



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien



Vorbereitung der Binnenhäfen auf eine automatisierte Binnenschifffahrt

Kompendium zum IHATEC-Projekt „RAIN“



Vorbereitung der Binnenhäfen auf eine automatisierte Binnenschifffahrt

Kompendium zum IHATEC-Projekt „RAIN“

Herausgeber

Bundesverband Öffentlicher Binnenhäfen (BÖB)

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST)

Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL)

Förderhinweis

Das Projekt RAIN wurde im Rahmen des Programms „IHATEC – Innovative Hafentechnologien“ vom Bundesministerium für Verkehr (BMV) gefördert.

Stand

März 2026





Patricia Erb-Korn

Präsidentin des VBW –
Verein für europäische
Binnenschifffahrt und
Wasserstraßen e. V.

Geschäftsführerin der
Rheinhäfen Karlsruhe

Geleitwort

Die Zukunft der Wasserstraße aktiv gestalten: Automatisierung als Schlüssel für resiliente Binnenhäfen

Liebe Leserinnen und Leser,

das System Wasserstraße steht heute an einem historischen Wendepunkt. Während EU und Bundespolitik einerseits die unersetzliche Rolle der Binnenschifffahrt für das Erreichen der europäischen Klimaziele und die Entlastung der überlasteten Straßeninfrastruktur betonen, sieht sich die Branche gleichzeitig mit massiven strukturellen Umbrüchen konfrontiert. Der Rückgang klassischer Massengüter durch die Dekarbonisierung der Industrie, ein sich verschärfender Fachkräftemangel und der zunehmende Wettbewerbsdruck erfordern mehr als nur inkrementelle Verbesserungen.

Die Branche reagiert mutig und entschieden auf diese Herausforderungen, mit neuen klimafreundlichen Antrieben, dem Aufbau von Fernsteuerzentralen und der Erprobung automatisierter Schiffs-konzepte. Doch auch die Hafenwelt schläft nicht. Der Hafen von morgen ist kein reiner Umschlagplatz mehr. Er ist ein digital vernetzter Systemknotenpunkt für Wertschöpfung, neue Kraftstoffe und Energieträger, die Kreislaufwirtschaft und resiliente Logistikketten. Kurzum, die Binnenhäfen sind zentrale Taktgeber für die gesamte Logistikkette.

Das vorliegende Kompendium, entstanden im Rahmen des IHATEC-Projekts RAIN, adressiert genau diese Schnittstelle. Die Frage ist nicht mehr, ob die Automatisierung in der Binnenschifffahrt kommt, sondern wie wir unsere Infrastruktur und unsere Prozesse darauf vorbereiten müssen. Binnenhäfen sind das Rückgrat dieser Transformation. Wenn automatisierte Einheiten sicher

navigieren und effizient abgefertigt werden sollen, muss der Hafen die entsprechenden technischen, regulatorischen und organisatorischen Voraussetzungen bieten.

Warum ist diese Untersuchung so relevant?

1. **Systemische Resilienz:** Automatisierung ist kein Selbstzweck. Sie ist die Antwort auf den demografischen Wandel. Wenn wir den Personalmangel an Bord und an Land durch intelligente Assistenzsysteme und landseitige Fernsteuerung (Remote Operations) abfedern, sichern wir die Verlässlichkeit des Verkehrsträgers.
2. **Effizienz durch Vernetzung:** Die im Projekt RAIN untersuchten Szenarien zeigen deutlich, dass der größte Mehrwert in der nahtlosen Datenkommunikation zwischen Schiff und Hafen liegt. Digitale Liegeplatzverwaltung, automatisierte An- und Ablegevorgänge und eine vorausschauende Ressourcenplanung in den Terminals sind die Hebel, mit denen wir die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Straße stärken.
3. **Planungssicherheit:** Für uns Hafenbetreiber bedeuten Investitionen in Kaianlagen und Suprastruktur Zyklen von Jahrzehnten. Die hier erarbeiteten Szenarien – vom „Beharrungsszenario“ bis zum „Smarten Wandel“ – geben uns die notwendige Orientierung, um heute die richtigen Weichenstellungen für die Infrastruktur des Jahres 2050 zu treffen.

Dieses Kompendium bietet erstmals eine fundierte Basis, die über rein technische Machbarkeitsstudien hinausgeht. Es nimmt die gesamte Akteurslandschaft in den Blick: von der Hafenwirtschaft über das Gewerbe bis hin zur Politik und Wissenschaft. Es zeigt auf, dass wir die Herausforderungen der Automatisierung nur gemeinschaftlich meistern können.

Ich danke den Partnern des Projekts RAIN – dem Bundesverband Öffentlicher Binnenhäfen (BÖB), dem Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST) und dem Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL) – für diese wertvolle Arbeit. Die Ergebnisse sind ein Weckruf und gleichzeitig ein Fahrplan für uns alle.

Lassen Sie uns die Chancen der Automatisierung nutzen, um die Binnenschifffahrt als modernsten und nachhaltigsten Verkehrsträger Europas zu positionieren. Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre und uns allen den Mut, die hier beschriebenen Handlungsempfehlungen konsequent in die Tat umzusetzen.

Ihre

Patricia Erb-Korn

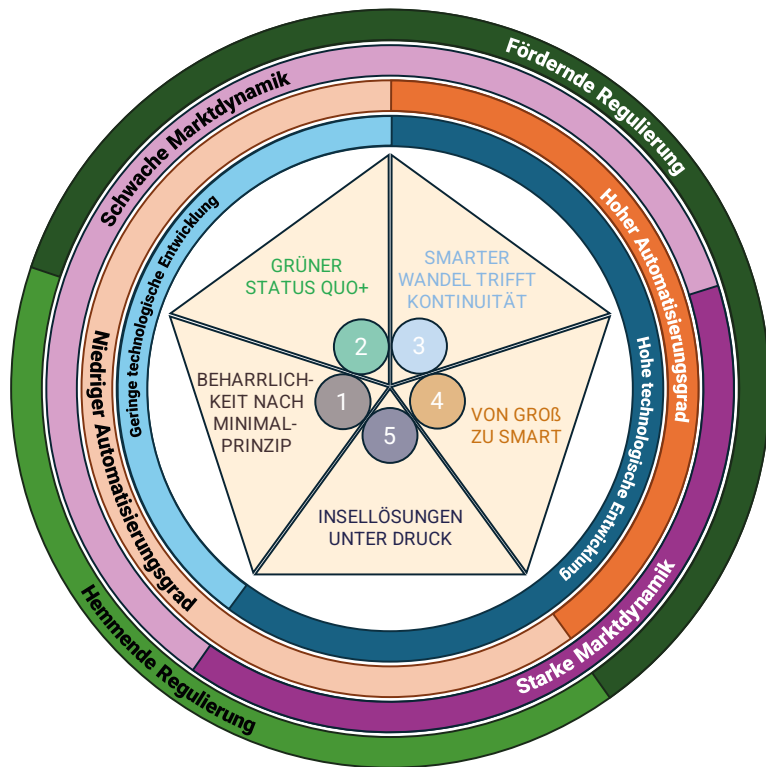
Management Summary

Die Binnenschifffahrt – und damit das System Wasserstraße – steht vor einem tiefgreifenden strukturellen Wandel. Der Rückgang traditioneller Massengutströme, insbesondere infolge des Kohleausstiegs und der Transformation energieintensiver Industrien, verändert langfristig die Marktstruktur des Verkehrsträgers. Gleichzeitig steigen Anforderungen an Nachhaltigkeit, Effizienz und Integration in multimodale Logistiksysteme. Parallel verschärft sich der Fachkräftemangel, wodurch technologische Innovationen, insbesondere Automatisierung, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Vor diesem Hintergrund untersucht das RAIN-Projekt, welche Automatisierungsszenarien für die Binnenschifffahrt denkbar sind und welche Implikationen sich daraus für Binnenhäfen ergeben.

Hintergrund

Die Automatisierung der Binnenschifffahrt wird voraussichtlich schrittweise erfolgen und in unterschiedlichen Ausprägungen auftreten. Vollständig autonome Schiffe sind kurzfristig wenig wahrscheinlich; realistischer erscheinen hybride Formen, bei denen automatisierte Funktionen mit menschlicher Überwachung kombiniert werden. Treiber dieser Entwicklung sind insbesondere der Fachkräftemangel, Effizienzsteigerungen im Betrieb sowie technologische Fortschritte in Sensorik, Kommunikation und Datenverarbeitung.

Für Binnenhäfen ergeben sich daraus sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Automatisierte oder teilautomatisierte Schiffe können neue Anforderungen an Hafeninfrastruktur, digitale Schnittstellen und operative Abläufe stellen. Gleichzeitig eröffnen sich Potenziale für effizientere Umschlagprozesse, eine bessere Integration in digitale Logistiknetzwerke sowie neue Geschäftsmodelle im Umfeld datenbasierter Dienstleistungen. Entscheidend wird sein, wie schnell sich Technologien, Regulierung und Marktakzeptanz entwickeln und in welchem Maß Investitionen entlang der gesamten Transportkette erfolgen.



Automatisierungsszenarien

Das Projekt nutzt einen szenariobasierten Ansatz, um mit der hohen Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen umzugehen. Ausgangspunkt ist eine Analyse der aktuellen Marktstruktur der Binnenschifffahrt, relevanter technologischer Entwicklungen sowie regulatorischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Darauf aufbauend werden mögliche Automatisierungspfade der Binnenschifffahrt untersucht. Diese betreffen unter anderem Navigationssysteme, An- und Ablegevorgänge, Kommunikationstechnologien, Zustandsüberwachung von Schiffen sowie infrastrukturelle Anforderungen der Wasserstraßen. Die Ergebnisse werden in einer Szenariolandkarte zusammengeführt, in der unterschiedliche Entwicklungsrichtungen und deren Auswirkungen auf Binnenhäfen strukturiert dargestellt werden.

	Beharrlichkeit nach Minimalprinzip	Grüner Status Quo+	Smarter Wandel trifft Kontinuität	Von Groß zu Smart	Insellösungen unter Druck
Leitmotiv	Stagnation ohne Impulse	Nachhaltig und digitalisiert	Technologisches Upgrade	Systemischer Wandel	Fragmentiert und diversifiziert
Markt	Konsolidiert und geschrumpft	Konsolidiert mit neuen Gütergruppen	Konsolidiert und hochleistungsfähig	Neue Player bringen Flexibilität auf Maß	Abgekoppelte Teilmärkte
Technologie und Automatisierung	Konventionell aber teilelektrisiert	Manuell geprägt, teilelektrisiert aber digitalisiert	Hochautomatisiert und vollelektrisiert	Hochautomatisiert und hochflexibel	Vielzahl paralleler Entwicklungsstränge
Rahmenbedingungen	Sichernd statt stimulierend	Geleitete Innovation	Effektive Regulierung fordert Automatisierung	Herbeiführung von Systemwechsel	Restriktiv und inkonsequent
Rolle der Häfen	Sicherung des bestehenden Systems	Digitalisierung erweitert Leistungsportfolio	Enabler der automatisierten Binnenschifffahrt	Koordinator des Logistiksystems	Stabilisation des Systems

Implikationen für Binnenhäfen

Binnenhäfen nehmen eine Schlüsselrolle in der Transformation der Binnenschifffahrt ein, da sie als Schnittstellen zwischen Wasserstraße, Hinterlandverkehr und Logistiksystemen fungieren. Automatisierung kann zu veränderten Anforderungen an Anlegeinfrastrukturen, Kommunikationssysteme, Verkehrssteuerung und Sicherheitskonzepte führen. Gleichzeitig gewinnen digitale Plattformen, standardisierte Datenschnittstellen und intelligente Hafenmanagementsysteme an Bedeutung. Da die zukünftige Entwicklung mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist, empfiehlt sich für Häfen ein strategisch flexibler Ansatz. Anstatt auf ein einzelnes Zukunftsbild zu setzen, sollten Maßnahmen so gestaltet werden, dass sie in mehreren möglichen Szenarien tragfähig bleiben. Dies betrifft insbesondere Investitionen in digitale Infrastruktur, Kooperationsstrukturen mit Reedereien und Technologieanbietern sowie die frühzeitige Einbindung in regulatorische und technologische Pilotprojekte.

Handlungsempfehlungen

Aus den Analysen der Szenarien lassen sich strategische Handlungsfelder ableiten:

- **Digitale Infrastruktur in Häfen stärken & unterstützen:** Aufbau standardisierter Daten- und Kommunikationsschnittstellen zur Integration automatisierter Schiffe.
Beispiel: Beteiligung an nationalen/internationalen Gremien zur Standardisierung; kontinuierliche Weiterentwicklung digitaler Systeme durch Technologiepartner.
- **Technologische Entwicklungen beobachten und erproben:** Beteiligung an Pilotprojekten und Testfeldern unter realen Bedingungen.
Beispiel: Durchführung von Testläufen für automatisierte Anlegemanöver oder digitalisierte Liegeplatzverwaltung, um frühzeitig Know-how aufzubauen.
- **Infrastruktur adaptiv weiterentwickeln:** Berücksichtigung potenzieller Anforderungen automatisierter Schiffe bei zukünftigen Hafeninvestitionen.
Beispiel: Bei Kaimauersanierungen bereits Leerrohre für Glasfaser und Fundamente für automatisierte Poller vorsehen ("Retrofit-Ready").
- **Energiebereitstellungs- und Antriebskonzepte:** Erforschung nachhaltiger und leistungsfähiger Konzepte an Bord sowie an Bunker-/Ladestellen.
Maßnahme: Abstimmung mit lokalen Energieversorgern über die notwendige Netzlast für die künftigen Schifffahrtstechnologien.
- **Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) systematisch gestalten:** Erarbeitung von Konzepten zur Optimierung der Zusammenarbeit von menschlichem Personal (an Bord/Land) mit automatisierten Systemen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Autonomiegrade.
- **Standardisierung, Technologietransfer und Systemperspektive:** Harmonisierung prozessualer Entwicklungen und Transfer bewährter Lösungen aus anderen Industrien. Es sollte eine systemische Betrachtung propagiert werden, die alle Akteure (Häfen, Reeder, Behörden) einbezieht.
- **Strategische Flexibilität und Dialog:** Entwicklung robuster Strategien für verschiedene Szenarien und Einfordern klarer Rechtsrahmen für den autonomen Betrieb bei der Politik.

Automatisierung ist für Binnenhäfen kein Selbstzweck, sondern die Antwort auf Strukturwandel und Fachkräftemangel. Technologieanbietern und der Wissenschaft kommt eine zentrale Rolle als Gestalter und Wegbereiter zu. Der Erfolg hängt maßgeblich von systemischer Integration, Standardisierung und praktischer Anwendbarkeit ab. Häfen, die jetzt die digitale und physische Basis legen, steigern ihre Chancen, sich als unverzichtbare Knotenpunkte in der Logistikkette von 2050 behaupten.

Inhaltsverzeichnis

6	Management Summary
10	Einleitung
12	Hintergrund
	Der Markt der Binnenschifffahrt im Wandel 14
	Automatisierung in der Binnenschifffahrt 24
	Rechtliche Rahmenbedingungen für Automatisierung in Binnenhäfen 32
42	Methodik
	Szenarien zur strategischen Vorausschau 44
	Methodisches Vorgehen im Projekt 46
52	Automatisierungsszenarien für die Binnenschifffahrt
	Übersicht der Szenarien 54
	Szenario 1: Beharrlichkeit nach Minimalprinzip 56
	Szenario 2: Grüner Status Quo+ 60
	Szenario 3: Smarter Wandel trifft Kontinuität 64
	Szenario 4: Von Groß zu Smart 68
	Szenario 5: Insellösungen unter Druck 72
76	Von Szenariobewertungen zu Handlungsempfehlungen
	Szenariobewertung 78
	Handlungsempfehlungen 82
112	Zusammenfassung
	Quellen und Nachweise 116
	Anhang 120

Einleitung

Strukturierter Wandel und wachsende Unsicherheit

Die Binnenschifffahrt steht vor tiefgreifenden strukturellen Herausforderungen, deren Auswirkungen bislang nur teilweise absehbar sind. Vor dem Hintergrund des Kohleausstiegs und der angestrebten Reduktion fossiler Energieträger wird davon ausgegangen, dass traditionelle Transportsegmente der Montanindustrie in den kommenden Jahrzehnten an Bedeutung verlieren oder sich grundlegend wandeln. Auch veränderte Produktionsprozesse in der Industrie oder neue Wertstoffströme im Kontext der Kreislaufwirtschaft eröffnen sowohl Chancen als auch Risiken für den Verkehrsträger. Gleichzeitig ist abzusehen, dass sich der Fachkräftemangel weiter verschärfen wird, während der Anspruch an Nachhaltigkeit, Effizienz und Integration in übergreifende Logistiksysteme weiter steigt. All diese Entwicklungen wirken nicht isoliert, sondern können sich überlagern, gegenseitig verstärken und bislang schwer absehbare Dynamiken entfalten. Klar ist lediglich, dass bestehende Markt-, Betriebs- und Logistikkonzepte der Binnenschifffahrt zunehmend unter Druck geraten. Einer der aktuell diskutierten Hoffungsbringer zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist die Automatisierung der Binnenschifffahrt.

Automatisierung und die Rolle der Binnenhäfen im Transformationsprozess

Forschungsaktivitäten zur Automatisierung in der Binnenschifffahrt und erste Anwendungen im Markt haben in den vergangenen Jahren deutlich an Dynamik gewonnen. Automatisierte Systeme versprechen Effizienzsteigerungen, erhöhte Betriebssicherheit und die Aussicht, zukünftige Personalengpässe zu bewältigen. Gleichzeitig ist offen, welche technologischen Lösungen und Geschäftsmodelle sich etablieren werden und mit welcher Geschwindigkeit dies geschieht. Automatisierung lässt sich nicht isoliert auf die Schifffahrt beschränken, sondern setzt technische und organisatorische Voraussetzungen entlang des gesamten Systems voraus. Binnenhäfen

"Was bedeutet Automatisierung in der Binnenschifffahrt für die Binnenhäfen und wie können Häfen auf eine automatisierte Zukunft vorbereitet werden?"

übernehmen in diesem System eine Schlüsselrolle: Als Umschlagpunkte, logistische Integrationszentren und Serviceeinrichtungen beeinflussen sie die Leistungsfähigkeit der Transportketten maßgeblich. Veränderungen auf der Wasserseite haben dabei direkte Auswirkungen auf Anforderungen, Abläufe und

Investitionsentscheidungen in den Binnenhäfen. Vor diesem Hintergrund nimmt diese Studie die Häfen in den Blick und gibt Antworten auf die Frage, was eine Automatisierung in der Binnenschifffahrt für die Binnenhäfen bedeutet und wie sich Häfen auf eine automatisierte Zukunft vorbereiten können.

Der Blick in die Vergangenheit zeigt, dass langfristige Prognosen zur technologischen Entwicklung in der Binnenschifffahrt und anderen Verkehrs- und Logistiksektoren mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Derzeit ist nicht absehbar, ob und welche Automatisierungstechno-

logien sich in welchem Umfang am Markt in der Zukunft beispielsweise bis in das Jahr 2050 durchsetzen, welche Geschäftsmodelle tragfähig sein werden und mit welcher Geschwindigkeit sich innovative Systeme tatsächlich etablieren. Entsprechend unklar sind auch die mittel- und langfristigen Anforderungen an die Hafeninfrastruktur und -suprastruktur.

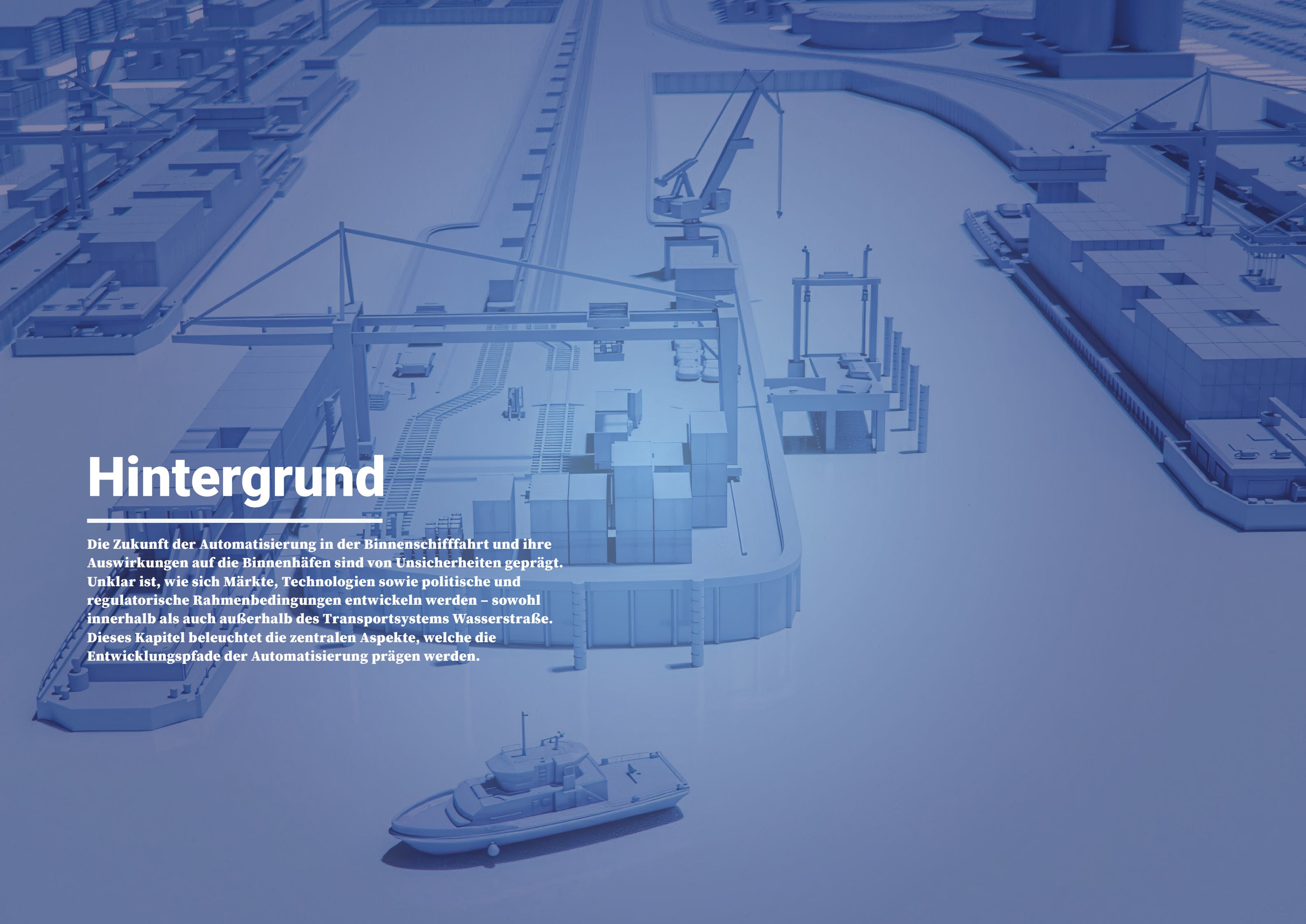
Szenarien als Instrument zum Umgang mit Unsicherheit

Ein strukturierter Umgang mit dieser Unsicherheit insbesondere über einen zeitlichen Horizont von etwa 25 Jahren wird durch den Einsatz der Szenariotechnik ermöglicht. Szenarien beschreiben konsistente, plausible und voneinander abgegrenzte Zukunftsbilder und ermöglichen es, unterschiedliche Entwicklungspfade systematisch zu analysieren. Sie unterscheiden sich daher von Prognosen, die die Auswirkungen bereits bestehender Trends oder erkennbarer Entwicklungen auf einzelne Aspekte der Zukunft bestimmen. Mit der Szenariotechnik können frühe Indikatoren identifiziert sowie robuste Handlungsmöglichkeiten vorbereitet werden.

