeinsatz erfordert. Die Effizienz des LOHC-Kreislaufs hängt maßgeblich von der nachhaltigen Bereitstellung dieser Energie in Form von Wärme ab. Besonders geeignet sind dafür Chemiestandorte mit verfügbarer Abwärme. Steht diese nicht zur Verfügung, muss die benötigte Wärme durch erneuerbare Energien oder notfalls durch Wasserstoff selbst bereitgestellt werden [18].



Copyright(R) Sabrina Müller (DECHEMA e.V.).

3

Fazit

Die Binnenschifffahrt steht inmitten einer doppelten Transformation: Einerseits muss sie ihre bestehenden Herausforderungen wie Fachkräftemangel, Infrastrukturdefizite und die Folgen des Klimawandels bewältigen. Andererseits eröffnet der Wandel hin zu einer klimaneutralen Industrie neue Chancen. Mit dem Rückgang klassischer Transportgüter wie Kohle entstehen freie Kapazitäten, die perspektivisch für alternative Energieträger wie Wasserstoff und seine Derivate, Ammoniak, LOHC oder auch Kohlenstoffdioxid genutzt werden können.

Damit die Binnenschifffahrt ihre Rolle als Rückgrat nachhaltiger Transportketten sichern und ausbauen kann, sind jedoch technologische Weiterentwicklungen sowie gezielte Investitionen in Flotte, Hafeninfrastruktur und multimodale Schnittstellen erforderlich. Langfristig kann sie damit nicht nur zur Versorgungssicherheit energieintensiver Industrien beitragen, sondern auch zu einem zentralen Baustein der europäischen Energiewende werden.

4

Anhang

Tabelle 4.1. Anpassungsmaßnahmen an Niedrigwasserphasen.

Maßnahme	Aspekte
Flachgehende (große) Binnenschiffe	Höhere Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Binnenschiffen gleicher Kapazität; weitgehende Sicherstellung der Transportkapazität; begrenztes Einsatzgebiet aufgrund der Schiffsgröße, vor allem auf ausgewählte Wasserstraßenklassen wie größere Flüsse beschränkt
Umstieg auf kleinere Binnenschiffe	Höhere Transportkosten; Personalverfügbarkeit; Schiffsverfügbarkeit; Auswirkungen auf andere Wasserstraßengebiete; neue (teil-)automatisierte Betriebsformen zur Vermeidung von (Personal-)Mehrkosten
Einsatz von zusätzlichen Binnenschiffen, insbesondere Leichtern im Schub- oder Koppelverband	Schiffsverfügbarkeit; Vorhaltung von Binnenschiffen; Disposition im Bedarfsfall; Bindung von Investitionskapital; aufwändiger Betrieb (Zerlegung eines Schubverbandes, Umschlag auf kleinere Schiffe) bei Wechsel zwischen Wasserstraßen unterschiedlicher Klassen (z. B. Fluss zu Kanal)
Verlagerung von Transportmengen auf andere Verkehrsträger (d. h. Schiene und Straße)	Verfügbarkeit von Transportkapazitäten auf Schiene und Straße; Dauerhafte Verlagerung auf andere Verkehrsträger ermöglichen; Investitionen in Umschlagkapazitäten zu alternativen Verkehrsträgern tätigen; Flexibilisierung der Verkehrsmittelwahl fördern; Ausfallrisiken durch Verteilung der Transportmengen auf mehrere Verkehrsträger verringern
Vergrößerung von Zwischenlagern	zur Absicherung gegen Transportkapazitätsausfälle; Abwägung von Lagerkosten gegenüber Ausfallrisiken; enge Abstimmung innerhalb der gesamten Lieferkette; Einsatz IT-gestützter Planungsinstrumente mit Prognosefunktion.
Logistische und geografische Unternehmensstrategie	Änderung der Lieferketten; Verlagerung des Produktionsstandortes an zuverlässige Verkehrswege (untere Flussabschnitte mit ausreichendem Tiefgang auch bei Niedrigwasser, Küstennähe)
Ausbau der Stauregulierung der Flüsse	Langfristige Lösung; sehr kostenintensiv; Konflikt mit dem Naturschutz, Tourismus und Anwohnern; politische Durch- und Finanzierbarkeit unsicher; Erfordernis der Umsetzung an allen kritischen Flussabschnitten für eine durchgehend bei Niedrigwasser befahrbare Wasserstraße
Vertiefung der Fahrrinne	Langfristige Lösung; sehr kostenintensiv; Konflikt mit dem Naturschutz; begrenzte Wirksamkeit insbesondere bei extremem Niedrigwasser