Diese Studie beschreibt fünf mögliche Szenarien der automatisierten Binnenschifffahrt für das **Jahr 2050** und den jeweiligen Entwicklungspfad für Technologie, Markt und Rahmenbedingungen. Aus diesen Szenarien werden Implikationen und Handlungsoptionen für Binnenhäfen abgeleitet, um Entscheidungsträger bei der strategischen Vorbereitung auf mögliche Zukunftspfade einer automatisierten Binnenschifffahrt zu unterstützen.



Abb. 1: Fünf Szenarien beschreiben die automatisierte Binnenschifffahrt und Implikationen für die Binnenhäfen



Hintergrund

Die Zukunft der Automatisierung in der Binnenschifffahrt und ihre Auswirkungen auf die Binnenhäfen sind von Unsicherheiten geprägt. Unklar ist, wie sich Märkte, Technologien sowie politische und regulatorische Rahmenbedingungen entwickeln werden – sowohl innerhalb als auch außerhalb des Transportsystems Wasserstraße. Dieses Kapitel beleuchtet die zentralen Aspekte, welche die Entwicklungspfade der Automatisierung prägen werden.

Der Markt der Binnenschifffahrt im Wandel

Die Binnenschifffahrt ist ein wesentlicher Bestandteil des deutschen und europäischen Güterverkehrssystems und übernimmt heute insbesondere im Transport von Massengütern, großvolumigen und schweren Ladungen sowie zunehmend auch im Containertransport eine zentrale Funktion. Über das Wasserstraßennetz verbindet sie wichtige Industrie- und Wirtschaftsräume und ergänzt Straße und Schiene im intermodalen Verkehr.

Güterströme von heute – und morgen?

Deutschland verfügt über rund 7.300 km Bundeswasserstraßen [1] sowie über weitere Landeswasserstraßen, die zusammen ein weit verzweigtes Verkehrsnetz für den Gütertransport bilden. Dieses Netzwerk ist von zentraler Bedeutung für die europäische Binnenschifffahrt: Während 24,6 % der in Deutschland auf Binnenwasserstraßen transportierten Mengen auf Inlandsverkehre entfallen, machen Exportverkehre rund 24,8 % und Importverkehre etwa 44,1 % der Transporte aus. Die einzelnen Binnenwasserstraßen sind dabei verschieden relevant für das Netzwerk: Über den Rhein als Hauptkorridor werden etwa drei Viertel der Transportmenge auf deutschen Wasserstraßen bewältigt. Daneben haben beispielsweise

auch der Main, der Dortmund-Ems-Kanal, die Elbe und der Elbe-Seiten-Kanal sowie der Mittellandkanal einen hohen Stellenwert für den Gütertransport [2].

Im Jahr 2024 wurden nach Datenlage des Statistischen Bundesamts [3] auf deutschen Binnenwasserstraßen insgesamt 173,8 Mio. t Güter transportiert, während sich die Transportleistung auf 43,4 Mrd. Tonnenkilometer beläuft. Seit der Wiedervereinigung lässt sich jedoch ein leichter kontinuierlicher Rückgang sowohl hinsichtlich der transportierten Mengen als auch der Transportleistung beobachten. Ein Blick auf die in Deutschland mit Binnenschiffen transportierten Güter zeigt, dass „Erze,

Steine und Erden, sowie sonstige Bergbauerzeugnisse“ mit einem Anteil von 25,8 % und einer Transportmenge von 44,9 Mio. t die wichtigste Gütergruppe darstellen. Die Anteile der verschiedenen Gütergruppen werden in **Abbildung 2** veranschaulicht. Ein ähnliches Bild zeigt sich auf europäischer Ebene.

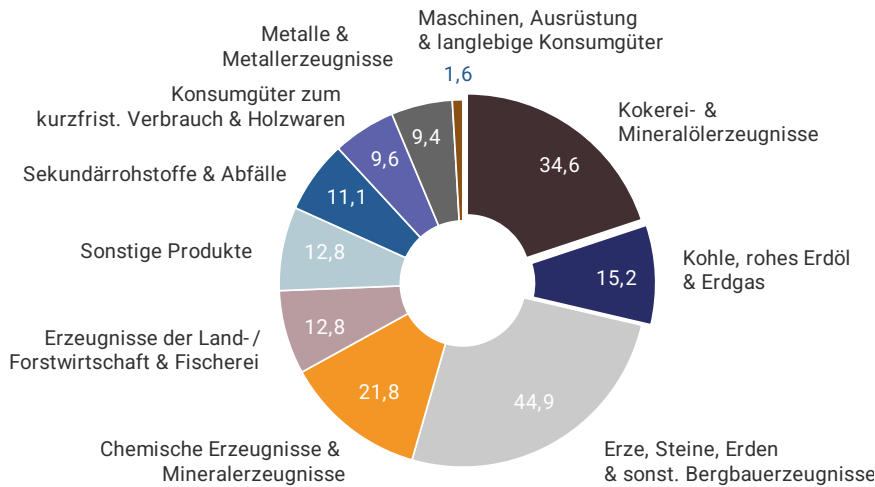


Abb. 2: Transportmenge in Deutschland nach Gütergruppen [Mio. t]. Eigene Darstellung basierend auf DESTATIS [3]

Der Anteil (fossiler) Energieträger an der Transportmenge ist in Deutschland höher als im europäischen Durchschnitt. Die Gütergruppen „Kokerei- und Mineralölzeugnisse“ sowie „Kohle, rohes Erdöl und Erdgas“ erreichen in Deutschland einen Anteil von 28,7 % an der Gesamttransportmenge, was einer Menge von 49,8 Mio. t entspricht. Gleichzeitig ist in diesen Segmenten mittelfristig mit einer rückläufigen Entwicklung des Transportaufkommens zu rechnen. Für die Gütergruppe „Kohle, rohes Erdöl und Erdgas“ zeigte sich, wie in **Abbildung 3** dargestellt, bereits in der Vergangenheit ein deutlicher Rückgang der transportierten Menge. Diese Entwicklung steht insbesondere im Zusammenhang mit dem in Deutschland bis 2038 beschlossenen Kohleausstieg und dem damit verbundenen Rückgang der Kohleverstromung. Auch für weitere Rhein- und Donauanrainerstaaten geht die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) davon aus, dass die Nachfrage nach Koh-

le bis 2050 stark (>70 %) bis komplett zurückgehen wird. Damit verliert ein bislang wichtiges Segment der Binnenschifffahrt schrittweise an Bedeutung [4].

Die Transportmenge von Kokerei- und Mineralölzeugnissen in Deutschland bewegt sich derzeit noch auf einem vergleichsweise hohen Niveau, ohne dass bereits ein klarer Entwicklungstrend erkennbar ist. Während der Kohleausstieg in Deutschland und anderen Ländern bereits politisch beschlossen wurde, wird der Umgang mit anderen fossilen Energieträgern weiterhin diskutiert. Unabhängig von zukünftigen politischen Beschlüssen erwartet die ZKR entlang des Rheinkorridors einen Rückgang der Produktions- und Transportmengen von Kokerei- und Mineralölzeugnissen. Bis 2050 werden in dieser Gütergruppe je nach Land Rückgänge zwischen -18,2 % (Schweiz) und -66,3 % (Niederlande) im Vergleich zu 2025 prognostiziert. Im Gegensatz dazu zeigt

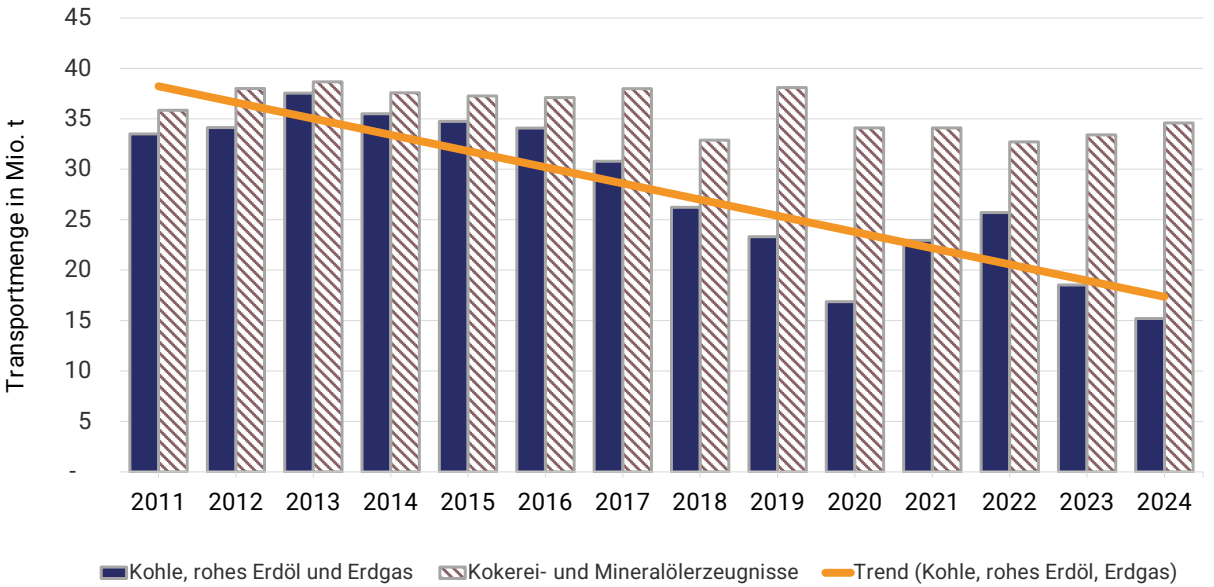


Abb. 3: Transportmenge in Deutschland von fossilen Energieträgern. Eigene Darstellung basierend auf DESTATIS [3]

sich entlang der Donau ein differenziertes Bild. Zwar werden auch hier für einzelne Länder wie Österreich, Rumänien und Kroatien rückläufige Produktionsmengen erwartet, zugleich werden jedoch in einigen Staaten auch Wachstumspotenziale gesehen, die zwischen 5,4 % (Ungarn) und 244,5 % (Bulgarien) liegen. Die ZKR geht jedoch insgesamt auch im Donaugebiet ab dem Jahr 2030 mit einer insgesamt sinkenden Nachfrage in diesem Transportsegment aus. Begründet wird dies mit einem schrittweisen Übergang zu alternativen und ökologisch nachhaltigen Energiequellen und Energieträgern [4].

Im Bereich des Containertransports zeigt sich in den vergangenen 15 Jahren ein weitgehend stabiles Transportvolumen, das seit 2011 um ein Niveau von 2 Mio. TEU im Jahr schwankt und in der linearen Trendanalyse nur leicht rückläufig ist. Containerverkehre in der Binnenschifffahrt sind häufig in multimodale Transportketten eingebunden und überneh-

men insbesondere im Seehafenhinterlandverkehr eine zentrale Funktion. Als verlässlicher und massenfähiger Verkehrsträger verbindet die Binnenschifffahrt Seehäfen mit logistischen Knotenpunkten im Hinterland sowie industriellen Standorten.

Während sich die Entwicklung der transportierten Mengen als verhalten darstellt, weist die ZKR für das Containersegment, gemessen am Wert der in Containern transportierten Gütern, ein kontinuierliches Wachstum aus. Auch langfristig wird bis 2050 von einer weiteren Zunahme der transportierten Werte ausgegangen, wobei insbesondere in Deutschland mit einem Anstieg um 33 % ein besonderes Wachstum erwartet wird. Dies unterstreicht, dass mengenbasierte Kennzahlen wie die transportierten Tonnen und gefahrenen Distanzen die wirtschaftliche Leistung der Binnenschifffahrt mitunter nur eingeschränkt abbilden und wertbasierte Betrachtungen eine wichtige Einordnung geben.

Schiffe, Daten, Fakten: Stand und Entwicklung der Binnenschiffsflotte

Die Entwicklung der Binnenschiffsflotte wird sowohl national in der Bundesrepublik als auch international, etwa über die ZKR, auf jährlicher Basis erfasst.

Auf nationaler Ebene wird häufig die Zentrale Binnenschiffsbestandsdatei (ZBBD), die der Fortschreibung der deutschen Binnenflotte gewidmet ist, herangezogen. In der Datenbank wird zwischen unterschiedlichen Fahrtgebieten, etwa dem Rheinstromgebiet mit Mosel, Saar und Neckar, dem nordwestdeutschen Kanalgebiet, dem Main-Donau-Gebiet und dem

Weser-Elbe-Oder-Gebiet unterschieden [5], [6]. Gemäß ZBBD beträgt der erfasste Schiffsbestand 4.112 Schiffseinheiten im Jahr 2024 [5]. Laut IVR-Register sind im Januar 2026 3.509 Binnenschiffe unter deutscher Flagge registriert [7].

International ist häufig von der westeuropäischen Flotte die Rede, da die Schiffseinheiten sich häufig nicht auf die einheimischen Fahrtgebiete beschränken, sondern im grenzüberschreitenden Verkehr tätig sind. In diesem Dokument bezeichnet der Begriff „westeuro-

päische Flotte“ die Flotte, die aus Binnenschiffen besteht, die in Belgien, Frankreich, Deutschland, den Niederlanden, der Schweiz und Luxemburg registriert sind. Mit Ausnahme von Luxemburg sind alle betrachteten Länder Mitgliedstaaten der ZKR. Aufgrund der geografischen Lage Luxemburgs erscheint es sinnvoll, dessen Flotte in diese Gruppe aufzunehmen. Darüber hinaus ist der Anteil der in Luxemburg registrierten Schiffe zwar gering, aber in einigen Marktsegmenten nicht unerheblich. Was die Einsatzgebiete betrifft, so fahren die meisten Schiffe der westeuropäischen Flotte auf dem Rhein und seinen Nebenflüssen oder auf den Wasserstraßennetzen ihrer Flaggenstaaten. Dennoch können einige Schiffe unter der Flagge dieser Gruppe auch in anderen Teilen Europas eingesetzt werden (z. B. Kreuzfahrtschiffe auf der Donau oder dem Douro). Neben den knapp 10.000 Frachtschiffen in der westeuropäischen Flotte zählen weitere 3.500 Schiffe, die in den Donaustaaten registriert sind, sowie mehr als 1.200 Schiffen, die in anderen europäischen Ländern registriert sind, zur Binnenflotte Europas [8]. Auch die ZKR geht von ähnlichen Zahlen aus: Im Jahresbericht 2025 ist von „13.392 Schiffe[n], davon 9.160 in den Rheinanliegerstaaten und 3.324 in den Donaustaaten“ [9] die Rede. Diese Zahlen sind vor dem Hintergrund des grenzüberschreitenden Charakters der Binnenschifffahrt ebenso von Belang wie die rein nationalen Zahlen.

Die Anzahl der Neubauten liegt jährlich bei knapp zwei Prozent der Flotte. In absoluten Zahlen variiert die Zahl der jährlichen Nettoveränderung der Flotte zwischen -78 (2023), +92 (2024) und +98 (2025) Einheiten. Die Ge-

samtzahl an Frachtschiffen hat sich von knapp unter 7.000 Einheiten (1969) über 3.500 Schiffe (1993) auf nunmehr zirka 1.800 Schiffe (2025) reduziert. Gleichzeitig sieht man eine Phase der stetig sinkenden Anzahl der Schiffseinheiten seit der Wendezeit, während die Tragfähigkeit eine weniger deutliche Reduzierung erfuhr. Dieser Umstand ist dem Bau immer größerer Einheiten zu verdanken, so dass ein hinsichtlich der Tragfähigkeit größerer Neubau einen kleineren Abgang einer bereits am Transportmarkt operierenden Einheit ersetzt und damit die Gesamttransportkapazität weniger stark einbrechen lässt wie die reine Flottenzahl [5].

Hinsichtlich des Schiffstyps wird die Schiffe der westeuropäischen Flotte in folgende Kategorien unterteilt: Trockenfrachtschiffe (darunter Trockengüterschiffe, Containerschiffe und Ro-Ro-Frachtschiffe), Flüssigfrachtschiffe (darunter Öltanker, Chemikalien-tanker und Gastanker), Fahrgastschiffe (Kreuzfahrtschiffe und Fähren für den Transport von Personen mit oder ohne Fahrzeuge) sowie drei Arten von Schiffen, die zum Schieben und/oder Schleppen von Verbänden nicht selbstfahrender Frachtschiffe (Lastkähne und Leichter) bestimmt sind: Schubboote, Schlepper und Schubschlepper [8].

Zu den 16.570 Schiffseinheiten in der westeuropäischen Flotte zählen im Jahr 2025 8.075 Schiffe für den Transport von trockenem Massengut, 1.993 Einheiten für den Flüssig-guttransport, 2.537 Fahrgastschiffe, 1.600 Schub- und Schleppboote sowie 2.365 sonstige Einheiten [7]. Im westeuropäischen Wasserstraßennetz dominiert die Binnenschifffahrt

mit selbstfahrenden Motorschiffen. Der Anteil der Schubschiffe an der Flotte beträgt lediglich rund 5 % [8]. Hinsichtlich des Alters der Einheiten ist ein stetig steigendes Durchschnittsalter der Binnenschiffe festzustellen. Während Trockengutschiffe und Schubleichter im

Durchschnitt immer älter werden, ist die Entwicklung bei Binnentankschiffen gegenläufig. Angesichts der zahlreichen Neubauten im vergangenen Jahrzehnt ist eine kontinuierliche Absenkung des Durchschnittsalters zu beobachten [5].

Strukturwandel in der Binnenschifffahrt

Die Betriebs- und Eignerstrukturen in der deutschen Binnenschifffahrt sind traditionell äußerst fragmentiert. So ist ein Großteil der Flotte im Eigentum sogenannter Partikuliere, kleinen und meist familiengeführten Unternehmen, die in der Regel ein oder zwei Schiffe besitzen und betreiben. Diese kleinen Unternehmen agieren vielfach nicht isoliert, sondern sind meist in Genossenschaften organisiert oder erbringen ihre Transportleistungen im Auftrag von Reedereien oder Verfrachtern. Daneben existieren einige größere Reedereien, die über umfangreiche Flotten verfügen und eine stärkere Marktposition besitzen [10].

In den vergangenen Jahrzehnten ist ein deutlicher Strukturwandel zu beobachten. So ist die Anzahl der Binnenschiffsunternehmen seit 1980 um knapp 73 % auf etwa 580 zurückgegangen, während sich die Anzahl der von diesen Unternehmen betriebenen Binnenschiffe auf knapp 2.300 Einheiten halbiert hat. Gleichzeitig haben sich die Unternehmen der Binnenschifffahrt gewandelt: ährend ein Unternehmen im Jahr 1980 durchschnittlich zwei Schiffe betrieb, sind es heute gut vier Schiffe pro Unternehmen. Diese in **Abbildung 4** dargestellte Entwicklung wird angesichts der insgesamt abnehmenden Anzahl an Binnen-

schiffsunternehmen so interpretiert, dass die Unternehmensform des Partikuliers, mit ein oder zwei Schiffen, rückläufig ist. Parallel dazu ist die Zahl der insgesamt in der Binnenschifffahrt beschäftigten Personen deutlich gesunken. Besonders betroffen ist das fahrende Personal, dessen Anzahl seit 1980 um nahezu 60 % zurückgegangen ist. Demgegenüber blieb die Zahl des Landpersonals weitestgehend stabil. Auch die ZKR weist seit 2011 einen Rückgang der Unternehmenszahlen bei gleichbleibender Anzahl der beschäftigten Personen aus [4].

Im Zusammenhang mit der personellen Entwicklung der Binnenschifffahrt stellt die Nachwuchssicherung eine zentrale Herausforderung für die Branche dar. Dies betrifft vor allem die Verfügbarkeit von qualifiziertem fahrendem Personal. Zwar befanden sich im Jahr 2024 rund 130 Personen in einer Ausbildung zur Binnenschifffahrtskapitän/in, jedoch erscheint diese Zahl angesichts der demografischen Entwicklung in der Binnenschifffahrt nicht ausreichend, um altersbedingte Abgänge zu kompensieren. So ist die Anzahl der als Binnenschiffskapitän/in beschäftigten Personen bereits seit Jahren rückläufig [12], [13]. Diese Entwicklung kann den Konsolidierungsdruck insbesondere auf kleine familiengeführte Unternehmen weiter verschärfen [13]. Gerade für diese Akteure stellt sich zusätzlich die Frage der Unternehmensnachfolge als herausfordernd dar. So ist die Übernahme eines Schifffahrtsunternehmens mit hohen finanziellen Anforderungen verbunden, etwa für den Erwerb oder die Modernisierung von Schiffen, und geht mit einem erheblichen unternehmerischen Risiko einher. Auch unsichere Markt-

perspektiven infolge des Wandels zentraler Transportsegmente verstärken dies zusätzlich und erschweren die Fortführung von Betrieben insbesondere im Zuge eines Generationswechsels [14].

Zusätzlich wird der Marktzugang durch hohe Eintrittsbarrieren erschwert, die vor allem auf den notwendigen Kapitaleinsatz für Neuinvestitionen, beziehungsweise notwendige Modernisierungsmaßnahmen bestehenden Schiffsraums zurückgeführt werden. Ohne gezielte staatliche Förderinstrumente sind solche Investitionen in der Regel nur für größere Unternehmen realisierbar, was die Konsolidierungstendenzen weiter verstärkt [14].

Neben der Binnenschifffahrt, die den Gütertransport bewältigt, spielen Binnenhäfen eine wichtige Rolle im System. Als physische Schnittstellen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern stellen sie multimodale Knotenpunkte dar. Aufgrund dieser Funktion können wasserseitige Umschlagsmengen erheblich durch ausschließlich landseitige Umschlagsmengen komplementiert werden.

Grundlegend werden Binnenhäfen unterschieden in (I) Servicehäfen, bei denen Eigentümerschaft an Infra- und Suprastruktur ebenso wie der Hafenbetrieb aus einer Hand (privat oder öffentlich) gesteuert werden, (II) Toolports, bei denen Infra- und Suprastruktur in öffentlicher Hand sind, während der Hafenbetrieb durch private Akteure ausgeführt wird sowie in (III) Landlordhäfen, bei denen die Infrastruktur aus der öffentlicher Hand an private Akteure verpachtet wird, die die Suprastruktur stellen und betreiben [15]. Eine Beteiligung

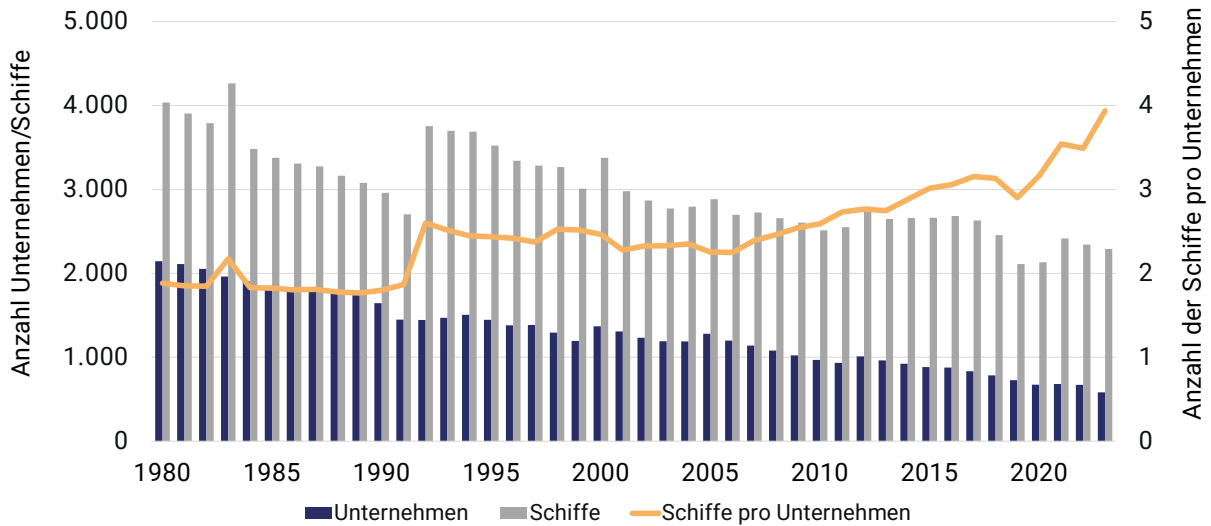


Abb. 4: Entwicklung von Binnenschiffsunternehmen und Schiffen pro Binnenschiffsunternehmen. Eigene Abbildung basierend auf DESTATIS [11]

der öffentlichen Hand ist bei etwa 100 Binnenhäfen in Deutschland gegeben. Gemessen an der umgeschlagenen Menge entfallen etwa zwei Drittel der Umschlagsleistung auf öffentliche Binnenhäfen in Kommunal- oder Landeseigentum, die damit damit Vorgaben und Zielen auf Landes- oder Bundesebene unterliegen. Neben der Kategorisierung entsprechend der Beteiligungsform können Binnenhäfen nach den umgeschlagenen Gütern kategorisiert werden. Neben Binnenhäfen, die sich dadurch auszeichnen, dass viele verschiedene Gütergruppen umgeschlagen werden, können spezialisierte Binnenhäfen ein Abbild der re-

Wettbewerbsfähigkeit und Zukunftsperspektiven

Immer dann, wenn Güter sowohl über die Straße, die Schiene als auch über die Binnenwasserstraßen transportiert werden können, tritt die Binnenschifffahrt in direkten Wettbewerb mit anderen Verkehrsträgern. Ein solcher Wettbewerb besteht dabei nicht flächendeckend, sondern beschränkt sich auf Marktsegmente, in denen Güter hinsichtlich Menge, Wertdichte und Zeitkritikalität mit mehreren Verkehrsträgern befördert werden können. Insgesamt hat die Binnenschifffahrt aktuell einen Anteil von 10 % an der in Tonnenkilometern gemessenen Transportleistung. Gegenüber dem Jahr 1991 ist dies eine Abnahme um etwa vier Prozentpunkte.

In wettbewerbsrelevanten Marktsegmenten zeichnet sich die die Binnenschifffahrt gegenüber der Schiene und der Straße durch geringe Transportkosten aus. Diese resultieren vor allem aus den Abmaßen der eingesetzten Binnenschiffe, die primär durch die befahrenen

gionalen Industrie sein und nur einzelne Gütergruppen umschlagen. Der Umschlagplatz des Kohlekraftwerks in Datteln, ist ein Beispiel für so eine hohe Spezialisierung: Im Jahr 2024 waren hier 99,2 % der Umschlagsmenge auf den Kohleumschlag zurückzuführen.

Vertikale Integration im Binnenschifffahrtsmarkt kann bestehende Entwicklungs- und Konsolidierungstrends verstärken. So gibt es zunehmend Unternehmen, die neben eigenen Häfen oder Terminals auch eigene Binnenschiffsflotten betreiben.

Wasserstraßen begrenzt sind und der damit zusammenhängenden Ladungskapazität. Mit zunehmender Abladetiefe lassen sich Skaleneffekte realisieren, die zu einer Kostendegression führen. Voraussetzung hierfür ist eine möglichst vollständige Ausnutzung der verfügbaren Ladungskapazität. In Fällen, in denen dies nicht möglich ist, oder auf Wasserstraßen mit Größenrestriktionen werden daher vor allem kleinere Einheiten eingesetzt. Auch in diesen Fällen kann die Binnenschifffahrt auf bestimmten Relationen einen Kostenvorteil gegenüber alternativen Verkehrsträgern aufweisen [16]. In intermodalen Transportketten können sich diese Kostenvorteile teilweise relativieren, da zusätzliche Kosten durch einen Vor- und Nachlauf mit einem anderen Verkehrsmittel entstehen. Diese Kostendynamik führt dazu, dass insbesondere Strecken zwischen 40-149 km und zwischen 300-699 km, die sich im Grenzbereich zwischen kurzen und mittleren, beziehungsweise mittleren

und langen Strecken befinden, eine Stärke der Binnenschifffahrt sind. Kürzere oder längere Strecken haben gemessen an der Transportmenge eine geringere Relevanz, da in diesen Entfernungsbereichen häufig spezifische Anforderungen dominieren (etwa zeitkritische Transporte auf kurzen Distanzen oder fehlende Wasserstraßenanbindung), die den Einsatz anderer Verkehrsträger begünstigen. Die Verteilung der Transportmengen nach Entfernungsstufe wird in **Abbildung 5** dargestellt.

Neben dem komparativen Kostenvorteil wird die Binnenschifffahrt häufig als ökologisch nachhaltige Alternative zu Schiene und Straße hervorgehoben. Tatsächlich kann das Binnenschiff im Vergleich mit anderen Verkehrsträgern oft geringere Mengen an Emissionen von Treibhausgasen und Lärm je Tonnenkilometer verursachen. Auch diese emissionsbezogenen Vergleiche sind nur dort aussagekräftig, wo Güter prinzipiell mit mehreren Verkehrsträgern transportiert werden können und hängen zudem maßgeblich von der eingesetzten

Antriebstechnologie und den Streckenprofilen ab [10], [17]. Messungen des Umweltbundesamtes zeigen, dass die durchschnittlichen Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen pro Tonnenkilometer im Schienengüterverkehr mittlerweile unter denen von Binnenschiffen liegen [18]. Ohne Umstellung auf emissionsärmere Motoren oder alternative Antriebssysteme besteht daher die Gefahr, dass die Binnenschifffahrt ihren ökologischen Wettbewerbsvorteil insbesondere gegenüber der Schiene weiter einbüßt.

Grundsätzlich gilt die Binnenschifffahrt als zuverlässiger Verkehrsträger, der eine hohe Planbarkeit in industriellen Prozessen erlaubt und somit eine Integration in just-in-time-Lieferungen ermöglicht. Diese Zuverlässigkeit liegt darin begründet, dass es durch ausreichende Kapazitäten auf den Wasserstraßen selten zu Staus wie auf der Straße oder Trassenkonflikten wie im Bereich des Schienengüterverkehrs kommt. Einschränkungen der Zuverlässigkeit ergeben

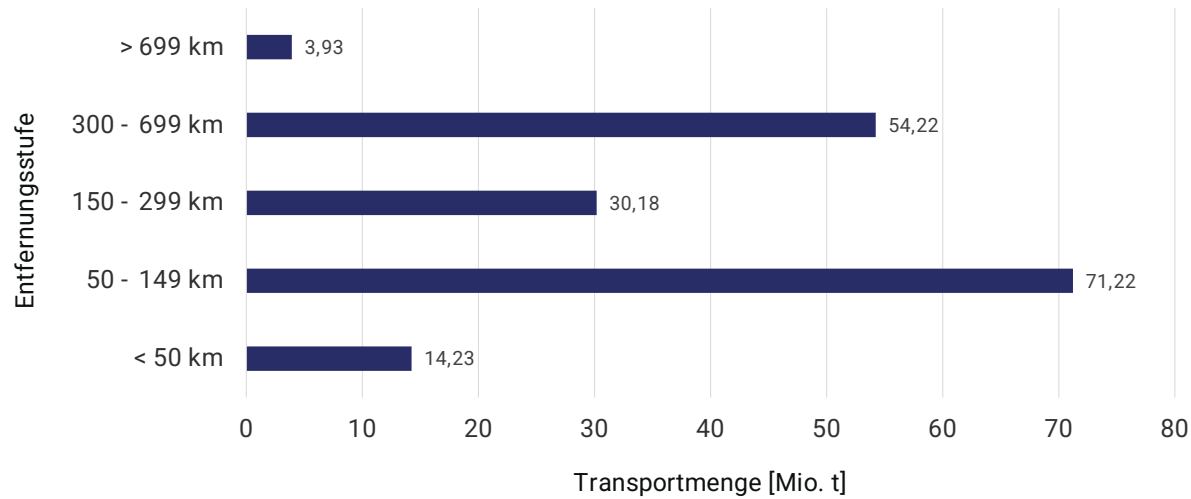


Abb. 5: Transportmenge in Deutschland nach Entfernungsstufe. Eigene Darstellung basierend auf DESTATIS [3]

sich insbesondere durch Wetterereignisse, wie Hoch- oder Niedrigwasser, wodurch die Befahrbarkeit oder Abladetiefen auf einzelnen Strecken begrenzt sein können. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und damit verbundener Extremwetterereignisse wird zunehmend mit derartigen Einschränkungen zu rechnen sein. Auch infrastrukturelle Engpässe können die Zuverlässigkeit der Binnenschifffahrt begrenzen. Ein anschauliches Beispiel ist der Ausfall der Schleuse Müden an der Mosel im Winter 2024/2025, die den Schiffsverkehr über mehrere Monate einschränkte.

Unter ökonomischen wie ökologischen Gesichtspunkten wird der Binnenschifffahrt in Deutschland weiterhin ein großes Potenzial zur Bewältigung zukünftiger Transportmen-gen attestiert. Entsprechende Zielsetzungen zum Ausbau der wasserseitigen Anbindung

von Binnenhäfen und der Verbesserung der Befahrbarkeit der Binnenwasserstraßen und der Erweiterung von Brücken und Schleusen finden sich seit längerem in verkehrspoliti-schen Zielen und Programmen [19]. Zuletzt wurden diese Zielsetzungen und Ansätze in der aktuellen Nationalen Hafenstrategie des Bundes bekräftigt und weiterentwickelt. Die tatsächliche Bestandsaufnahme der Infra-struktur zeigt jedoch, dass diese Zielsetzungen bislang nur eingeschränkt umgesetzt wurden. Zahlreiche Binnenwasserstraßen sowie zugehörige Schleusen, Brücken und Wehre befin-den sich oft in einem sanierungsbedürftigen Zustand. Um die Leistungsfähigkeit der Bin-nenschifffahrt zu stärken, ist es notwendig, bestehende Rückstände bei Instandhaltungen abzubauen und notwendige Ausbauvorhaben voranzubringen [20].

Der Markt der Binnenschifffahrt im Wandel

Die Binnenschifffahrt ist ein wesentlicher Bestandteil des deutschen und europäi-schen Güterverkehrssystems, steht jedoch vor einem strukturellen Wandel. Während Massengüter und Container auch in Zukunft weiterhin tragende Segmente sein werden, verliert der Transport fossiler Energieträger langfristig an Bedeutung. Auch die Flotte befindet sich in einem Wandel, der von einer sinkenden Anzahl an Schiffseinheiten so-wie einem Anstieg von der durchschnittlichen Größe und des Alters der einzelnen Ein-heiten geprägt ist. Der Markt ist derzeit durch kleinteilige Eigentumsstrukturen, zu-nehmende Konsolidierung und einen wachsenden Fachkräfte- und Nachfolgeengpass geprägt. Kostenvorteile, ökologische Potenziale und eine hohe Planbarkeit sichern der Binnenschifffahrt weiterhin Wettbewerbsvorteile, die jedoch durch infrastrukturelle Engpässe, Klimarisiken und Investitionsrückstände zunehmend unter Druck geraten.



Automatisierung in der Binnenschifffahrt

Die Automatisierung der Binnenschifffahrt kann eine transformative Entwicklung darstellen, die den Übergang von traditionellen, personalintensiven Prozessen zu hochgradig autonomen Systemen ermöglicht und damit beispielsweise Effizienz, Sicherheit sowie Nachhaltigkeit im Güterverkehrssystem steigert. Neben der Navigation gibt es, basierend auf einer projektbezogenen Literaturrecherche, insgesamt 13 Hauptkategorien von Aufgaben im Zusammenhang mit dem Schiffsbetrieb, die von der Automatisierung betroffen sein können. Diese Aufgaben betreffen die Bereiche Warten, Anlegen, Festmachen, Stauplanung, Umschlag, Bunkern, Überwachung, Instandhaltung und Qualitätssicherung, Kommunikation, Freizeit, Management und Sonstiges. Das Projekt RAIN befasst sich mit den Themenbereichen Navigation, An- und Ablegen, Kommunikation, Zustandsüberwachung, Antriebstechnologien und Netzinfrastruktur. Diese Bereiche können beispielsweise durch innovative Technologien wie Fernsteuerung, KI-gestützte Assistenzsysteme und Sensornetzwerke revolutioniert werden.

Navigation

Laut ZKR umfasst die Navigation eines Binnenschiffs alle Tätigkeiten, die nötig sind, um das Schiff sicher, regelkonform und effizient vom Ursprungsort zum Bestimmungsort innerhalb des Fahrwassers zur Reise zu führen [21], [22].

Dazu gehören (i) die Planung der Reisedurchführung, insb. des Fahrwegs, (ii) die Festlegung und Einhaltung des Kurses innerhalb von Fahrwasser und Fahrrinne, (iii) die Manöver in den verschiedenen Streckenabschnitten und bei unterschiedlichen Wasserständen, (iv) die fortlaufende Positionsbestimmung, (v) die kontinuierliche Überwachung von Verkehrslage, (vi) die Berücksichtigung von Umwelt- und Randbedingungen sowie (vii) die Einhaltung von Verkehrsregeln und Sicherheitsbestimmungen.

In der von EBU, ESO und ETF herausgegebenen Studie „TASCS – Towards a sustainable crewing system“ wurden die verschiedenen Kategorien von Aufgaben in der Schiffsführung näher beleuchtet. So umfasst das Aufgabengebiet

der Schiffsführung neben der Navigation auch den Schiffsbetrieb, den Ladungsumschlag, die regelmäßige Inspektion der Ausrüstung, die Wartung, Instandhaltung und Reparatur, die Kommunikation sowie die Behandlung von Notfällen [23]. Zu den klassischen nautischen Operationsszenarien zählen Manöver wie das Wenden, Anlegen und Ablegen ebenso wie Begegnungen, das Kreuzen und Überholen. Ebenso gehören die Einfahrt in Häfen, die Passage von Schleusen und Brücken sowie die Navigation durch Einmündungen und Kurven dazu.

Die Automatisierung der Navigation ist seit einem Jahrzehnt ein Thema, das sich in der Binnenschifffahrt Bahn bricht [24]. Der Automatisierungsgrad beschreibt, inwieweit ein automatisiertes Fahrzeug während der Fahrt eigenständig betrieben werden kann. Abhängig vom jeweiligen Kontext lassen sich dabei unterschiedliche Stufen der Automatisierung erreichen.

Die ZKR definiert gemäß ihrer internationalen Klassifikation sechs Automatisierungsgrade (0 bis 5) für die Binnenschifffahrt, die den Übergang von manueller Steuerung zu vollautonomer Fahrt beschreiben und explizit die Rolle der Fernsteuerung berücksichtigen [27].



- Beim **Grad 0** handelt es sich um keine Automatisierung: Der Schiffsführer übernimmt vollständig das Manövrieren, den Antrieb, die Höhenverstellung des Steuerhauses, die Umgebungsbeobachtung und die Reaktion auf Ereignisse, unterstützt durch Hilfsmittel wie Radar.
- **Grad 1** (Fahrerassistenz) umfasst Systeme wie Bahnführungsassistenten oder Wendegeschwindigkeitsregler, die Spur oder Geschwindigkeit automatisch halten, wobei der Schiffsführer stets überwacht und verantwortlich ist.
- Bei **Grad 2** (partielle Automatisierung) führt das System teilweise Manöver wie Schleusendurchfahrten autonom aus, während der Schiffsführer beaufsichtigt und bei Bedarf eingreift.
- **Grad 3** (bedingte Automatisierung) ermöglicht kollisionsfreien Betrieb unter definierten Bedingungen, mit dem Schiffsführer als ständig verfügbarer Rückfallebene.
- **Grad 4** (hohe Automatisierung) erlaubt den normalen Betrieb ohne dauerhaftes menschliches Eingreifen an Bord, unterstützt durch eine vollständige Rückfallebene wie Fernsteuerung; hier sind zwei Untervarianten möglich, die unterschiedliche Fernsteuerungsformen einbeziehen.
- **Grad 5** (vollautonom) beschreibt abschließend einen Betrieb ohne Erwartung eines menschlichen Eingriffs, wobei Fernsteuerung grundsätzlich denkbar bleibt, aber nicht vorausgesetzt wird.

Diese Grade wurden 2018 eingeführt, 2022 präzisiert und berücksichtigen Pilotprojekte, die oft Kombinationen mehrerer Stufen nutzen, um Sicherheit, Recht und Ethik zu gewährleisten und Fernsteuerungsoptionen zu prüfen [27], [30].

Hinsichtlich der Fernsteuerung und Fernüberwachung ist die Rolle des Leitstands noch weiter zu spezifizieren. Im Englischen ist dabei zwischen einem Remote Operation Centre (ROC) und einem Remote Control Centre (RCC) zu unterscheiden. ROC und RCC werden in maritimen und industriellen Kontexten oft syno-

nym oder ähnlich verwendet, unterscheiden sich aber leicht im Fokus, besonders bei autonomer Binnenschifffahrt. Ein RCC konzentriert sich primär auf die Fernsteuerung von Fahrzeugen oder Systemen. Hier übernehmen Operatoren aktiv die Kontrolle über Manöver, Navigation oder spezifische Aufgaben (z. B.

Kollisionsvermeidung), typisch für Automatisierungsgrad 4 der ZKR, wo menschliche Eingriffe als Rückfallebene erfolgen. Es dient der direkten, zeitnahen Steuerung ohne ständige Präsenz an Bord. Das ROC hingegen umfasst umfassendere Fernoperationen, inklusive Monitoring, Diagnose, Wartung und Optimierung ganzer Flotten oder Anlagen. Es integriert Datenanalyse, Predictive Maintenance und 24/7-Überwachung, oft mit KI-Unterstützung, und geht über reine Steuerung hinaus – z. B. in der Schifffahrt für hybride autonome Systeme oder bei Anlagenbetreibern für Kraftwerke und andere komplexe Systeme. Auch im Forschungs- und Entwicklungskontext etablieren sich derzeit verschiedene Konzepte am Markt, sowohl aus nationalen Entwicklungsinitiativen als auch als Resultat der Marktpräsenz im benachbarten Ausland. Im Folgenden wird sich auf den umfassenderen Begriff des ROC konzentriert, da dieser das RCC beinhaltet.