Wasserstoffbetriebene Schiffe in Europa

„H2 Barge 1“

Die Reederei Future Proof Shipping hat mit der „H2 Barge 1“ das erste umgebaute wasserstoffbetriebene Binnencontainerschiff in Betrieb genommen. Wasserstoff und Antriebstechnik sind in Containern installiert und austauschbar, sodass Umbauten am Schiffskörper entfallen. Vier 40-Fuß-Container werden für Antrieb und Energiespeicher benötigt, was durch die übliche Auslastungsreserve der Schiffe kompensiert wird. Vorteilhaft ist die sichere, offene Lagerung der Speicher; nachteilig der aufwändige Containerwechsel. Drei weitere Schiffe sind im Umbau.

„Elektra“

Die HGK Shipping betreibt mit der „Elektra“ das erste wasserstoffbetriebene Schubschiff. Es kombiniert Akkumulatoren mit Brennstoffzellen und nutzt Wasserstoff aus 500-bar-Tanks. Besonderes Augenmerk liegt auf Sicherheit und Zertifizierung, da bisherige Vorschriften fehlten. Rechnerisch ergibt sich eine Reichweite von 400 km; erste Landstationen in Berlin und Lüneburg sind im Aufbau.

HyBarge-Projekt

Gemeinsam mit Hydrogenious LOHC entwickelt HGK Shipping ein Binnenschiff mit LOHC-Technologie (Benzyltoluol), die besonders hohe Sicherheit bietet. Damit soll emissionsfreie Schifffahrt bei gleichzeitig einfacher Handhabung ermöglicht werden.

„E-Pusher“

Die niederländische Reederei KOTUG beschafft eine Serie elektrisch betriebener Schubschiffe. Das erste Schiff, die „E-Pusher M“, fährt seit 2022. Die Container-basierten Akkus lassen sich flexibel gegen andere Energiequellen tauschen.

„Antonie“

Die „Antonie“ ist das erste neu gebaute wasserstoffbetriebene Binnenschiff der Welt. Sie transportiert Salz für Nobian und nutzt dabei Wasserstoff, der als Nebenprodukt im Chemieprozess anfällt. Die Baukosten von 10 Mio. € wurden staatlich gefördert. Die jährliche CO₂-Einsparung beträgt 880 Tonnen.

Rhenus-Schiffe

Ab 2024 setzt Rhenus drei neue Koppelverbände mit Wasserstoff-Brennstoffzellen, Stage-VI-Motoren und Batterien ein. Eine Förderung wird hierbei nicht in Anspruch genommen.

EU-Projekt RH2IWER

Das EU-geförderte Projekt erprobt mit sechs Schiffen verschiedener Typen wasserstoffbasierte Antriebe, um die Einführung in der Binnenschifffahrt zu beschleunigen (<https://rh2iwer.eu>).



Literaturverzeichnis

- [1] Fey and S. Wettberg. (2019) BASF 2018 mit leichtem Umsatzanstieg und Rückgang des Ergebnisses vor allem durch niedrigere Beiträge von Chemicals. BASF. Zugriffen: 24. September 2025. [Online]. URL: <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2019/02/p-19-141>
- [2] U. von Stetten. (2021, Nov.) Neue Niedrigwasser-Schiffe für die Rohstoffversorgung des BASF-Standorts Ludwigshafen. BASF. Ludwigshafen. Presse-Information P371/21. Zugriffen: 7. Oktober 2025. [Online]. URL: https://www.basf.com/dam/jcr:851866f5-16b0-33da-9754-9b9edb362f06/basf/www/global/de/documents/Ludwigshafen/the-site/news-and-media/2021/11/P371_Tankschiffe_fuer_Rhein-Niedrigwasser.pdf
- [3] Handelsblatt. (2018) Shell kürzt wegen Rhein-Niedrigwasser Produktion in Raffinerien. Zugriffen: 30. September 2025. [Online]. URL: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/niedriger-pegel-shell-kuerzt-wegen-rhein-niedrigwasser-produktion-in-raffinerien/23658664.html>
- [4] Unfalluntersuchungskommission TMS „Waldhof“, „Bericht über den Ablauf und die Ursachen der Havarie des Tankmotorschiffes „Waldhof“ am 13. Januar 2011 auf dem Mittelrhein (Rhein-km 553,75),“ Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes – Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Mainz, Tech. Rep., Jan. 2013, zusammenfassung. [Online]. URL: <https://izw.baw.de/publikationen/pressekonferenzen/0/Unfalluntersuchungsbericht%20TMS%20Waldhof%20-%20Zusammenfassung.pdf>
- [5] BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH and TNS Infratest GmbH, „Entwicklung eines Modells zur Berechnung von modalen Verlagerungen im Güterverkehr für die Ableitung konsistenter Bewertungsansätze für die Bundesverkehrswegeplanung,“ Bundesministerium für Verkehr und digitale Information, Tech. Rep., Aug. 2016, endbericht. [Online]. URL: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/bvwp-2015-modalwahl-zeit-zuverlaessigkeit-gueterverkehr.pdf>
- [6] Marlo Consultans GmbH, DST – Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., PLANCO Consulting GmbH, and SGKV – Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr e.V., „Studie zur Prüfung einer Förderung für kleinere und/oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe,“ Tech. Rep., 2020, schlussbericht. [Online]. URL: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/WS/studie-kleine-binnenschiff-lange-fassung.pdf>
- [7] A. Matthey and B. Bünger, „Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten,“ Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Tech. Rep., Dec. 2020, stand 2020. [Online]. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21_methodenkonvention_3_1_kostensaetze.pdf
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Schlussbericht der Arbeitsgruppe „Verlagerung von Großraum- und Schwerlasttransporten (GST) von der Straße auf den Wasserweg und Schiene“,“ Berlin, Tech. Rep., Dec. 2020, schlussbericht. [Online]. URL: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Publikationen/WS/schlussbericht-ag-verlagerung-transport-wasserwege.pdf>
- [9] Forschungs-Informationssystem – Mobilität und Verkehr. Interessenkonflikte bei Erhalt und Ausbau von Binnenwasserstraßen. [Online]. URL: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/302147/>
- [10] Bundesministerium für Verkehr (BMV). (2025, Jul.) Verkehrsprognose 2030. [Online]. URL: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsprognose-2030.html>