Die Fernsteuerung nimmt in der Einordnung der ZKR bezüglich der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt eine zentrale Rolle als Sicherheits- und Rückfallmechanismus ein, insbesondere bei höheren Graden, in de-

nen keine fortlaufende menschliche Präsenz an Bord erforderlich ist. Bei den niedrigeren Graden 0 bis 3 bleibt die Fernsteuerung optional bzw. ergänzend: Sie kann die Navigation unterstützen (z. B. als Assistenz in Grad 1 oder bei partiellen Manövern in Grad 2), ersetzt jedoch nicht den verantwortlichen Schiffsführer an Bord, der die Umgebungsbeobachtung übernimmt und bei Bedarf eingreift. Ab Grad 4 (hoher Automatismus) wird sie essenziell: Der normale Betrieb erfolgt ohne dauerhaftes menschliches Eingreifen an Bord, wobei eine Fernsteuerzentrale (z. B. RCC) als vollständige Rückfallebene für Steuerung, Kollisionsvermeidung oder Notfälle dient; die ZKR sieht hier zwei Untervarianten mit unterschiedlichen Fernsteuerformen vor. Bei Grad 5 (voll-autonom) ist keine menschliche Intervention erwartet, dennoch bleibt die Fernsteuerung grundsätzlich möglich und als optionale Sicherheitsstufe denkbar. Insgesamt adressiert die Fernsteuerung den Fachkräftemangel, ermöglicht Pilotprojekte und gewährleistet hohe Sicherheitsstandards durch Echtzeit-Datenübertragung (z. B. Sensoren, AIS, Radar), unabhängig vom Automatisierungsgrad [26].

halt der Liegeplatzanfrage weist der Terminalbetreiber im Vorfeld der Ankunft den neu angekommenen Binnenschiffen einen Liegeplatz an seinem Terminal zu. Bei der Ankunft wird dessen aktueller Belegungsstatus überprüft und bei Verfügbarkeit eine Bereitschaftsmeldung gesendet. Im Falle eines derzeit belegten Liegeplatzes weist die Hafenbehörde (anstelle des Terminalbetreibers) eine Warteposition

zu, die der Terminalbetreiber nach einer Liegeplatzbelegungsmeldung bei der Hafenbehörde angefordert hat. Die Hafenbehörde antwortet mit einem zugewiesenen Warteplatz, zu dem das Binnenschiff fahren und an dem es warten kann, bis der Terminalbetreiber die Bereitschaft des Liegeplatzes signalisiert hat. Sobald das Signal gegeben wurde, kann das Binnenschiff zum Terminal fahren und dort anlegen [27].

Das An- und Ablegen umfasst die präzise Anfahrt zu einem Liegeplatz zur sicheren Vertäuerung (Festmachen) sowie die Abfahrt nach dem Rückbau der physischen Verbindung zwischen Schiff und Landseite. An dem An- und Ablegeprozess ist die gesamte Besatzung beteiligt, da diese eingewiesen wird, bevor die Fender ausgebracht, die Leinen klargemacht und Motor sowie Bugstrahlruder geprüft werden. Der Anfahrtswinkel ist mit zirka 30 bis 45 Grad hinreichend flach, so dass das Binnenschiff mit Ruderwirkung parallel zur Kaikante anlegen zu können. Den Prozess umgeben zahlreiche Vorschriften, etwa in der Binnenschiffspersonalverordnung (BinSchPersV) zur Kommunikation, so dass die Sicherheit mit Hilfe von klaren Kommandos und hinreichender Kenntnis der Ausrüstung jederzeit gewährleistet werden kann.

Der Fest- und Losmachvorgang umfasst das sichere Vertäuen bzw. Lösen des Binnenschiffs an Liege-, Lade- oder Umschlagstellen wie Kai, Ponton oder Dalben durch die Besatzung, um es gegen Strömung, Wind und Wellengang zu sichern. Typischerweise weist ein korrekt festgemachtes Binnenschiff vier Leinenverbindungen zwischen Schiff und Land auf, näm-

lich die Vorleine, Vorspring, Achterspring und die Achterleine. Regeln wie die Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) fordern ausreichende Wassertiefe und Verkehrsregeln; insbesondere die Gewährleistung der Sicherheit ist durch Abstimmung und Ausrüstungsprüfung vorgeschrieben.

Sowohl der An- und Ablegevorgang eines Binnenschiffs als auch das Fest- und Losmachen sind in der BinSchStrO geregelt, da beide Sachverhalte in Deutschland, insbesondere den Vorschriften im Kapitel 7 (§§ 7.01–7.08) sowie speziellen Regelungen für Liegestellen (§ 7.05, 9.02), unterliegen. Die Verantwortung für die sichere Durchführung dieser Vorgänge obliegt allein dem Schiffsführer.

Im Zuge der Automatisierung steht nun zur Debatte, inwieweit Assistenzsysteme an Bord der Schiffe oder auf der Landseite den Prozess unterstützen oder sogar übernehmen können. Dies gilt sowohl für den An- und Ablegevorgang als auch für den Fest- und Losmachprozess. Eine Verlagerung der Technik auf die Landseite hätte weitreichende Implikationen, da sie den geltenden Vorschriften in der Binnenschifffahrt widersprechen und somit eine Anpassung der Vorschriften erforderten. Auch der gewünschte Automatisierungsgrad der künftigen Prozesse ist noch nicht final bestimmt, da es auch eine Option sein kann, die Prozesse so wie heute zu belassen und lediglich die personelle Zuständigkeit und Verantwortung ggf. auf die Landseite, etwa den Hafen, das Terminal oder gar eine Drittpartei, zu übertragen.

Bisherige technologische Fortschritte nehmen primär Anleihen aus dem See- und Küstenschiffahrtsbereich, in dem einzelne Lösungen bereits erfolgreich umgesetzt und heute im Einsatz sind. Spezielle Lösungen für die Binnenschiffahrt sind selten, aber durchaus vorhanden. In der Regel handelt es sich dabei um sogenannte „Rope-Picker-Roboter“, die einen vorgefertigten Palstek mittels Greifer aufnehmen und zum Poller verbringen, bevor er um den Poller gelegt und mit Hilfe einer Win-

Schiffsseitige Kommunikationstechnik

Die Kommunikation zwischen Schiff und Schiff oder Schiff und Land ist streng im Handbuch Binnenschiffahrtfunk geregelt, welches sich in den Allgemeinen Teil [28] und regionale Teile aufteilt. So ist unter anderem vorgeschrieben, dass zwei Sprechfunkanlagen vorhanden sein müssen. Der Funk findet dabei auf vereinbarten Kanälen und Betriebsverfahren (sogenannte Verkehrskreise) statt. Die Verkehrskreise umfassen dabei Schiff-Schiff, nautische Informationen, Schiff-Hafenbehörde und Funkverkehr an Bord. Der Allgemeine Teil des Handbuchs Binnenschiffahrtfunk beinhaltet eine Tabelle, welche Kanalzuordnung, Verkehrskreis und die Benutzung durch Vertragsverwaltungen regelt.

Neben der manuellen Kommunikation per Funk, ist nach der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung ein Inland AIS Gerät verpflichtend, welches die Verfolgung und Ortung von Schiffen zu bestimmten Zwecken ermöglicht. So ist es möglich, sich über die Identität, aktuelle Fahrdaten und Manöver anderer Schiffe zu informieren.

de bis zur gewünschten Spannung festgezogen wird.

Angesichts der Vielzahl heterogener Anlegestellen und Festmachereinrichtungen, etwa in den Seehäfen und den Binnenhäfen mit den Kanten- und Dalbenpollern sowie den Schleusen mit ihren Nischenpollern, sind die ersten Lösungen lediglich erste Machbarkeitsnachweise, bieten aber noch keinen universellen Lösungsansatz an.

Abseits der regulatorierten Seite der Kommunikation findet unter Umständen auch ein weiterer sprachbasierter Informationsaustausch statt. Für solche Gespräche zwischen den verschiedenen Beteiligten wird unter anderem eine klassische telefonische bzw. mobilfunktechnische Verbindung eingesetzt.

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Kommunikation umfassen unter anderem das elektronische Melden (ERI), welches Papierlisten durch digitale Daten ersetzt [29] und River Information Services (RIS), welches umfangreiche Informationen aus der Binnenschiffahrt umfasst.

Mögliche Innovationen in der Zukunft ist zum Beispiel automatisierte Kommunikationen zwischen dem Schiff und anderen Schiffen oder Infrastruktur, wie Schleusen und aktuierte Brücken. Eine andere Technologie ist das VHF Data Exchange System (VDES), wovon AIS ein Teil ist. VDES ermöglicht jedoch die Übertragung komplexerer Datenmengen [30].

Zustandsüberwachung

Die Überwachung der Anlagen auf Schiffen erfolgt weitestgehend manuell, beispielsweise über Manometer, die abgelesen werden, um den Öldruck zu bestimmen oder Thermometer für die Überwachung der Temperatur. Die Wartung wird größtenteils reaktiv durchgeführt, eine Reparatur erfolgt in der Regel erst, nachdem bereits der Defekt eingetreten ist. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Beurteilung des Schiffszustands stark von der subjektiven Wahrnehmung des Schiffsführers abhängt und keine Daten zur Unterstützung bzw. Einschätzung des Zustands genutzt werden.

Insbesondere rotierende Anlagen können zukünftig mit Hilfe von Schwingungssensoren überwacht werden, was eine datenbasierte Analyse des Zustands zulässt. So können beispielsweise Wellen und Lager überwacht werden und Defekte frühzeitig erkannt werden, was eine vorausschauende Wartung erlaubt.

Antriebstechnologien und Energiebedarfe

Die aktuelle Binnenflotte setzt sich aus unterschiedlichen Schiffen zusammen, die sich in ihrer CEMT-Klassifikation, Alter und Einsatzprofil stark unterscheiden und für unterschiedlichste Anforderungen ausgelegt sind. Trotz der starken Heterogenität ist der klassische dieselmotorbetriebene Motor am weitesten verbreitet. Abseits dieser Technologie existieren weitere, die sich in technologischer und Marktreife unterscheiden. In diesem Zusammenhang ist auch die Entwicklung des damit einhergehenden Regelwerkes unterschiedlich. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass für

Mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen, kann außerdem die Struktur des Schiffs überwacht werden. Die Messung von Emissionen erlaubt neben einer Überwachung des Zustands der Technik ebenfalls die Kontrolle der Einhaltung von Umweltauflagen. Leistungsfähige Bordrechner (Edge Computing) ermöglichen die Vorverarbeitung und Filterung von Daten, bevor diese an Land gesendet werden.

Die intelligente Vernetzung von Schiffen, Häfen und logistischen Infrastrukturen durch digitale Technologien ermöglicht es, Daten zwischen Schiffssystemen, Hafenanlagen und landseitigen Akteuren in Echtzeit auszutauschen. Dadurch können Abläufe effizienter, sicherer und umweltverträglicher gestaltet werden. Durch diese Vernetzung werden innovative Anwendungen möglich - etwa vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance), automatisierte Prozesse oder eine optimierte Routenplanung [31].

einen Markthochlauf zusätzliche Voraussetzungen, insbesondere infrastrukturelle, gegeben sein müssen [32].

Zeitnah einsetzbare Alternativen, die ausgereift sind, für die es ein Reglement gibt und die keiner weiteren Einschränkungen unterliegen, sind beispielsweise Verbrennungsmotoren, die mit Drop-in-Kraftstoffen wie BTL (Biomass-to-Liquid) und HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) betrieben werden.

Eine vergleichbare Voraussetzung bieten batteriebetriebene Binnenschiffe. Dabei können die Batteriesysteme entweder in den Schiffsrumpf integriert oder in einem austauschbaren Containermodul untergebracht werden. Eine weitere Möglichkeit zur Energiebereitstellung ist die Nutzung von LNG (Liquefied Natural Gas, engl. für Flüssigerdgas) oder flüssigem Bio-Methan (LBM, Liquefied Biomethane). Hierbei können sowohl Dual-Fuel-Motoren als auch reine Gasmotoren zum Einsatz kommen. Dies kann wiederum als Direktantrieb oder als gaselektrischer Antrieb, angelehnt an den die-selelektrischen Antrieb, verwendet werden.

Mittelfristig verfügbare Technologien, bei denen aktuell beispielsweise noch Zulassungs-fragen offen sind oder die notwendige Bunker-infrastruktur fehlt, sind Binnenschiffe, die mit Methanol betrieben werden. Methanol kann dabei in modifizierten Verbrennungsmoto-ren genutzt werden oder als Energieträger für Wasserstoff-Brennstoffzellen fungieren. Bei Verbrennungsmotoren können sowohl Dual-Fuel- als auch Ottomotoren infrage kommen.

Ein weiterer mittelfristiger Energieträger für den Antrieb von Binnenschiffen könnte Was-serstoff sein. Für den Antrieb kommen entwe-der modifizierte Verbrennungsmotoren oder PEM-Brennstoffzellen in Frage. Beim Einsatz in Brennstoffzellen spielt die Reinheit des Wasserstoffs jedoch eine entscheidende Rolle.

Netzinfrastruktur (Wasserstraße)

Entlang der Wasserstraßen sind auch an Land bestimmte infrastrukturelle Voraussetzungen

Gemäß DIN EN 17124 muss die Wasserstoff-reinheit mindestens 99,97 Vol.-% betragen.

Als mögliche langfristig nutzbare Option für die Energiebereitstellung bzw. für den An-trieb lässt sich Ammoniak anführen. Der ent-scheidende Vorteil von Ammoniak als Was-serstoffspeichermedium ist die höhere Dichte des enthaltenen Wasserstoffs im Vergleich zu komprimiertem oder flüssigem Wasserstoff. Bei der Nutzung von Ammoniak als Wasser-stoff-Speichermedium für Brennstoffzellen wird dieser an Bord mittels eines Crackers in Stickstoff und Wasserstoff zerlegt. Bei Ver-brennungsmotoren kommen entweder Dual-Fuel-Systeme oder Gasmotoren zum Einsatz, bei denen Wasserstoff beigemischt wird, um die Zündbarkeit zu gewährleisten.

Aufgrund der erwähnten Heterogenität der Flotte und der unterschiedlichen Anforderun-gen ist es außerdem möglich, dass sich keine einzelne Lösung durchsetzt und stattdessen mehrere Lösungen gleichzeitig innerhalb der Flotte zur Anwendung kommen. So haben jede Antriebstechnologie und jeder Kraftstoff unterschiedliche Vor- und Nachteile bzgl. der technischen, wirtschaftlichen oder organisa-torischen Eigenschaften. Die von der ZKR vor-gestellten Übergangsszenarien beschreiben ein konservatives, welches auf bereits ausge-reiften Technologien beruht und ein innovati-ves, welches sich auf Technologien stützt, wel-che aktuell noch unausgereift sind [33].

zu erfüllen. Ein sicheres autonomes Fahren wird erst durch die Übermittlung zusätzlicher

Informationen von Land – etwa aktuelle Was-serstraßenbefunde wie detaillierte Pegel-, Pei-lungs- und Strömungsdaten – gewährleistet. Die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander lässt sich am einfachsten über standardisierte mobile Datenübertragung realisieren. Zudem können Mobilfunksignale für eine präzise Po-sitionsbestimmung genutzt werden. Aus die-sem Grund ist eine zuverlässige Datenübertra-gung durch lückenlose Anbindung zunächst mit 4G/LTE- und zukünftig mit 5G-Standard entlang der Wasserstraßen erforderlich. Der 5G-Standard ermöglicht durch den Einsatz höherer Frequenzbereiche und gesteigerter Frequenzkapazitäten Datenraten von bis zu 10 Gbit/s sowie die gleichzeitige Ansprache von 100 Milliarden Mobilfunkgeräten weltweit, unterstützt durch Echtzeitübertragung mit La-tenzzeiten unter einer Millisekunde.

Vergangene Forschungs- und Entwicklungs-projekte in Deutschland sowie im benach-barten Ausland brachten jedoch zutage, dass anstatt von 5G in vielen Fällen bereits 4G aus-reichen dürfte, um ferngesteuertes und auto-matisiertes Fahren auf der Wasserstraße zu ermöglichen. Während einige Fahrtgebiete über eine hohe Netzdichte verfügen, sind an-

dere Gebiete etwas geradezu schwach ver-sorgt. Dementsprechend wurden in den letz-ten Jahren zahlreiche eigene AIS-Stationen aufgemacht, nachdem sie bereits über viele Jahre angekündigt wurden.

Neben den zuvor genannten Technologien stel-len auch Satelliten-Systeme eine Möglichkeit zur Vernetzung dar. Während Starlink und Eutelsat mit ihren Satelliten-Systemen eine globale Abdeckung garantieren, ist Mobilfunk (bspw. 5G) von Funkmasten abhängig, welche außerdem anfälliger für Manipulationen sind. Vorteile von Mobilfunk sind insbesondere eine geringere Latenz und eine höhere Geschwin-digkeit. Im Gegensatz zu Starlink ist Eutelsat eine Lösung aus dem europäischen Raum. Eu-telsat bietet zusätzlich bereits Lösungen spe-ziell für Seeschiffe an.

Mit IRIS² wird in den kommenden Jahren au-ßerdem ein von der EU gefördertes Satelliten-System gefördert. Bis 2028 sind der Entwurf und die Entwicklung geplant. Die Einführung ist für 2029 und 2030 geplant, während der Ver-trag vorerst eine anschließende Nutzung bis 2037 vorsieht [34].

Automatisierung in der Binnenschifffahrt

Die Automatisierung in der Binnenschifffahrt könnte einen Paradigmenwech-sel markieren, der möglicherweise durch Fortschritte zum Beispiel in den Be-reichen Antriebstechnologie und Navigation vorangetrieben wird. Dem stehen jedoch mögliche Herausforderungen wie regulatorische Anpassungen oder der Fachkräfte-mangel gegenüber. Die Mannigfaltigkeit der adressierten Themen und die Vielzahl der jeweils möglichen Ergebnisse zeichnen einerseits die Unklarheit der Entwicklung aus, andererseits unterstreichen sie die Notwendigkeit, sich diesem Aspekt zu widmen.

Rechtliche Rahmenbedingungen für Automatisierung in Binnenhäfen

Binnenhäfen als komplexer Regulierungsraum für automatisierte Binnenschifffahrt

Während die Automatisierung der Binnenschifffahrt auf Bundeswasserstraßen bereits seit einigen Jahren diskutiert wird, rücken Binnenhäfen in diesem Kontext erst allmählich in den Fokus der rechtlichen Betrachtung. Dabei stellen gerade sie einen hochkomplexen Regelungsraum dar: Binnenhäfen sind zugleich Verkehrsanlagen, Industrie- und Logistikstandorte, Arbeitsstätten sowie – insbesondere in urbanen Räumen – Teil des städtebaulichen Gefüges. Die Einführung automatisierter oder teilautomatisierter Schiffe trifft hier auf eine vielschichtige und historisch gewachsene Regelungslandschaft. Diese ist weniger durch einheitliche Kodifikationen als vielmehr durch eine fragmentierte Zuständigkeits- und Regelungsstruktur geprägt.

Die folgenden Ausführungen beruhen daher auf einer umfassenden Analyse der aktuellen Rechtslage, wie sie im Rahmen eines begleitenden Rechtsgutachtens für das Projekt RAIN erarbeitet wurde (siehe **Anhang**). Dieser Abschnitt dient der Herleitung des komplexen regulatorischen Rahmens, in dem sich die Automation der Binnenschifffahrt und der Binnenhäfen bewegt. Im Fokus stehen dabei zunächst die grundlegenden Begrifflichkeiten und die Systematik des Hafenrechts, gefolgt von einer detaillierten Untersuchung der Kompetenzverteilung zwischen Bund und Ländern. Ein wesentlicher Schwerpunkt liegt auf der Analyse der im Endeffekt technischen Zulassungshürden nach dem europäischen Standard ES-TRIN, der in § 2 der Binnenschifffahrtsuntersuchungsordnung (§ 2 BinSchUO) legal definiert wird, bezeichnet den europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe in der Ausgabe 2019/1, der von CESNI angenommen wurde; bei seiner Anwendung ist unter „Mitgliedstaat“ ein Mitgliedstaat der Europäischen Union oder der ZKR zu verstehen. Zudem wird beleuchtet, wie verhaltensrechtliche Pflichten und ungeschriebene Schifffahrtsbräuche die Implementierung automatisierter Systeme beeinflussen und welche Anforderungen daraus für ein gleichwertiges Sicherheitsniveau resultieren [35].

Einordnung und Systematik des Hafenrechts

Die rechtliche Durchdringung der Automatisierung in der Binnenschifffahrt und deren Häfen erfordert zunächst eine präzise Einordnung der anwendbaren Rechtsmaterien. Nach allgemeinem Sprachgebrauch definiert sich ein Hafen als ein natürlicher oder künstlich angelegter Anker- und Liegeplatz für Schiffe, der mit spezifischen Einrichtungen zum Abfertigen von Personen und Frachtgut ausgestattet

ist [36]. Das dort anwendbare Recht, das sogenannte Hafenrecht, erweist sich in der Praxis als äußerst vielgestaltige Natur. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass Häfen als multimodale Schnittstellen fungieren, in denen mannigfaltige Tätigkeiten und Rechtsbereiche aufeinandertreffen. Wie auch das Binnenschifffahrtsrecht stellt das Hafenrecht dabei kein isoliertes Einzelgesetz dar, sondern viel-

mehr eine Sammlung verschiedenster Rechtsmaterien, die Sachverhalte im räumlichen und funktionalen Bereich des Hafens betreffen. Da Häfen die denkbare Voraussetzung für jede Güterbeförderung auf Schiffen darstellen, bestehen hier weitreichende Überschneidungen, die entlang des gesamten Lebenszyklus eines Automationsproduktes nachverfolgt werden müssen.

Rechtliche Fragestellungen treten dabei bereits im Stadium der Erstellung und Inverkehrgabe von automatisierten Systemen auf. In diesem frühen Stadium werden Sachverhalte regelmäßig im Rahmen von Zulassungen oder Genehmigungen relevant, die als regulative Einzelfallentscheidungen des Staates, meist in Form von Verwaltungsakten, ausgestaltet

sind. Sobald eine erlaubte Inverkehrgabe erfolgt ist, wandelt sich der Fokus der rechtlichen Betrachtung hin zu Gesichtspunkten der Haftung und Verantwortlichkeit, die sich sowohl im Zivil- als auch im Strafrecht widerspiegeln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Automationsprodukte sowohl auf dem Schiff als auch an Land installiert werden können. Eine umfassende Beleuchtung der Rahmenbedingungen muss daher beide Sphären gleichermaßen betrachten, insbesondere da Manöver wie das Anlegen und der eigentliche Umschlag die entscheidenden Schnittstellen bilden, an denen eine Automatisierung der Logistikkette ihren praktischen Wert beweisen muss. Zudem muss unterschieden werden, ob die Automation eine nautische Funktion des Schiffs oder eine reine Umschlagsfunktion betrifft.

Schifffahrtsprivileg - Kompetenzverteilung für den Schiffsbetrieb auf Hafengewässern und an Hafenanlagen bzw. Umschlagsplätzen

Ein zentraler Aspekt der Untersuchung ist das sogenannte Schifffahrtsprivileg als Folge der Regelungskompetenz des Bundes gegenüber der wasserrechtlichen Verwaltungs- und Gesetzgebungszuständigkeit der Länder. Die jeweiligen Hafenverordnungen der Länder geben meist Aufschluss darüber, dass die Kompetenz für die Hafennutzung zwar landesrechtlich verortet, jedoch einer weitgehenden Vereinheitlichung unterworfen ist. Auf Basis landesrechtlicher Ermächtigungen in den Wassergesetzen erlassen die zuständigen Behörden Hafenverordnungen, die den Verkehr im Hafen normieren. Auffällig ist hierbei die regelmäßige Verweisung auf die Binnenschifffahrtsuntersuchungsordnung (BinSchUO), welche die technische Zulassung der Schiffe

regelt. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Verweise deklaratorischer oder konstitutiver Natur sind. Für die Akteure der Hafenwirtschaft ist dies von erheblicher Bedeutung, da geklärt werden muss, inwieweit ein Hafenbetreiber innovative Techniken steuern kann oder, ob er den allgemeinen Anforderungen der Schifffahrt zwingend anerkennen muss.

Verfassungsrechtlich weist das Grundgesetz dem Bund in Art. 74 Abs. 1 Nr. 21 die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz [37] für die Binnenschifffahrt zu. Dieser Begriff umfasst den Verkehr mit sämtlichen Wasserfahrzeugen auf Flüssen, Kanälen und sonstigen Binnengewässern in seiner Gesamtheit. Theoretisch könnte der Bundesgesetzgeber hiernach

umfassende und einheitliche Anordnungen für das gesamte Bundesgebiet treffen. In der bisherigen Praxis hat der Bund diese Kompetenz jedoch primär für den Bereich der Bundeswasserstraßen ausgeübt, während die Regulierung des Verkehrs auf Gewässern Binnenhäfen nach dem erkennbaren Willen des Gesetzgebers weitgehend Landessache blieb. Diese Trennung findet scheinbar ihre historische Begründung unter anderem in den parlamentarischen Beratungen [37] zum Grundgesetz und im Staatsvertrag von 1921, nach dem lediglich Schutz- und Sicherheitshäfen auf das Reich übergingen, während die übrigen Häfen und Umschlagsplätze in der Zuständigkeit der Länder verblieben. Das Bundesverfassungsgericht hat diese Kompetenzverteilung in seiner Rechtsprechung, etwa zum Hafen Kehl [38], grundsätzlich bestätigt, wobei sich diese Entscheidung auf Fragen der Hafenverwaltung und nicht unmittelbar auf den fahrenden Schiffsbetrieb bezog.

Trotz dieser Zuständigkeitsverteilung lässt sich festhalten, dass die technische Schiffszulassung auch auf Hafengewässern faktisch durch Bundes- und Europarecht dominiert wird. Dies liegt vor allem daran, dass durch europäische Richtlinien das ES-TRIN als einheitlicher Standard für die Schiffszulassung festgeschrieben wurde. Im Umkehrschluss aus Art. 24 Abs. 2 der Richtlinie (EU) 2016/1629 verdeutlicht diesen Befund: Da Ausnahmen von den technischen Anforderungen nur für Fahrzeuge zulässig sind, die ausschließlich innerhalb eines abgegrenzten Hafengebietes verkehren, unterliegen alle übrigen Schiffe dem harmonisierten Unionsrecht. Es würde dem Gedanken eines einheitlichen Wirtschafts-

raums widersprechen, wenn Binnenhäfen die Zulassung von Schiffen entgegen diesen internationalen Standards eigenständig einschränken dürften. Der maßgebliche Anknüpfungspunkt bleibt hierbei das Schiff als solches und nicht das Gewässer, auf dem es sich bewegt.

Neben der Schiffszulassung bleibt die landseitige Regulierung der Häfen ein wesentlicher Pfeiler. Auf Basis der Wassergesetze der Länder und des ergänzenden allgemeinen Verwaltungsrechts wird die Errichtung und Änderung von Häfen oder Hafenanlagen meist über Planfeststellungsverfahren beschlossen, da es sich hierbei um bedeutende Infrastrukturprojekte handelt. In diesen Verfahren wird die erlaubte Nutzung des Hafenbeckens und der Uferzonen oft detailliert gewidmet. Es ist dabei von Bedeutung, dass der allgemeine Gemeingebrauch eines Gewässers weder die Schifffahrt im engeren Sinne noch den Umschlag pauschal erlaubt. Neben der Privilegierung der Schifffahrt durch Gesetz legen die örtlichen Genehmigungsbehörden somit fest, unter welchen Bedingungen Ufer als Liegestellen oder Umschlaganlagen genutzt werden dürfen. In der Konsequenz bedeutet dies, dass bei einer technischen Systembetrachtung genau unterschieden werden muss, ob eine Funktion dem Schiffsbetrieb oder der Landanlage zuzuordnen ist. Landseitige Verkehrs- und Umschlaganlagen unterliegen der Landesverwaltung und -gesetzgebung und den damit verbundenen ordnungsrechtlichen Anforderungen des Bau-, Naturschutz- und Wasserrechts. Im Hafengewässer stehende Anlagen unterliegen der gleichen Zuständigkeit. Nur die Schifffahrt auf dem Landeshafengewässer ist von der Kompetenz des Landes ausgenommen.

Technische Zulassung und Innovationshürden

Die technische Zulassung von Automatisierungstechnologien auf Binnenschiffen und Landanlagen stellt derzeit eine der größten Hürden für die Realisierung der im RAIN-Projekt untersuchten Szenarien dar. Die Binnenschiffsuntersuchungsordnung unterwirft die Nutzung eines Schiffes einem Verbot mit Erlaubnisvorbehalt, was bedeutet, dass ein Fahrzeug nur am Verkehr teilnehmen darf, wenn es technisch zugelassen ist und den Voraussetzungen der Fahrtauglichkeitsbescheinigung entspricht. Für größere Einheiten ist hierfür meist ein Unionszeugnis erforderlich, welches die Einhaltung aller Anforderungen des ES-TRIN voraussetzt. Ein Blick in dieses Regelwerk offenbart jedoch ein weitgehendes Fehlen expliziter Bestimmungen für automatisierte oder autonome Funktionen. Da die Normen des ES-TRIN zwingend einzuhalten sind, wirken sie in ihrer aktuellen Form faktisch innovationshemmend, sofern keine Ausnahmeregelungen greifen.

Den Schöpfern des ES-TRIN war diese Problematik durchaus bewusst, weshalb der Rechtsrahmen bestimmte Abweichungen zur Förderung von Innovationen zulässt. So kann die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt bei Fahrzeugen, die in abgegrenzten Gebieten verkehren, von den Bestimmungen abweichen [39], sofern ein gleichwertiges Sicherheitsniveau gewährleistet ist [40]. Für neue Technologien kommen zudem Versuchsgenehmigungen nach § 30 BinSchUO in Betracht, die für einen begrenzten Zeitraum erteilt werden können, wenn die Neuerungen eine hinreichende Sicherheit bieten. Die BinSchUO dient unter anderem auch der Umsetzung der von

der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt am 07. Dezember 2017 geänderten Fassung der Rheinschiffsuntersuchungsordnung auf der Bundeswasserstraße Rhein [41]. Aufgrund der einheitlichen Umsetzung durch die BinSchUO besteht zwischen dem Rhein und anderen Bundeswasserstraßen, für die keine gesonderten Abkommen bestehen, kein weiterer Vereinheitlichungsaufwand.

Das Kernproblem für alle innovativen Systeme besteht jedoch darin, dass es in der Verantwortung des Eigners liegt, dieses gleichwertige oder hinreichende Sicherheitsniveau für die Zulassung nachzuweisen. Er ist jedoch regelmäßig nicht zum Nachweis in der Lage, wenn keine einschlägige wissenschaftliche Forschung oder detaillierte Herstellerangaben vorliegen. Dabei bieten die von der ZKR etablierten Automationsgrade zwar eine wichtige Orientierung, besitzen jedoch keine formelle oder materielle Gesetzesqualität. Sie entfalten keine unmittelbare rechtliche Bindungswirkung für Zulassung und Haftung, sondern sind nur als technische Beschreibungen der Interaktion zwischen Menschen und System zu begreifen. Im Gegensatz zum Straßenverkehr existieren in der Schifffahrt derzeit keine etablierten Industriestandards, die beispielsweise mit dem Standard ISO 26262 für die funktionale Sicherheit elektronischer Systeme, vergleichbar sind. Es fehlt an normierten Sicherheitsniveaus, an denen sich Hersteller und Behörden orientieren könnten [42]. Explizit für die Binnenschifffahrt sind derzeit kaum Bestrebungen ersichtlich, die eine Standardisierung der Automatisierungstechnologien schufen.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass Binnenschiffe mit technischen Systemen wie Spurführungsassistenten (TGAIN) über Jahre hinweg schleichend eine Zulassung erhielten, bevor eine schrittweise Regulierung einsetzte. Dieses Vorgehen ist für Hersteller und Eigner äußerst risikobehaftet. Eine fehlende explizite Zulassung kann im Falle einer Havarie als Ansatzpunkt für eine Haftung aufgrund einer Verkehrssicherungspflichtverletzung dienen. Das gesetzliche Leitbild der Schifffahrt sieht den menschlichen Schiffsführer als zentralen Sicherheitsgaranten vor. Die Normen des ES-TRIN beschreiben ein Sicherheitsniveau, das maßgeblich auf der Fähigkeit einer Person beruht, welche die Lage des Schiffs jederzeit erfassen und auf Basis manuell bedienbarer

Einrichtungen Entscheidungen treffen kann. Der menschliche Rudergänger bildet zusammen mit den Schiffseinrichtungen einen geschlossenen Regelkreis. Ein automatisiertes System, welches diesen Menschen ganz oder teilweise ersetzt, muss folglich die Befolgung aller an die Schiffsführung adressierten Verkehrsvorschriften auf einem Niveau abbilden können, das dem einer menschlichen Überwachung mindestens gleichwertig ist. Mit Blick auf die Haftung dürfte die Darstellung der verkehrserforderlichen Sorgfalt bei der Entwicklung des Systems lediglich über echte Entwicklungsstandards und nicht über einen Vergleich mit der Sicherheit manuell bedienter Systeme möglich sein.

Einheitsprinzip bzgl. Verhaltensvorschriften und Schifffahrtsbrauch

An dieser Stelle tritt die sogenannte Einheits- theorie bzgl. Verhaltensvorschriften in den Fokus. Damit ein technisches System zugelassen werden kann, muss es in der Lage sein, die im Verhaltensrecht, also etwa in der Binnenschifffahrtsstraßenordnung, verankerten Pflichten autonom zu erfüllen. Diese den- klogische Notwendigkeit des gemischten Ver- kehrs von autonom fahrenden und herkömm- lichen Binnenschiffen lässt sich auch aus dem Sinn und Zweck der BinSchStrO bzw. ihrer Er- mächtigungsgrundlage § 3 Abs. 1 Nr. 2 i.V.m. § 1 BinSchAufG ableiten. In Anlehnung an die gefestigte Rechtsprechung zur Straßenver- kehrsordnung (vgl. BGH DAR 2015, 137) dient sie als sachlich begrenztes Ordnungsrecht der Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs. Für ein automati- siertes System muss daher zumindest nachge-

wiesen werden, dass es diesen Schutzzweck – namentlich die allgemeine Verkehrssicherheit – in gleicher Weise garantiert wie ein mensch- licher Schiffsführer [43]. Dies betrifft im Ha- fen insbesondere die Regeln zum Stillliegen, Ankern und Festmachen.

Die Vorschriften verlangen beispielsweise, dass ein Liegeplatz so gewählt wird, dass die Schifffahrt nicht behindert wird, und dass das Fahrzeug so festgemacht wird, dass Wind- und Wasserstandsschwankungen sowie Sog und Wellenschlag berücksichtigt werden. Interes- santerweise geben die Vorschriften oft nicht das exakte „Wie“ der Ausführung vor, son- dern verweisen implizit auf den Schifffahrts- brauch. Da dieser Brauch bisher kaum schrift- lich fixiert oder durch Rechtsprechung in technische Parameter übersetzt wurde, stehen

Entwickler automatisierter Systeme vor der Herausforderung, inoffizielle Praxis in Algo- rithmen zu fassen. In der juristischen Litera- tur wird hierzu die Einheitstheorie favorisiert: Verhaltensrechtliche Vorgaben sind bereits auf der Zulassungsebene zu prüfen. Das Sys- tem muss also „regeltreu“ programmiert sein, um überhaupt als fahrtauglich im Sinne des ES-TRIN gelten zu können.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Zuständigkeit für automatisierte Systeme im Hafen eng mit der exakten Funktion und Ver- ortung des jeweiligen Systems verknüpft ist. Während landseitige Anlagen oder ortsfes-

te Anlagen im Hafengewässer (Ufermauern, Dalben udgl.) dem Ordnungsrecht der Länder unterliegen, bleibt die Schifffahrt in der Kom- petenz des Bundes, der wiederum an interna- tionale Standards gebunden ist. Ein einheitli- cher Rechtsrahmen für die Hafenautomation kann daher nur durch eine enge Abstimmung zwischen den föderalen Ebenen und eine kon- sequente Weiterentwicklung der technischen Zulassungsvorschriften erreicht werden, die den Menschen nicht mehr als alleiniges Sicher- heitszentrum voraussetzen, sondern Raum für gleichwertige technische Lösungen schaffen.

Weitere Rahmenbedingungen

Förderkulisse

Die Stärkung und Weiterentwicklung von Bin- nenhäfen und Binnenschifffahrt ist mit enor- men Investitionsanforderungen verbunden. Die Förderpolitik ist daher ein wichtiger Hebel für Innovation im System Wasserstraße. Wie auch in der Regulatorik sind hier verschiede- ne Förderebenen zu betrachten. Auf Bundes- ebene liegen derzeitige Schwerpunkte in der Förderung von nachhaltigen Modernisierun- gen bei Binnenschiffen (z. B. durch emissions- arme Antriebe, Niedrigwasseranpassung), der Förderung innovativer Hafentechnologien (z. B. Digitalisierung, Automatisierung, Nach- haltigkeit) sowie - über den Klima- und Trans- formationsfonds - auch für den Aufbau von Landstromanlagen und Hafeninfrastrukturen für alternative Kraftstoffe. Während der Bund die Schieneninfrastruktur in Häfen u. a. auf- grund ihrer Bedeutung für das deutsche Gü-

terverkehrsnetz gezielt fördert und auch den Kombinierten Verkehr in Häfen unterstützt, wird eine Förderung wasserseitiger Hafenin- frastruktur aus finanzverfassungsrechtlichen Gründen bundesseitig bislang abgelehnt.

Die Bundesländer bieten eine uneinheitliche Förderkulisse. So bieten einige Länder im Rah- men der Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW) Förderungen für Häfen in strukturschwachen Regionen an. Einzelne Bundesländer wie etwa Schleswig-Holstein oder Niedersachsen stel- len zudem Mittel aus dem Sondervermögen Infrastruktur und Klimaneutralität (SVIK) zur Verfügung. Weitere Bundesländer wie etwa Bayern oder Baden-Württemberg, organisie- ren Hafenförderungen über kommunale Wirt- schaftsförderprogramme, die nicht dediziert

Binnenhäfen als Kernadressaten haben. Eine Sondersituation besteht zudem für Häfen, die vollständig oder anteilig im Eigentum eines Bundeslandes stehen. Landesbeteiligungen der Häfen können den Zugang zu öffentlichen Finanzmitteln zusätzlich beeinflussen. Auf europäischer Ebene werden Binnenhäfen insbesondere über die Connecting Europe Facility (CEF 2) als Teil der transeuropäischen Verkehrsnetze gefördert, etwa für den Aufbau von Infrastrukturen für alternative Kraftstoffe (AFIR) oder in den Bereichen Multimodalität und Digitalisierung. Weitere Programme der Kommission adressieren Kooperation von Mitgliedstaaten bei Emissionsreduktionen, richten sich jedoch nicht primär an Binnenhäfen.

Die verschiedenen öffentlichen Akteure verfolgen mit ihren Förderprogrammen und -instrumenten entsprechend unterschiedliche Förderziele, etwa die Stärkung regionaler Wirtschaftskraft oder die Förderung multimodaler Verkehrsoptionen, insbesondere auf Wasserstraße und Schiene. Zum Teil sind diese Programme auch kumulativ zu ähnlichen Förderprogrammen des Bundes oder der EU-Kommission (etwa die Förderung von Hafenbahnen auf Landesebene und Bundesförderung auf Grundlage des SGFFG).

Die Binnenschifffahrt im Kontext der nationalen Digitalisierungs- und Automatisierungsstrategie

Deutschland befindet sich in einer Phase des digitalen Umbruchs, die von einem starken Kontrast geprägt ist: Während das Land als führende Industrienation in der Hardware-Automatisierung und im Maschinenbau weltweit Spitzenpositionen einnimmt, offenbart

Als Resultat verschiedener föderaler Zuständigkeiten besteht für deutsche Binnenhäfen keine einheitliche Förderkulisse und kein zentraler Ansprechpartner im Gefüge aus EU-Kommission, Bund, Ländern und Kommunen. Zudem zeigt sich, dass große Binnenhäfen insbesondere bei der Akquise von Fördermitteln auf EU-Ebene erfolgreicher sind, da sie in der Regel im Kernnetz der europäischen Verkehrskorridore liegen, die von der EU-Kommission bevorzugt gefördert werden und in der Regel über ausreichende personelle und finanzielle Ressourcen zur Antragstellung und Abwicklung von Förderungen verfügen. Die Fragmentierung betrifft somit nicht nur das Angebot an Fördermöglichkeiten, sondern auch die tatsächliche Inanspruchnahme.

Mit Blick auf die öffentlichen Haushalte ist bereits absehbar, dass Bund und Länder künftig bestehende Förderprogramme sichern statt neue auflegen werden. Dies wird durch die Nationale Hafenstrategie 2024 gestützt, die den Erhalt bestehender Förderinstrumente betont, jedoch ohne verbindliche Zusagen für neue Programme zu treffen.

die flächendeckende digitale Vernetzung der Infrastruktur erhebliche Modernisierungslücken. In diesem Spannungsfeld agiert die Logistikbranche als kritischer Multiplikator. Innerhalb dieses Sektors zeigt die Binnenschifffahrt – trotz ihrer vergleichsweise gerin-

gen Marktgröße – beispielhaft auf, wie kleinere Branchen technologische Trends größerer Sektoren adaptieren, aber auch durch spezi-

Status Quo und empirische Evidenz

Während Seehäfen und maritime Logistiksysteme bereits seit über einem Jahrzehnt systematisch digitalisiert werden, hat sich auch in deutschen Binnenhäfen in den letzten Jahren eine substanzielle Durchdringung digitaler und teilautomatisierter Systeme etabliert. Binnenhäfen übernehmen dabei zunehmend die Rolle datenbasierter Knotenpunkte im Hinterland, in denen physische Umschlagsfunktionen mit digitalen Steuerungs-, Planungs- und Koordinationsprozessen verknüpft werden. Die Digitalisierung beschränkt sich dabei nicht auf einzelne Pilotprojekte, sondern ist in mehreren Häfen bereits integraler Bestandteil des operativen Betriebs.

Ein zentrales empirisches Beispiel für diesen Fortschritt in Deutschland ist der Duisport-Verbund, der als größter Binnenhafen Europas bereits seit den frühen 2010er-Jahren systematisch digitale Plattformen implementiert. Heute werden dort Terminal Operating Systeme, Port Community Systeme sowie KI-gestützte Analysewerkzeuge zur Kapazitäts- und Verkehrssteuerung genutzt. Digitale Gate-Pro-

fische Spillover-Effekte und regulatorische Hürden in ihrer Eigenentwicklung beeinflusst werden.

zesse, automatisierte Slot-Vergaben für Lkw sowie sensorbasierte Infrastrukturüberwachung sind im Regelbetrieb fest verankert. Ergänzend dazu koordinieren datengetriebene Prognosemodelle Umschlagmengen, Zuganläufe und Schiffsbewegungen, wodurch die Funktion des Binnenhafens als Datenpool faktisch etabliert ist.

Auch im Hafen Mannheim und im Rheinhafen Karlsruhe sind digitale Hafenmanagementsysteme im Einsatz, die insbesondere auf die Koordination trimodaler Verkehre abzielen. Hierzu zählen digitale Voranmeldesysteme für Schiffe, automatisierte Liegeplatzzuweisungen sowie die Einbindung von RIS in operative Entscheidungsprozesse. Die Nutzung standardisierter digitaler Schnittstellen zur Anbindung von Reedereien, Speditionen und Behörden ist dort bereits Alltag, wenngleich die vollständige Interoperabilität zwischen den Systemen – ein typisches Problem der deutschen Digitalisierungslandschaft – weiterhin eingeschränkt bleibt.