- [11] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), "Verkehrsprognose 2040 – Band 1.1 Z: Gesamtüberblick," Oct. 2024.
- [12] Bundesministerium für Digitales und Verkehr, "Bericht zur Überprüfung der Bedarfspläne (BPÜ) für die Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße," Berlin, Tech. Rep., Nov. 2024. [Online]. URL: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/bvwp-bericht-bpue.pdf>
- [13] Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Verkehrsprognose 2040 – Band 6.1 E: Verkehrsentwicklungsprognose Prognosefall 1 „Basisprognose 2040“ (Ergebnisse). [Online]. URL: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/verkehrsprognose-2040-band-6-1-e-verkehrsentwicklungsprognose-prognosefall-1-basisprognose-2040-ergebnisse.pdf>
- [14] H. Fischer *et al.*, "KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland," Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Deutscher Wetterdienst (DWD), Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Tech. Rep., Mar. 2015, KLIWAS Synthesebericht für Entscheidungsträger.
- [15] BMVBS, *KLIWAS: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland; 2. Statuskonferenz am 25. und 26. Oktober 2011*, Berlin, 2012, tagungsband, Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abt. Wasserstraßen, Schifffahrt.
- [16] Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR). (2022, Mar.) Roadmap der ZKR zur Verringerung der Emissionen in der Binnenschifffahrt. Strasbourg Cedex. [Online]. URL: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_de.pdf
- [17] M. Zerta, L. Diehl, H. Landinger, J. Moll, P. Klemm, and G. Sattler, "Maritime Wasserstoffanwender und ihr Anteil am H₂-Bedarf Deutschlands," Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Lauenburg/Elbe, Tech. Rep., 2023, eine Studie im Auftrag des Deutschen Maritimen Zentrums e.V.
- [18] J. Bonnet, P. Schmidt, F. Ott, S. Kalwa, and T. Hauler, "Studie über die Entwicklung von Binnenhäfen als Wasserstoff-Hub," Accenture Industry X, Aachen, Tech. Rep., Sep. 2024. [Online]. URL: https://mwvlw.rlp.de/fileadmin/08/Broschueren/Abschlussbericht_H2-Binnenhafen_Studie.pdf
- [19] T. Ohashi. World's First Liquefied Hydrogen Carrier. [Online]. URL: https://www.gastechevent.com/media/y25pz22e/world-s-first-liquefied-hydrogen-carrier-tetsuya-ohashi_kawaskai.pdf
- [20] HGK AG. (2024, Apr.) Zukunftweisendes Pionierprojekt in der Binnenschifffahrt: HGK Shipping entwickelt Europas erstes Gastankschiff zum Transport von tiefkaltem Ammoniak und LCO₂. Häfen und Güterverkehr Köln AG. Köln. Presse-Information. [Online]. URL: https://www.hgk.de/fileadmin/pressemitteilungen/2024/2024_04_17_PM_HGK_Shipping_Pionierschiff.pdf