Technologische Diffusion und physische Automatisierung

Im Bereich der Binnenschifffahrt selbst ist die Digitalisierung vor allem durch den breiten Einsatz von AIS-basierten Tracking-Systemen, elektronischen Fahrttagebüchern sowie digitalen Fracht- und Dokumentationssystemen geprägt. In Deutschland sind diese Systeme auf den Hauptverkehrsachsen Rhein, Main

und Donau flächendeckend etabliert. Darüber hinaus existieren mehrere Projekte zur teilautomatisierten Schiffsführung, etwa in Testfeldern auf dem Rhein, bei denen Assistenzsysteme für Kollisionsvermeidung, Spurhaltung und energieoptimierte Fahrweise eingesetzt werden. Diese Systeme operieren derzeit über-

wiegend im unterstützenden Modus und sind in bestehende sicherheitsrechtliche Rahmen eingebettet. Trotz dieser Fortschritte ist die Durchdringung in deutschen Binnenhäfen weiterhin durch eine asymmetrische Struktur gekennzeichnet. Während datengetriebene Planungs- und Managementsysteme weitgehend etabliert sind, ist der physische Automa-

tisierungsgrad – etwa im Umschlag oder in der autonomen Navigation – deutlich geringer als in hochautomatisierten Seehafenterminals. Ursache hierfür sind unter anderem kleinteiligere Betriebsstrukturen, geringere Investitionsvolumina sowie komplexe regulatorische Rahmenbedingungen im Binnenbereich.

Spillover-Effekte: Innovation vs. Fehlanpassung

Die Binnenschifffahrt und Binnenhäfen sind als integraler Bestandteil logistischer Netzwerke naturgemäß externen Innovationsimpulsen ausgesetzt. Technologische Entwicklungen in Seehäfen, wie standardisierte Datenprotokolle oder autonome Steuerungssysteme, werden oft zeitverzögert übernommen. Diese Diffusion birgt jedoch die Gefahr von Fehlanpassungen. Ein anschauliches Beispiel ist die Übertragung technischer Vorgaben für Pollerzugkräfte: Die für die Seeschifffahrt ausgelegten Anforderungen sind um ein Vielfaches höher, als es für Binnenhäfen notwendig wäre. Mangels spezifischer eigener Normen wurde diese Regulierung übernommen, was zu unnötigen technischen und kostenseitigen Anforderungen führt – ein klassischer negativer Spillover-Effekt.

Besonders kritisch zeigt sich die Wirkung reglementativer Spillover-Effekte bei den Umweltzielen. Die EU-Verordnung 2016/1628 (NRMM) setzte früh strenge Abgasstandards für Schiffsmotoren. Die extrem hohen Hürden für die Zulassung haben den Markt jedoch faktisch abgeschottet. Da Motoren von Herstellern außerhalb der EU oft die spezielle Genehmigung fehlen, wurde der Wettbewerb eingeschränkt. Anstatt den Wandel voranzutreiben, hat die strikte Regulierung den Dieselantrieb zementiert, da kaum moderne Alternativen den Sprung durch die Zulassungshürden schaffen. Dies bremst die ökologische Wende, da Häfen mangels moderner Schiffsantriebe kaum Anreize haben, in alternative Kraftstoff-Infrastrukturen zu investieren.

Rahmenbedingungen für die Automation in Binnenhäfen



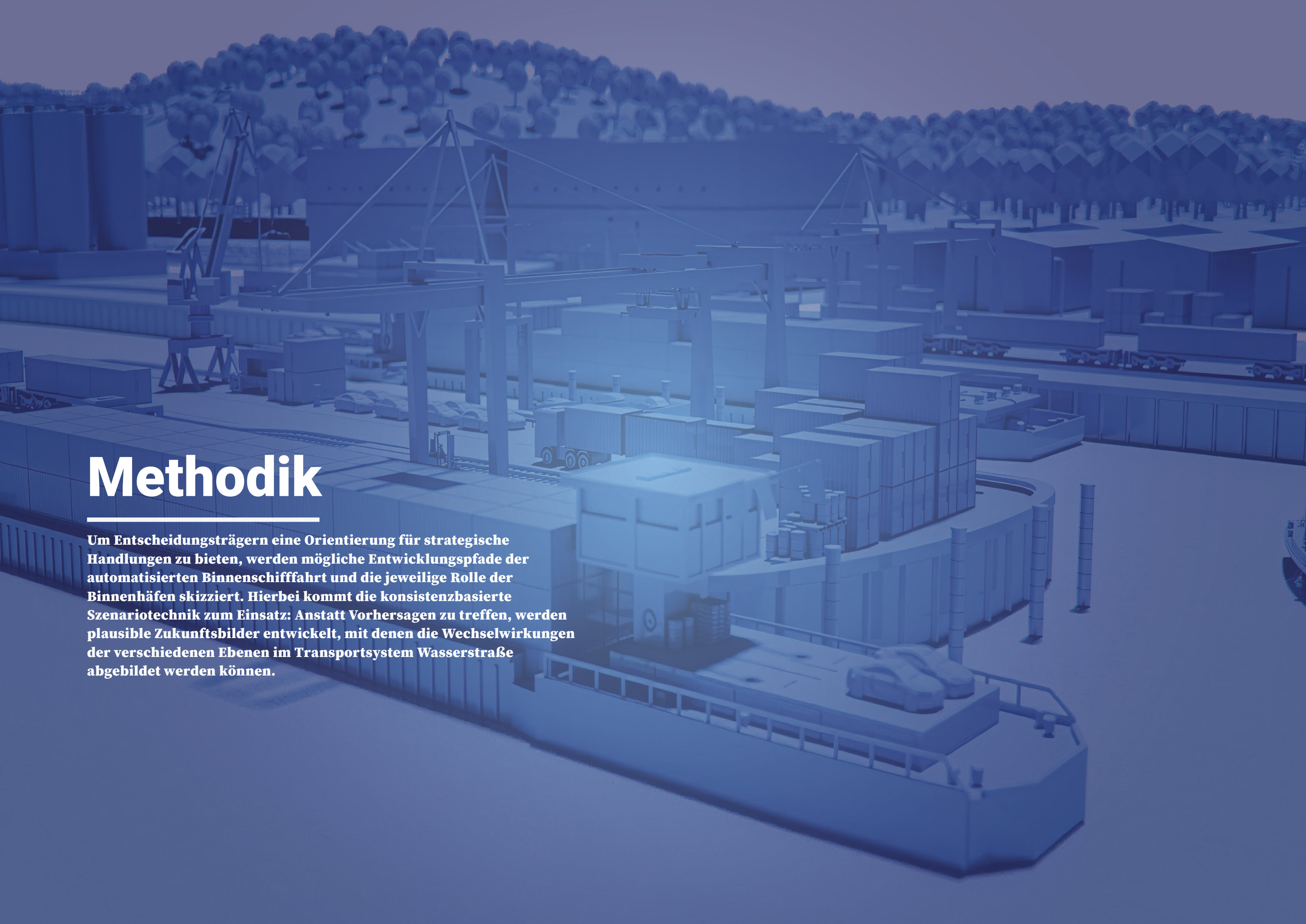
Die Automatisierung und Digitalisierung der Binnenschifffahrt und der Binnenhäfen entwickelt sich zunehmend von einem Zukunftsthema zu einem realen Strukturwandel. Binnenhäfen sind dabei mehr als reine Verkehrsanlagen: Sie fungieren als logistische, industrielle und digitale Knotenpunkte, in denen Verkehrs-, Wirtschafts-, Umwelt- und Stadtentwicklungsfunktionen zusammenlaufen. Diese Vielschichtigkeit prägt maßgeblich die regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Innovationen.

Die Einführung automatisierter und teilautomatisierter Systeme trifft in Binnenhäfen auf eine fragmentierte, historisch gewachsene Regulierungslandschaft. Während europäische Vorgaben zentrale Leitplanken setzen – etwa zur technischen Sicherheit, zum Umwelt- und Klimaschutz sowie zu digitalen und haftungsrechtlichen Fragen (u. a. durch den AI Act) – liegt die operative Ausgestaltung des Hafenbetriebs überwiegend bei Ländern und Kommunen. Eine bundesweite Harmonisierung des Hafenrechts fehlt. Dies erschwert die Skalierung technischer Lösungen, erhöht Genehmigungsaufwände und wirkt innovationshemmend.

Auch die Förderkulisse ist durch föderale Zuständigkeiten stark zersplittert. Förderprogramme auf EU-, Bundes- und Landesebene verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen und adressieren Binnenhäfen nur teilweise explizit. Größere Häfen profitieren dabei deutlich stärker von bestehenden Förderinstrumenten als kleinere und mittlere Standorte. Eine kohärente Gesamtstrategie für die Förderung von Digitalisierung und Automatisierung in Binnenhäfen fehlt bislang.

Gleichzeitig zeigt die empirische Analyse, dass digitale Systeme in deutschen Binnenhäfen bereits weit verbreitet sind. Digitale Hafenmanagementsysteme, Port-Community-Plattformen, datenbasierte Prognosemodelle und sensorbasierte Infrastrukturüberwachung sind in mehreren Häfen Bestandteil des Regelbetriebs. Der physische Automatisierungsgrad bleibt jedoch begrenzt, unter anderem aufgrund regulatorischer Unsicherheiten und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

Die zentrale Herausforderung besteht nicht in der technischen Machbarkeit, sondern in der Schaffung klarer, koordinierter und innovationsfreundlicher Rahmenbedingungen. Eine bessere Abstimmung der Regulierungsebenen, eine gezieltere Förderarchitektur und eine stärkere Berücksichtigung der besonderen Rolle von Binnenhäfen sind entscheidend, um das Potenzial von Automatisierung und Digitalisierung nachhaltig zu nutzen.



Methodik

Um Entscheidungsträgern eine Orientierung für strategische Handlungen zu bieten, werden mögliche Entwicklungspfade der automatisierten Binnenschifffahrt und die jeweilige Rolle der Binnenhäfen skizziert. Hierbei kommt die konsistenzbasierte Szenariotechnik zum Einsatz: Anstatt Vorhersagen zu treffen, werden plausible Zukunftsbilder entwickelt, mit denen die Wechselwirkungen der verschiedenen Ebenen im Transportsystem Wasserstraße abgebildet werden können.

Szenarien zur strategischen Vorausschau

Die Szenariotechnik hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem zentralen Werkzeug der strategischen Vorausschau entwickelt. Sie kommt besonders dann zum Einsatz, wenn die zukünftige Entwicklung eines Systems durch hohe Unsicherheiten und komplexe Wirkzusammenhänge geprägt und somit insbesondere auf lange Zeithorizonte schwer absehbar ist. Ihr Ziel ist es, mögliche Zukunftspfade systematisch zu erfassen und damit Entscheidungsprozesse unter Unsicherheit zu unterstützen. Unsicherheiten und komplexe Wirkzusammenhänge sind Merkmale, die auch für die Binnenschifffahrt und die damit verbundenen Logistik- und Infrastruktursysteme in besonderer Weise zutreffen. Vor diesem Hintergrund erscheint die Szenariotechnik als geeignetes Instrument zur Bearbeitung der Forschungsfrage.

Merkmale und Aufbau von Szenarien

Im Gegensatz zu Trends, die bereits erkennbare Entwicklungen beschreiben, werden Szenarien nicht als Vorhersagen verstanden. Sie stellen konsistente, plausible und voneinander abgegrenzte Zukunftsbilder dar und beschreiben, wie sich ein System entwickeln könnte.

Der durch ein Szenario beschriebene Zustand ist immer mehrdimensional und wird durch miteinander vernetzte Faktoren dargestellt, die jeweils einen Teilaspekt des betrachteten Systems repräsentieren. Dies ermöglicht es, Wechselwirkungen zwischen verschiedenen

"Szenarien sind konsistente, plausible und voneinander abgegrenzte Zukunftsbilder."

Zukunftsbereichen, wie bspw. technologischen Entwicklungen, ökonomischen Bedingungen, politischen Entscheidungen oder gesellschaftlichen Veränderungen zu berücksichtigen. Die im Szenario dargestellten Ausprägungen dieser Faktoren sind nur durch ihre grundsätzliche Vorstellbarkeit, jedoch nicht durch ihre Eintrittswahrscheinlichkeit oder eine subjektive Wertung beschränkt. Damit zielt die Szenariotechnik nicht auf die Bestimmung der wahrscheinlichsten oder wünschenswertesten Zukunft, sondern auf die Abbildung eines Möglichkeitsraums ab.

Historische Entwicklung und Anwendungsbereiche

Der weitläufige Einsatz der Szenariotechnik geht unter anderem auf die Arbeiten der US-amerikanischen RAND Corporation in den 1950er Jahren zurück, wo sie zur Unterstützung militärstrategischen Planung entwickelt wurde. Im unternehmerischen Kontext erlangte sie ab den 1970er Jahren an Bekanntheit, als sie von Ölproduzenten dazu genutzt wurde, um Reaktionsmöglichkeiten auf den Ölpreisschock zu entwickeln. Heute zählt die Szenariotechnik zu den etablierten Instrumenten des strategischen Managements und wird in Wirtschaft, Verwaltungen und in der Forschung zur Strukturierung komplexer Zukunftsfragen eingesetzt [44].

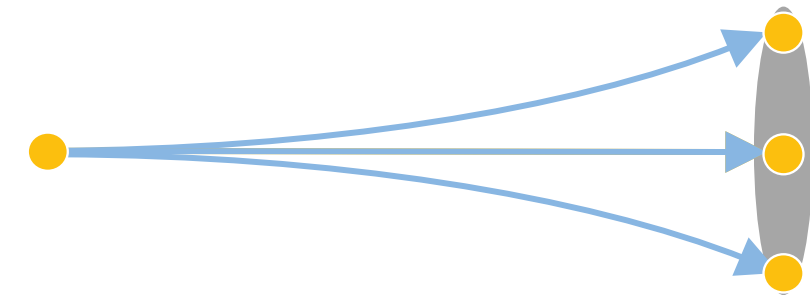


Abb. 6: Szenariotrichter: Szenarien als Beschreibung des Zukunftsraumes

Methodische Ansätze

Grundsätzlich lassen sich zwei methodische Richtungen zur Entwicklung von Szenarien identifizieren: Bei der „intuitiven“ Szenarienbildung, welche maßgeblich auf Expertise und Kreativität von Fachleuten basiert, ist keine systematisierte Erfassung und Analyse des Betrachtungsbereiches erforderlich. Die Bildung von Szenarien ist je nach Ausführung mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich, unterliegt jedoch besonders dem subjektiven Einfluss der beteiligten Experten. Analytische Ansätze verfolgen dagegen ein systematisches Vorgehen. Hierbei werden zunächst Einflussfaktoren identifiziert, die für das Untersuchungsfeld von Bedeutung sind. Dieser Prozess kann qualitativ (z. B. Experteninterviews, Literaturanalysen), quantitativ (z. B. Datenanalysen, Trendextrapolationen) oder kombiniert erfolgen. Je nach Größe des Betrachtungsfeldes kann hierbei eine hohe Zahl möglicher Faktoren entstehen, welche in der Regel eingegrenzt werden müssen. Eine solche Eingrenzung kann beispielsweise über die Relevanz und Vernetzung von Faktoren im übergeordneten System erfolgen.

Für die ausgewählten Faktoren werden anschließend Projektionen entwickelt, welche mögliche Ausprägungen des Faktors in der Zukunft repräsentieren. So könnte sich der Faktor „Automatisierungsgrad in der Navigation“ zukünftig beispielsweise in Form der Ausprägung „Vollautonome Navigation“ bis hin zu „Automatisierung setzt sich kaum durch“ entwickeln.

Im Rahmen der Szenariobildung werden anschließend jene Projektionen zu einem Szenario gebündelt, die inhaltlich zueinander passen. Während Ansätze wie die Cross-Impact-Analyse darauf abzielen, die gemeinsame Eintrittswahrscheinlichkeit als zentrales Kombinationskriterium zu nutzen, legt die konsistenzbasierte Szenariomethode den Fokus auf die inhaltliche Kohärenz der verschiedenen Zukunftsannahmen.

Anwendung in dieser Studie

Die vorliegende Studie folgt der konsistenzbasierten Szenariotechnik, da sie sich besonders für komplexe Systeme mit zahlreichen Einflussgrößen, technologischen Unsicherheiten und langen Investitionszyklen eignet. Ziel ist es, den Raum denkbarer Entwicklungen systematisch abzubilden. Die Szenarien bilden damit eine Grundlage, um Auswirkungen möglicher Zukunftspfade zu analysieren und strategische Entscheidungen der Binnenhäfen auch unter unsicheren Rahmenbedingungen fundiert vorzubereiten.

Methodisches Vorgehen im Projekt

Im Rahmen des Projektes RAIN wurde die bisher beschriebene Methodik der Szenariotechnik schrittweise umgesetzt. Sie dient damit der Erfassung der möglichen Entwicklungen der Automatisierung in der Binnenschifffahrt und ihrer Auswirkungen auf Binnenhäfen und dem System Wasserstraße. Im Folgenden soll dabei die konkrete Umsetzung im Fokus stehen. Methodisch orientiert sich das Vorgehen an der Szenariotechnik nach Fink und Siebe [45], während der „Scenario Manager“ der ScMI AG als softwaregestütztes Werkzeug für Analyse, Verdichtung und Auswertung der Ergebnisschritte eingesetzt wird.

Erste Rahmensetzung und Literaturrecherche

Zu Beginn stand die Prüfung und Ausgestaltung des Untersuchungsrahmens. Auf Basis der Vorhabensbeschreibung wurden Binnenschifffahrt, Binnenhäfen und Wasserstraßeninfrastruktur im Zusammenhang möglicher zukünftiger Entwicklungen betrachtet. Ziel war es, den Untersuchungsgegenstand so zu fassen, dass sowohl die technischen Automatisierungspfade auf der Wasserseite als auch die organisatorischen und ökonomischen Anpassungen auf Hafenseite adäquat beschrieben werden können. Im Rahmen der ersten Literaturrecherchen wurden verschiedene Aspekte beleuchtet, darunter der aktuelle Stand der Automatisierung in der Binnenschifffahrt, bestehende Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie Entwicklungen in den Bereichen Umschlagstechnik, Hafenlogistik und Digitalisierung. Parallel dazu wurde ein erster Entwurf eines Untersuchungsdesigns erstellt, in dem insbesondere festgelegt wurde, welche Akteursgruppen zu berücksichtigen sind und welche übergeordneten Fragestellungen durch Szenarien bearbeitet werden sollen.

Untersuchungsraum und die enthaltenen Wechselwirkungen

Im Zuge dieser ersten Ausgestaltung wurde deutlich, dass sich der Untersuchungsraum durch eine hohe Zahl an Einflussgrößen und ein dichtes Netz an Wechselwirkungen auszeichnet. Die Zusammenhänge zwischen schiffsseitiger Automatisierung, hafenbezogenen Umschlagsprozessen, wasserstraßenbezogener Infrastruktur und allgemeinen politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen lassen sich weder intuitiv noch allein mit einfachen tabellarischen Methoden überschauen. Vor diesem Hintergrund entschied das Projektkonsortium, den Szenarioprozess qualitativ und methodisch durch eine spezialisierte Software zu unterstützen. Nach einer Recherche möglicher Anwendungen und einer Gegenüberstellung von Funktionsumfang, methodischer Anschlussfähigkeit und Dokumentationsfähigkeit fiel die Entscheidung auf den „Scenario Manager“ der ScMI AG.

Konkretisierung des Untersuchungsdesigns

Auf Grundlage dieser Entscheidung wurde das Untersuchungsdesign weiter konkretisiert und auf die Arbeitslogik des Scenario Manager ausgerichtet. Es wurde definiert, wie der Einflussfaktorenkatalog strukturiert werden soll, welche weiterführenden Informationen benötigt werden und wie die Systematik von Systemebenen und Themenbereichen im Sinne eines Systembildes

abgebildet werden kann. Ebenso wurde festgelegt, wie externe Expertinnen und Experten eingebunden werden und auf welcher Basis letztlich Schlüsselfaktoren, Zukunftsprojektionen und konsistente Szenarien abgeleitet werden. Damit entstand ein Untersuchungsdesign, das sowohl die inhaltlichen Anforderungen des Projekts RAIN als auch die methodischen Vorgaben von Fink und Siebe [45] mit den technischen Möglichkeiten des Scenario Manager verbindet.

Experteninterviews zur inhaltlichen Vertiefung

Parallel zur methodischen Konkretisierung wurde der Untersuchungsrahmen inhaltlich vertieft. Dazu wurden Expertinnen und Experten aus Hafenwirtschaft, Binnenschifffahrt, Technologieentwicklung und weiteren relevanten Bereichen interviewt. Diese Gespräche zielten unter anderem darauf ab, erwartete Entwicklungspfade der Automatisierung in den kommenden Jahrzehnten zu erfassen, potenzielle Verlagerungen von Aufgaben zwischen Schiff und Hafen zu identifizieren und Einschätzungen zu rechtlichen, ökonomischen und arbeitsmarktbezogenen Auswirkungen der Automatisierung zu gewinnen. Die Ergebnisse dieser Interviews dienten als praxisnaher Gegenpol zur Literaturarbeit und halfen, theoretisch beschriebene Trends mit realen Annahmen und Erwartungen der beteiligten Akteure abzugleichen. So ergab sich ein reichhaltiges Bild des Untersuchungsraums, das die spätere Strukturierung in Systemebenen und Faktoren tragen konnte.

Aufbau des Systembildes

Um die Komplexität des Betrachtungsgegenstands methodisch zu bewältigen, wurde im Sinne der Szenariofeld-Analyse ein in **Abbildung 7** dargestelltes Systembild für das Projekt RAIN entwickelt. Der grundlegende Aufbau eines Systembildes erfolgt zentrisch von innen nach außen in mehreren Systemebenen, um das Szenariofeld strukturiert darzustellen. Im Zentrum steht die Systemebene mit dem zentralen Thema des Untersuchungsrahmens. Darum gruppieren sich



Abb.7: Betrachtete Systemebenen im Projekt

im Allgemeinen Systemebenen mit Akteuren, mit denen direkte Aktionen verbunden sind, und Systemebenen mit spezifisch wirkenden Einflüssen aus dem Umfeld. Die äußerste Systemebene beschreibt in der Regel das allgemeine Umfeld. In einer Systemebene werden die einzelnen Themen in Einflussbereiche gegliedert.

Die fünf Systemebenen und deren Einflussbereiche

Das Systembild gliedert das Szenariofeld in fünf Systemebenen mit unterschiedlichen Gestaltungsfeldern: „Hafen (Schiff)“, „Hafen (global)“, „Binnenschifffahrt“, „Wasserstraßen“ und „Allgemeines Umfeld“. Die Ebene „Hafen (Schiff)“ umfasst alle Gestaltungsfelder, die die direkte Interaktion zwischen Binnenschiff und Binnenhafen prägen, insbesondere Umschlagsprozesse, Anlege- und Festmachvorgänge sowie operative Kommunikations- und Energieschnittstellen. Die Ebene „Hafen (global)“ umfasst hafenbezogene Aspekte ohne unmittelbaren Bezug zur Abfertigung einzelner Schiffe, etwa Flächen- und Terminalstrukturen, Hinterlandanbindung, übergreifende IT-Systeme und Geschäftsmodelle. Mit „Binnenschifffahrt“ werden die Flotten- und Marktstruktur, der Automatisierungsgrad, die Organisation des Schiffsbetriebs und die Rolle verschiedener Marktteilnehmer beschrieben. Die Ebene „Wasserstraßen“ fasst den Zustand und die Kapazitäten des Wasserstraßennetzes, die Ausrüstung mit nautischer und digitaler Infrastruktur sowie die verkehrliche Einbindung zusammen. Schließlich bildet das „Allgemeine Umfeld“ übergeordnete politische, wirtschaftliche, gesellschaftliche, technologische und ökologische Rahmenbedingungen ab, die auf alle anderen Ebenen einwirken. Dieses Systembild dient der strukturierten Analyse des komplexen Sachverhalts und stellt sicher, dass im Projektverlauf alle systematischen Einflüsse der Gestaltungsfelder als Einflussfaktoren identifiziert werden.

Unterscheidung von Lenkungs- und Umfeldfaktoren

Auf dieser Grundlage wurde eine Unterscheidung zwischen Lenkungs- und Umfeldfaktoren vorgenommen. Lenkungsfaktoren sind Variablen, an denen Akteure im System wie Hafen- oder Terminalbetreiber, Reedereien oder politische Entscheidungsträger direkt oder indirekt ansetzen können, um Entwicklungen zu beeinflussen. Dies betrifft die Faktoren der Systemebenen 1 und 2. Umfeldfaktoren hingegen gelten als äußere Rahmenbedingungen, die sich dem unmittelbaren Steuerungszugriff entziehen, deren Entwicklung aber das System maßgeblich prägt. Dies betrifft die Faktoren der Systemebenen 3, 4 und 5. Im weiteren Verlauf konzentrierte sich RAIN bei der Entwicklung von Zukunftsszenarien auf die Umfeldfaktoren, da diese die zentralen Unsicherheiten für eine zukünftige Entwicklung darstellen. Die Lenkungsfaktoren gewinnen insbesondere im Anschluss an die Szenariobildung an Bedeutung, wenn es darum geht, aus den Szenarien konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Aufbau des Einflussfaktorenkatalogs

Die identifizierten Variablen wurden anschließend in einen strukturierten Einflussfaktorenkatalog überführt. Dieser nun 119 Faktoren umfassende Katalog folgt der in der Literatur etablierten

Vorgehensweise, bei der das Szenariofeld durch eine Menge von Einflussfaktoren beschrieben wird, die jeweils bestimmten Systemebenen und Themenbereichen zugeordnet sind. Für jeden Faktor wurden eine kurze Bezeichnung, eine inhaltliche Beschreibung, sowie gegebenenfalls wesentliche Dimensionen und Teilaspekte oder bereits erkennbare Trends und relevante Quellen dokumentiert. Der Einflussfaktorenkatalog bildet damit das Rückgrat der anschließenden qualitativen und quantitativen Analysen.

Durchführung der Einflussanalyse

Aufbauend auf diesem Katalog wurde im nächsten Schritt eine Einflussanalyse durchgeführt. Ziel dieser Analyse ist es, diejenigen Faktoren zu identifizieren, die das Systemgeschehen besonders stark prägen und miteinander stark vernetzt sind. Dabei wird beschrieben, wie stark ein Faktor einen anderen Faktor direkt beeinflusst. Die Bewertung erfolgte auf einer ordinalen Skala von „kein Einfluss“ bis „starker, unmittelbarer Einfluss“. Hierzu kamen sogenannte Einflussmatrizen zum Einsatz, die durch das Projektkonsortium ausgefüllt wurden. Anschließend konnten diese Einzelbewertungen in kombinierte Matrizen überführt werden, in denen abweichende Einschätzungen sichtbar und bei Bedarf gemeinsam diskutiert und konsolidiert wurden.

Relevanzanalyse durch externe Fachleute

Um neben der systemischen Rolle der Faktoren auch deren strategische Bedeutung aus Sicht der Praxisakteure angemessen zu berücksichtigen, wurden externe Fachleute in eine Relevanzanalyse einbezogen. Dabei wurden die Bedeutung und die Ungewissheit der identifizierten Faktoren bewertet. Hinter der Bedeutung steht die Frage, wie relevant ein Faktor für die Betrachtung der automatisierten Binnenschifffahrt und Interaktion mit Binnenhäfen ist. Hinter der Ungewissheit steht die Frage, wie gut sich ein Faktor aus der Perspektive der Praxisakteure in seiner Entwicklung bis 2050 einschätzen lässt. Faktoren mit hoher Relevanz und hoher Ungewissheit wurden im weiteren Verlauf als besonders kritisch für die Szenariobildung angesehen. Auf diese Weise entstand ein differenziertes Bild, das sowohl die strukturelle Einbettung eines Faktors im System als auch seine praktische Entscheidungsrelevanz berücksichtigt.

Bestimmung des methodischen Kernaspekt

Innerhalb des so strukturierten Einflussfaktorenkatalogs wurde die Systemebene „Binnenschifffahrt“ als Kernaspekt bestimmt. Die schiffsseitige Automatisierung bestimmt maßgeblich, welche Anforderungen künftig an Binnenhäfen hinsichtlich Umschlagstechnik, Energieversorgung, Kommunikationsschnittstellen, Personalqualifikation und Organisation gestellt werden. Gleichzeitig hängen viele politische und wirtschaftliche Bewertungen der Szenarien – etwa zur Wettbewerbsfähigkeit des Verkehrsträgers Wasserstraße – davon ab, wie sich Flottenstruktur, Automatisierungsgrad und Betriebsmodelle der Binnenschifffahrt entwickeln. Daher erhielten Faktoren, die dieser Ebene zugeordnet sind, bei der Auswahl von Schlüsselfaktoren ein besonderes Gewicht, ohne die übrigen Systemebenen zu vernachlässigen.

Auswahl der Schlüsselfaktoren

Vor diesem Hintergrund wurden in einem moderierten Prozess Schlüsselfaktoren ausgewählt. Diese Auswahl stützte sich auf die Kennzahlen der Einflussanalyse, auf die Ergebnisse der Relevanzbewertung durch externe Fachleute sowie auf die inhaltlichen Erfahrungen des Projektkonsortiums. Die so bestimmten Schlüsselfaktoren (jeweils 17 Lenkungs- und Umfeldfaktoren) bilden die kleinste Menge an Variablen, mit denen das Szenariofeld hinreichend genau und zugleich handhabbar beschrieben werden kann. In methodischer Anlehnung an Fink und Siebe [45] wurde darauf geachtet, dass die Anzahl der Schlüsselfaktoren so begrenzt bleibt, dass die Bildung und Interpretation von Szenarien noch möglich ist, gleichzeitig aber genügend Freiheitsgrade für eine differenzierte Beschreibung verschiedener Zukunftsbilder erhalten bleiben.

Entwicklung von Zukunftsfragen und Projektionen

Für jeden Schlüsselfaktor wurden anschließend relevante Zukunftsfragen formuliert und darauf aufbauend Projektionen entwickelt. Die Zukunftsfragen zielten darauf ab, die möglichen Entwicklungspfade des Faktors bis zum Betrachtungshorizont abzubilden. Dazu wurden für jeden Faktor zentrale Dimensionen identifiziert, die die Bandbreite denkbarer Entwicklungen strukturieren, etwa das Niveau eines Automatisierungsgrades, die Geschwindigkeit einer Marktdurchdringung oder der Grad der Standardisierung. In Projektionsportfolios wurden je zwei solcher Dimensionen mit je zwei Ausprägungen gegenübergestellt, sodass für jeden Schlüsselfaktor vier qualitativ unterscheidbare Projektionen (zwei Dimensionen mit jeweils zwei Ausprägungen) entstanden, die jeweils eine konsistente Zukunftsausprägung dieses Faktors beschreiben. Diese Projektionen stellen die Bausteine für die spätere Szenariobildung dar.

Konsistenzanalyse der Projektionskombinationen

In einem folgenden Schritt wurde die Konsistenzanalyse durchgeführt, um zu prüfen, welche Kombinationen von Projektionen gemeinsam in einem plausiblen Szenario auftreten können. Dabei werden alle Projektionen aller Schlüsselfaktoren paarweise zueinander bewertet. Die Bewertenden beantworten die Frage, ob die gleichzeitige Realisation beider Projektionen in einer denkbaren Zukunft eher widerspruchsfrei, neutral oder unvereinbar wäre. Auf Basis dieser Bewertungen hat das Projektkonsortium softwaregestützt alle Kombinationen ermittelt, in denen für jeden Schlüsselfaktor genau eine Projektion enthalten ist und die insgesamt eine hohe Konsistenz aufweisen, das heißt, dass die enthaltenen Zukunftsprojektionen sich stark gegenseitig unterstützen und widerspruchsfrei plausibel zusammenpassen. Ausgeschlossen werden Kombinationen, welche totale Inkonsistenzen enthalten. Damit entsteht ein Katalog konsistenter Kombinationen, der den Möglichkeitenraum aller in sich stimmigen Zukünfte erfasst.

Clusterung zu Rohszenarien

Da die Menge der so identifizierten Kombinationen in der Regel sehr groß ist, wurde im nächsten Schritt eine Clusterung vorgenommen. Softwaregestützt wurden die konsistenten Kombinationen mit ähnlichen Kombinationen von Projektionen zu Gruppen zusammengefasst. Jede dieser

Gruppen repräsentiert ein bestimmtes Muster, das sich durch charakteristische Ausprägungen zentraler Schlüsselfaktoren auszeichnet. Auf diese Weise entstanden Rohszenarien, die den Möglichkeitenraum in eine überschaubare Zahl deutlich unterscheidbarer Zukunftsbilder gliedern. Die Anzahl der Rohszenarien wurde so gewählt, dass sie sich inhaltlich gut voneinander abgrenzen lassen, zugleich aber ausreichend Vielfalt bieten, um unterschiedliche Entwicklungspfade von Automatisierung und Hafenanpassung abzubilden. Im Rahmen des Projektes haben sich dabei fünf unterscheidbare Rohszenarien herausgebildet. Die jeweiligen Projektionsbeschreibungen der Schlüsselfaktoren pro Szenario sind im **Anhang** nachvollziehbar. Inhaltlich dicht beieinander liegende Projektionsbeschreibungen wurden in diesen Darstellungen zusammengefasst, was entsprechend kenntlich gemacht wurde.

Ausarbeitung der Szenarien

Die so gewonnenen Rohszenarien sind noch keine voll ausformulierten Geschichten, aber sie enthalten in konzentrierter Form die Kombinationen von Projektionen, die ein jeweils konsistentes Bild der Zukunft der Binnenschifffahrt und der Binnenhäfen ergeben. In einem weiteren Schritt, der über die hier beschriebene methodische Abfolge hinausgeht, wurden diese Rohszenarien im Projekt RAIN zu narrativen Szenarien ausgearbeitet. Darüber hinaus wurden die Szenarien, welche wie beschrieben, nur aus Umfeldfaktoren bestehen, durch das Projektkonsortium mit thematisch passenden Faktoren aus dem Lenkungsbereich erweitert, um die Aussagekraft weiter zu steigern und Implikationen aus den entwickelten Szenarien für die Binnenhäfen abzuleiten. Die Projektionsbeschreibungen der Faktoren des Lenkungsbereichs werden im **Anhang** tabellarisch pro Szenario dargestellt.

Die vorangegangenen Schritte – von der Rahmensetzung über den Einflussfaktorenkatalog, die Einfluss- und Relevanzanalyse, die Schlüsselfaktorauswahl, die Projektionen, die Konsistenzanalyse bis zur Clusterung – bilden dabei das methodische Fundament, das eine nachvollziehbare, systematische und praxisorientierte Szenarioentwicklung im Projekt RAIN ermöglicht.



Automatisierungsszenarien für die Binnenschifffahrt

Fünf Szenarien beschreiben mögliche Zustände der automatisierten Binnenschifffahrt im Jahr 2050. Sie unterscheiden sich im technologischen Entwicklungsstand und Automatisierungsgrad, weisen unterschiedliche Marktdynamiken auf und werden durch verschiedene regulatorische Rahmenbedingungen geprägt – daraus resultieren jeweils spezifische Anforderungen an die Binnenhäfen.

Übersicht der Szenarien

Die Szenariolandkarte ist ein zentrales Werkzeug in der Szenariotechnik und dient der strukturierten Darstellung möglicher Zukunftsbilder bzw. Szenarien. Sie visualisiert die Bandbreite plausibler Entwicklungen innerhalb eines definierten Themenfeldes und zeigt, wie unterschiedliche Kombinationen von Projektionen zu verschiedenen Zukunftsszenarien zusammengesetzt werden können. Im Rahmen des RAIN-Projekts wird die Szenariolandkarte genutzt, um die unterschiedlichen Entwicklungspfade der automatisierten und vernetzten Binnenschifffahrt im Zusammenhang mit den Einflüssen auf die Binnenhäfen zu veranschaulichen.

Ziel der Szenariolandkarte ist es, Komplexität sichtbar und handhabbar zu machen. Sie hilft, Unsicherheiten nicht zu verdrängen, sondern bewusst in den Denkprozess einzubeziehen. Durch ihre visuelle und geführte Struktur kann sie strategische Diskussionen über Handlungsoptionen, Risiken und Chancen unterstützen. Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger erhalten so ein Orientierungsinstrument, das nicht auf eine einzelne Zukunft setzt, sondern verschiedene Wege nebeneinanderstellt und vergleichbar macht.

Im Kern verbindet die in **Abbildung 8** dargestellte Szenariolandkarte die Erkenntnisse zu einem räumlich gedachten Abbild der Zukunft. Sie ordnet die fünf ausgearbeiteten Szenarien (im Zentrum dargestellt als Dreiecke) entlang verschiedener Themen. Die ausgewählten Themen basieren auf den Dimensionen der Zukunftsfragen zur Entwicklung der Schlüsselfaktoren. Nach der Entstehung der Rohszenarien lassen sich diese anhand der Dimensionen der Zukunftsfragen unterscheiden. Das bedeutet, dass sich alle Rohszenarien hinsichtlich einer Dimension einer Zukunftsfrage nach der jeweiligen Ausprägung auf dieser Dimension clustern lassen. Im zweiten Schritt wurden diese Cluster dann inhaltlich ausgewertet und zu Themen zusammengefasst. Durch diese Schritte entstanden die folgenden tragenden Elemente bzw. Themen der Szenariolandkarte, dargestellt durch die außenliegenden Kreise.

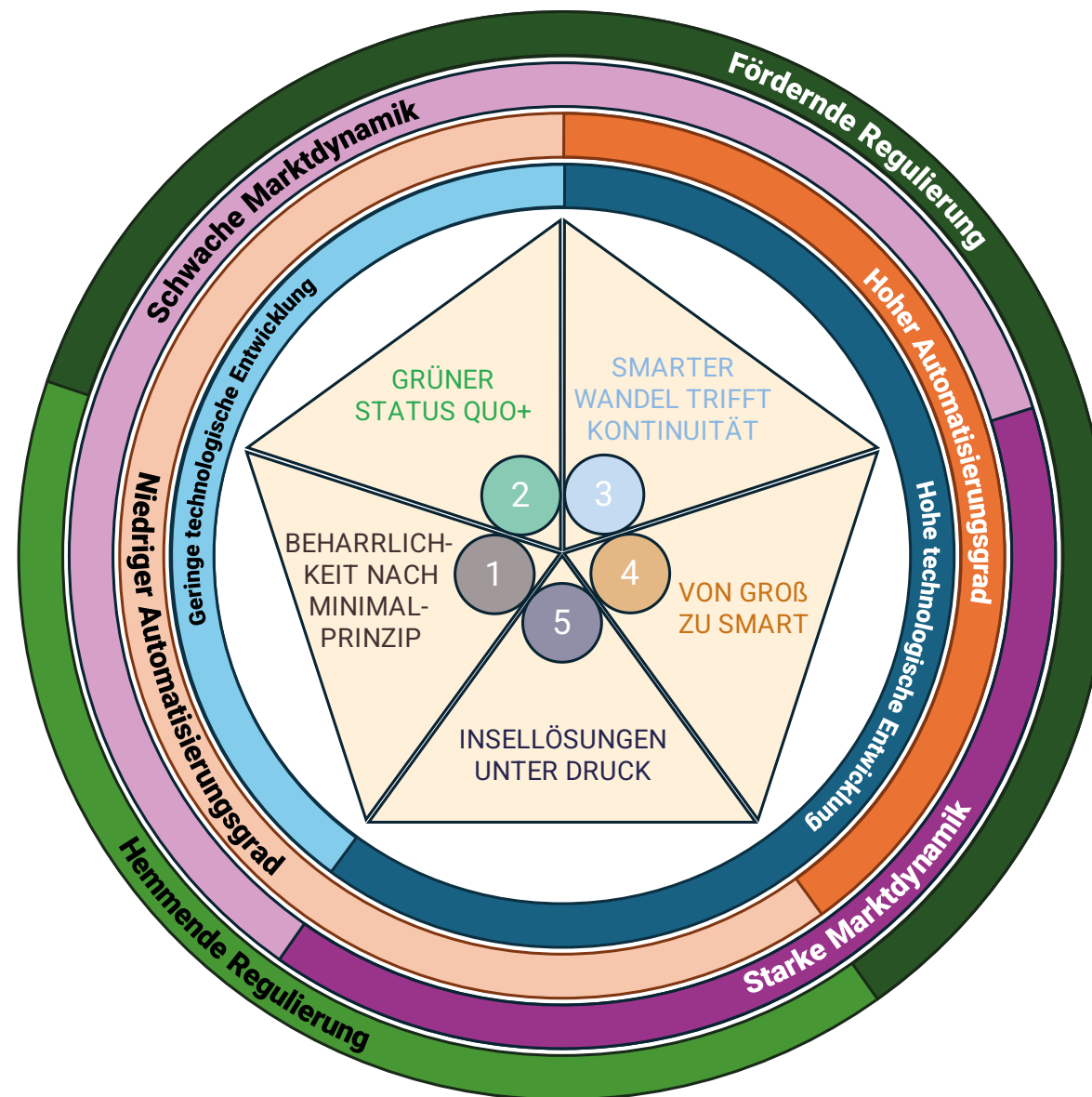


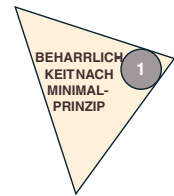
Abb. 8: RAIN-Szenariolandkarte

Das erste zentrale Thema ist die technologische Entwicklung, welche aus den Aspekten Antriebstechnologien und Energiebedarfe, Schiffsseitige Kommunikationstechnik und Netzinfrastruktur (Wasserstraße) aus dem Kapitel **Automatisierung in der Binnenschifffahrt** sowie dem Aspekt Durchdringung der Digitalisierung aus dem Kapitel **Rahmenbedingungen** besteht. Das Thema Automatisierungsgrad beruht auf Aspekten des Anlegen/Ablegens, der Navigation und der Zustandsüberwachung ebenfalls aus dem Kapitel **Automatisierung in der Binnenschifffahrt**. Die Aspekte Strukturwandel in der Binnenschifffahrt und Güterströme aus dem Kapitel **Der Markt der Binnenschifffahrt im Wandel** und der Aspekt Spillovereffekte aus dem Kapitel **Rahmenbedingungen** bilden die Grundlage für das Thema der Marktdynamik. Das Thema des regulatorischen Umfelds fußt auf den Aspekten Regulatorik und Förderkulisse, welche ebenfalls aus dem Kapitel **Rahmenbedingungen** stammen.

Durch die verschiedenen Positionierungen innerhalb eines Themas lässt sich nicht nur erkennen, wie die einzelnen Szenarien ausfallen, sondern auch, welche Übergänge es zwischen ihnen gibt. So lässt sich beispielsweise am **Szenario 3** erkennen, dass dies durch eine hohe technologische Entwicklung und einen hohen Automatisierungsgrad bei einer schwachen Marktdynamik und einer fördernden Regulierung beschreiben lässt. Gleichzeitig lässt sich erkennen, dass sich das **Szenario 4** anhand der Themen durch die Marktdynamik von **Szenario 3** unterscheidet, in dem die Marktdynamik eine andere Ausprägung einnimmt.

Die Szenariolandkarte dient sowohl als Denkmodell als auch als Kommunikationsmittel. Sie schafft ein gemeinsames Verständnis darüber, welche Zukünfte denkbar und welche Entwicklungen möglich sind. Innerhalb des Projekts RAIN hilft sie insbesondere dabei, die gewonnenen Erkenntnisse aus Technik, Wirtschaft, Recht und Organisation miteinander zu verknüpfen und interdisziplinäre

Bezüge sichtbar zu machen. Auf diese Weise fördert die Szenariolandkarte ein integratives Zukunftsverständnis, das als Grundlage für strategische Entscheidungen in der Forschung, Politik und Praxis der Binnenschifffahrt dient.



Szenario 1

Beharrlichkeit nach Minimalprinzip

Die Binnenschifffahrt hat sich bislang kaum von ihren etablierten Betriebs- und Marktstrukturen gelöst. In der Folge können die Akteure nur begrenzt auf veränderte logistische Anforderungen reagieren. Ein über Jahrzehnte anhaltender öffentlicher Investitionsstau sowie ausbleibende regulatorische Impulse verstärken diese Trägheit. Digitalisierung und Automatisierung kommen lediglich punktuell zum Einsatz und bleiben auf einzelne Anwendungsfälle begrenzt. Im Ergebnis kollidieren wachsende Anforderungen an Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit zunehmend mit linearen und langfristig ausgelegten Transportmodellen. Externe Innovationsimpulse aus angrenzenden Branchen oder anderen Verkehrsträgern bleiben weitgehend aus, sodass sich bestehende Wettbewerbsnachteile verfestigen. Das System Wasserstraße präsentiert sich im Jahr 2050 damit im Grunde unverändert gegenüber den 2020er-Jahren.

Konsolidierte Strukturen in einem geschrumpften Markt

Die Eigner- und Betriebsstrukturen in der Binnenschifffahrt bleiben insgesamt überwiegend traditionell geprägt. Aus Fusionen hervorgegangene Unternehmen sowie kleinere Traditionsbetriebe bedienen einen Massengütermarkt, der durch den Nachfragerückgang in ehemals bedeutsamen Gütergruppen wie Kohle und Energieträgern, insgesamt kleiner wird. Partikuliere und mittelständische Unternehmen, agieren mittlerweile häufig in losen Kooperationen oder Verbünden, um wirtschaftlich bestehen zu können.

Trotz eines wachsenden Wunsches der Verladerschaft nach flexibleren und integrierten Logistikkonzepten behauptet sich die Binnenschifffahrt aufgrund ihrer relativen Kostenvorteile vor allem in bestehen gebliebenen preissensitiven Massengutverkehren, wie dem Transport von Erzeugnissen aus Bergbau, Chemieindustrie und Landwirtschaft. Darüber hinaus besteht auch auf standardisierten Containerrelationen weiterhin eine verlässliche Nachfrage. Verlader akzeptieren Qualitätsab-

stiche, beispielsweise in Form geringer Abfahrtsfrequenzen, längeren Vorlaufzeiten und Transportdauern und eingeschränkter Transparenz, im Gegenzug für günstige Transporte. Gleichzeitig sind die Marktanteile in zeit- und flexibilitätssensiblen Verkehren wie der Just-In-Time-Belieferung von Produktionsbetrieben, regionalen Distributionsverkehren oder kurzfristig disponierten Transporten gering. Die verbliebenen Transporte auf den Binnenwasserstraßen erfolgen damit überwiegend entlang der seit Jahrzehnten etablierten Relationen. Strukturelle Anpassungen an neue Bedarfe bleiben damit die Ausnahme und erfolgen meist nur unter akutem wirtschaftlichem oder operativem Druck.

Hinsichtlich der Flottenstruktur setzt die Binnenschifffahrt vor allem auf größere Schiffeinheiten, um bestehende Skaleneffekte möglichst vollständig auszuschöpfen. Diese Entwicklung ist entlang aller Frachtsegmente zu beobachten, sodass Gütermotor- und Tankschiffe unter einer Größe von CEMT-Klasse III

nur noch auf Wasserstraßen, die infrastrukturell beispielsweise durch Schleusen oder Brücken mit geringen Durchfahrtshöhen beschränkt sind, eingesetzt werden. Kleinere Einheiten finden sich vor allem in Nischenanwendungen oder regional begrenzten Verkehren, ihr Anteil in der Gesamtflotte ist jedoch nur noch vergleichsweise gering.

Funktional ausgerichteter Fortschritt mit begrenzter Automatisierung

Bei den Antriebssystemen zeigt sich ein zerteiltes Bild: Während jüngere Einheiten überwiegend batterie-elektrisch ausgerüstet sind, bleibt ein Teil der im Jahr 2050 aktiven Flotte auf dem technischen Stand früherer Jahrzehnte. Diese Einheiten werden weiterhin mit Diesel und zum Teil mit synthetischen E-Fuels sowie Biokraftstoffen in Verbrennungsmotoren betrieben. Um die verbleibende Emissionslast gering zu halten, wird auf Abgasnachbehandlung gesetzt. Klimaneutrale alternative Kraftstoffe und Antriebslösungen, die auf wechselbare Energiespeicher setzen, konnten sich außerhalb zahlreicher Pilotversuche nicht in der Breite durchsetzen.

Die Automatisierung der Flotte beschränkt sich weitestgehend auf Assistenzsysteme. Navigation und Manöver erfolgen weiterhin manuell durch Personal an Bord, wobei Entscheidungsunterstützungen wie Bahnführungsassistenzen punktuell Sicherheit und Effizienz erhöhen. Anlege- und Ablegevorgänge werden weiterhin manuell durchgeführt. Aufgrund des anhaltenden Personalmangels in der Binnenschifffahrt, werden die teils auf eine Person reduzierte Besatzung zunehmend durch spezialisiertes Festmacherpersonal in



KI-generiert

Häfen unterstützt, um den Prozess zu optimieren und um lokale Regelungen zum Festmachen zu entsprechen. Ein automatisierter Schiffsbetrieb bleibt damit auch im Jahr 2050 die Ausnahme.

Die digitale Vernetzung zwischen Schiff und Landseite bleibt funktional, aber uneinheitlich. Kommunikation erfolgt überwiegend sprachbasiert und über unterschiedliche Kanäle wie herkömmlichen Sprechfunk oder das Telefon. Zwar ermöglichen moderne Bordelektronik und Telematik eine begrenzte digitale Zustandsüberwachung bis hin zur Nutzung digitaler Zwillinge, eine systematische Nutzung dieser Daten für eine übergreifende Nutzung zur Optimierung von Flotten, Netzwerken oder Verkehrsströmen findet jedoch nicht statt. Somit ist auch das Verkehrsmanagement primär an der Sicherheit des Verkehrs und weniger an einer logistischen Optimierung des Gesamtnetzes ausgerichtet.

Minimale Impulse für Veränderungen

Die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen sichern bestehende Strukturen, anstatt Veränderung zu stimulieren. Der Fokus öffentlicher Investitionen in die Binnenwasserstraßen liegt auf dem Erhalt des Bestandsnetzes, sodass Ausbaumaßnahmen eine Ausnahme bleiben. Auf der digitalen Ebene wird eine flächendeckende digitale Grundversorgung, beispielsweise mit Mobilfunknetzen und den neuesten RIS-Technologien wie der Übernahme neuer digitaler Kartenstandards und dafür notwendiger Sensorik angestrebt. Der uneinheitliche Ausbau hat jedoch dazu geführt, dass weiterhin infrastrukturelle Digitalisierungslücken bestehen.

Eine politische Fokussierung auf konventionelle Lösungen führt dazu, dass die Notwendigkeit von Digitalisierung und Automatisierung vielfach verkannt wird. Einzelne Förderprogramme und regionale Initiativen

schaffen zwar temporäre Innovationsräume, welche jedoch zeitlich und räumlich begrenzt sind und deren Ergebnisse ohne nennenswerte Breitenwirkung bleiben. Sowohl außerhalb als auch innerhalb der Binnenschifffahrt verharren Projekte daher häufig im Pilotstatus und ohne Anschlussfähigkeit, da eine übergeordnete strategische Klammer fehlt.

Gleichzeitig wirken die regulatorischen Rahmenbedingungen widersprüchlich: Während eine in einigen Bereichen überbordende Regulierung als innovationshemmend wahrgenommen wird, etwa durch komplexe Genehmigungsverfahren, fehlen andernorts klare Regeln für den Einsatz automatisierter Systeme. Digitalisierung und Automatisierung entwickeln sich so nach dem Minimalprinzip und verstetigen einen Zustand begrenzter Anpassungsfähigkeit.

fen stagnierend bis rückläufig. Im Fokus der Personalentwicklung steht die Qualifizierung der vorhandenen Belegschaft, um den Anforderungen des technischen Fortschritts, aber auch den betriebswirtschaftlichen Herausforderungen gerecht werden zu können. Rationalisierungsbestrebungen haben zur Folge, dass zusätzliche Aufgaben in bestehende Berufsbilder integriert werden. Klassische Hafenberufe bleiben weiterhin dominant, während vollständig neue Rollen nur punktuell und in größeren Binnenhäfen oder Hafenverbünden entstehen.

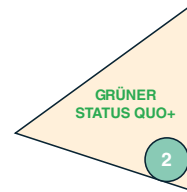
Durch den Übergang zu neuen Antriebskonzepten in der Binnenschifffahrt besteht an vielen Liegeplätzen die Möglichkeit, Schiffe während der Liegezeiten über Ladestationen zu versorgen. Hierdurch entstehen hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Stromnetzes zum Hafen. Das Laden über Hochleistungs-Ladestationen kann im Vergleich zum schnellen Bunkern stofflicher Kraftstoffe zu längeren Liegezeiten führen, wodurch Betriebsabläufe entsprechend angepasst werden müssen. Ältere Schiffseinheiten, die noch mit Verbrennungsmotoren ausgerüstet sind, werden beispielsweise verstärkt eingesetzt, wenn die Umschlagsmengen pro Anlauf klein sind, um eine Verlängerung der Liegezeiten durch das Laden der Batterie zu vermeiden. Die Umstellung auf Ladestationen und eine Flotte mit gemischten Antriebskonzepten erfordert angepasste Sicherheitskonzepte (z. B. Stromnetzstabilität, Brandschutz) und optimierte Betriebsabläufe (z. B. Ladeplanung).

Häfen als „Bestandssysteme zur Sicherung traditioneller Verkehre“



Binnenhäfen verbleiben in einer klassischen Rolle als Standort für Güterumschlag, Lager- und Pufferflächen sowie Abwicklungspunkt etablierter Prozesse. Der marktliche Fokus der Binnenschifffahrt auf preisgetriebene Massengut- und Containerverkehre begrenzt zusätzliche Wertschöpfungspotenziale, so dass Anpassungen der Geschäftsmodelle in den Binnenhäfen nur begrenzt möglich sind.

Innovationen beschränken sich meist auf zeitlich befristete Pilotprojekte, die ohne strategische Verknüpfung bleiben. Die verhaltenen Markt- und Rahmenbedingungen der Binnenhäfen führen dazu, dass Risiken gemieden werden und Investitionen nur bei unmittelbarem wirtschaftlichem Druck erfolgen. Aufgrund der marktlichen Lage zeigt sich der quantitative Personalbedarf in den Binnenhä-



Szenario 2

Grüner Status Quo+

Die Binnenschifffahrt hat bis zum Jahr 2050 eine digitale Veränderung durchlaufen, ohne jedoch einen tiefgreifenden Automatisierungsschub zu vollziehen. Binnenschiffe werden zu einem Großteil nachhaltig betrieben und bedienen einen Markt, in dem sich die Nachfrage nach fossilen Energieträgern zugunsten nachhaltiger Alternativen gewandelt hat. Der Markt ist konsolidiert und wird von etablierten Binnenschifffahrtsunternehmen dominiert, deren Geschäftsmodelle auf Effizienz ausgelegt sind. Staatliche Mittel sichern ein infrastrukturelles Minimum, während innovationsfreundliche Rahmenbedingungen einen evolutionären, aber wenig disruptiven Wandel ermöglichen.

Kosteneffiziente Stabilität im konsolidierten Traditionsmarkt

Die Binnenschifffahrt hat sich in den vergangenen Jahrzehnten konsolidiert. Ökonomischer Druck, Nachfolgeprobleme und technische Entwicklungen haben kleinere Akteure weitgehend vom Markt verdrängt. Zurückgeblieben sind leistungsfähige Anbieter, die bereits lange am Markt sind und diesen unter sich aufteilen.

Die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt basiert vor allem auf deutlichen Kostenvorteilen gegenüber anderen Verkehrsträgern. Qualitätsabstriche, etwa in Form begrenzter Flexibilität und Transparenz, werden von der Verladerschaft akzeptiert, solange der Preis stimmt. Damit adressiert die Binnenschifffahrt vor allem Transportsegmente mit geringer Dynamik. Zum einen sind dies stabile Containerrelationen, zum anderen Massengutverkehre, bei denen sich die Güterstruktur

zugunsten alternativer Energieträger von fossilen Energieträgern wegentwickelt hat. Die Marktanteile am gesamten Transportmarkt bleiben stabil. Nennenswerte Wachstumsimpulse sind hingegen seit vielen Jahren nicht mehr zu beobachten.

Die Flotte besteht in allen Frachtsegmenten überwiegend aus großen Einheiten, mit denen Skaleneffekte konsequent genutzt werden. Kleinere Gütermotor- und Tankschiffe unter der Größe von CEMT-III sind nahezu vollständig aus dem Betrieb ausgeschieden, da sie aufgrund ihrer relativ hohen Personalkosten im Vergleich zu größeren Einheiten einen Kostennachteil haben. Im Containersegment haben sich spezialisierte Schiffe etabliert, die Transporte mit bis zu fünf Containerlagen ermöglichen.

Nachhaltig digitalisiert, bewusst manuell geprägt

Technologisch ist die Binnenschifffahrt umfassend digitalisiert und nachhaltig aufge-

stellt, bleibt im Kern jedoch ein „People's Business“. Der Mensch bleibt die zentrale

Entscheidungsinstanz an Bord und in der Betriebssteuerung, sodass sich eine Automatisierung der Navigation nicht etablieren konnte. So bleiben auch Entscheidungsunterstützungen wie Bahnführungsassistenzen eine Ausnahme, da ihr zusätzlicher Nutzen im Verhältnis zu Investitions- und Betriebskosten als begrenzt eingeschätzt wird. Dementsprechend erfolgen auch andere zentrale operative Prozesse wie die Kommunikation sowie An- und Ablegevorgänge weiterhin manuell durch das Bordpersonal und werden allenfalls durch Hafenmitarbeitende unterstützt. Ein Beispiel stellt die digitale Zustandsüberwachung dar, bei der eine hohe Sensordichte die Nutzung digitaler Zwillinge zur planbaren Wartung und Instandhaltung erlaubt. Einheitliche Kommunikationssysteme sorgen zudem für einen verlässlichen und standardisierten Informationsaustausch entlang der Transportkette.

Gerade Neubauten sind mehrheitlich batterieelektrisch angetrieben, während ältere Binnenschiffe weiterhin in relevantem Umfang mit konventionellen Verbrennungsmotoren betrieben werden, die teils mit synthetischen oder biologischen Kraftstoffen betrieben wer-

Innovationsfreundliche Regulierung bei begrenztem Veränderungsdruck

Politisch wurden die strukturellen Probleme und Herausforderungen der Binnenschifffahrt frühzeitig erkannt und regulatorisch antizipiert. So wurden innovationsfreundliche Rahmenbedingungen geschaffen, mit denen die Erprobung neuer Technologien im Realbetrieb ermöglicht wird und nicht nur auf abgeschottete Testfelder beschränkt ist. Förderprogramme sind gezielt auf spezifische



den und in der Regel mit fortschrittlicher Abgasnachbehandlung ausgestattet sind. Alternative Kraftstoffe und auch Antriebssysteme, die auf wechselbare Energiespeicher setzen, konnten sich hingegen nicht durchsetzen. Insgesamt stabilisiert sich der technologische Status quo in der Binnenschifffahrt auf einem hohen Niveau, jedoch ohne die Schifffahrt fundamental zu revolutionieren.

Technologiebereiche oder Anwendungsfelder ausgerichtet, arbeiten meist jedoch mit überschaubaren Finanzmitteln. Dies begünstigt gezielte Weiterentwicklungen, birgt jedoch die Gefahr isolierter Lösungen ohne systemische Wirkung.

Gerade im Bereich der Automatisierung bleibt der gesamtgesellschaftliche und wirtschaft-

liche Wille zur Veränderung gleichzeitig begrenzt. Sie wird nur dort umgesetzt, wo sich ein klarer und kurzfristig tragfähiger Business Case ergibt. Breite Entwicklungssprünge bleiben aus, ebenso wie nennenswerte Spill-

overeffekte in andere Branchen oder Verkehrsträger. Insgesamt verstetigt sich damit ein stabiler, nachhaltiger und digital unterstützter Zustand, der keinen grundlegenden Strukturwandel erzwingt.

Häfen als „effiziente Umschlagsorte mit digitalen Unterstützungsleistungen“



Eine starke Konsolidierungsbewegung hat in der Binnenschifffahrt zu einer starken Kapital- und Marktkonzentration bei einzelnen Marktteilnehmern geführt. Optimierte Prozesse und Skaleneffekte durch den Einsatz großer Schiffe ermöglichen einen komparativen Kostenvorteil gegenüber anderen Verkehrsträgern. Entsprechend ist die Binnenschifffahrt vermehrt auf preissensible Märkte sowie auf stabile und standardisierte Relationen fokussiert, wodurch die Möglichkeiten zur Ausweitung physischer Wertschöpfungsaktivitäten begrenzt sind. Der hohe Digitalisierungsgrad in der Binnenschifffahrt gibt insbesondere größeren Häfen die Chance, digitale Dienstleistungen für die Schifffahrt anzubieten. Dies umfasst beispielsweise die digitale Abwicklung von Hafenprozessen (z. B. Avisierung von Schiffen, elektronische Liegeplatzzuweisung oder Slot-Management), die Koordination von Wartungsarbeiten sowie Lade- und Energiemanagement. Auch digitale Dokumentations- und Berichtssysteme, etwa zur Erfassung von Liegezeiten, Umschlagsleistungen oder CO2-Emissionen für Reedereien und Verlader, gewinnen an Bedeutung. Derartige Innovatio-

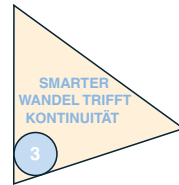
nen sind direkt wirtschaftlich begründet und ermöglichen Übertragungseffekte in andere Branchen.

Der Mensch ist aus der Binnenschifffahrt nicht wegzudenken. Prozesse und Tätigkeiten, die früher manuell ausgeübt wurden, werden es auch heute noch. Der hohe Grad der Digitalisierung bringt es jedoch mit sich, dass sich das Anforderungsprofil an Mitarbeitende in Binnenhäfen stark gewandelt hat. Die Branche ist für IT-affine Fachkräfte ein attraktives Arbeitsumfeld – nicht nur in der Verwaltung, sondern gerade auch in den technischen und operativen Bereichen wird ein hohes Verständnis für Digitaltechnik gefordert. Gleichzeitig behalten klassische operative Rollen mit Bezug zur Schiffsabfertigung eine Relevanz, da die Organisation der Binnenschifffahrt weiterhin deutlich durch manuelle Abläufe und praktische Erfahrung geprägt ist.

Leistungsfähige Stromnetze sind Standard, um den batterie-elektrischen Teil der Flotte versorgen zu können. Geladen werden diese Schiffe während der Liegezeiten. Das Laden

erfolgt in der Regel über Hochleistungs-Ladestationen, welche erhöhte Anforderungen an die Netzanschlüsse der Häfen stellen. Im Vergleich zum Bunkern stofflicher Kraftstoffe können sich dadurch längere Lieferzeiten ergeben, wodurch Abläufe im Hafenbetrieb entsprechend angepasst werden müssen. Um zu vermeiden, dass die dafür notwendigen Ladezeiten die umschlagsbedingte Liegezeit deutlich überschreiten, werden beispielsweise für

kleine Umschlagsmengen ältere Einheiten mit Verbrennungsmotoren eingesetzt. In den entsprechenden Häfen sind daher neben der Ladeinfrastruktur weiterhin Bebunkerungsmöglichkeiten für die entsprechenden stofflichen Energieträger vorhanden. Durch die Veränderung der Antriebstechnologien innerhalb der Flotte wurden Sicherheitskonzepte und Betriebsabläufe teilweise deutlich überarbeitet.



Szenario 3

Smarter Wandel trifft Kontinuität

Die Binnenschifffahrt hat sich bis zum Jahr 2050 zu einem technologischen Vorreiter im Transportwesen entwickelt. Diese Rolle ist das Ergebnis einer strukturell zwingend erforderlichen Entwicklung, welche durch zielgerichtete Regulatorik und den Ausbau der öffentlichen Infrastrukturen begünstigt wurde. Automatisierung ist dabei zum zentralen Wettbewerbsvorteil geworden. Die Marktstrukturen und Nachfrageprofile bleiben trotz ausgeprägter Technologisierung weitgehend klassisch, wodurch es weniger einen Bruch mit bestehenden Geschäftsmodellen gibt, sondern ein technologisches Upgrade des Systems Wasserstraße gegeben hat.

Finanzstarke Reedereien dominieren den Markt

Der Markt der Binnenschifffahrt hat sich in den vergangenen Jahrzehnten vollständig konsolidiert. Partikuliere haben ihren Betrieb weitestgehend eingestellt. Dadurch hat sich das Feld für finanzstarke Reedereien mit selbstbetriebenen Flotten eröffnet, welche weitgehend automatisiert und mit deutlich reduziertem Personaleinsatz geführt werden. Trotz dieser tiefgreifenden Veränderungen adressiert die Binnenschifffahrt weitestgehend die seit Jahrzehnten etablierten Nachfragestrukturen.

Im Vergleich zu früheren Phasen, in denen die Binnenschifffahrt in vielen Transportsegmenten Marktanteile verloren hatte, hat sich die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt erheblich verbessert. Der hohe Automatisie-

rungsgrad hat signifikante Kostenreduktionen und gleichzeitig eine gestiegene Zuverlässigkeit und Qualität der Transportleistungen ermöglicht, welche die Position der Binnenschifffahrt nachhaltig stärken. Die für die Binnenschifffahrt relevanten Transportnetzwerke bleiben überwiegend unverändert und auf bekannte Relationen ausgerichtet.

Angesichts des Rationalisierungsstrebens besteht die Flotte dabei überwiegend aus großen Einheiten, um Skaleneffekte optimal zu nutzen. Kleinere Gütermotor- und Tankschiffe bis zur Größe von CEMT-III sind nahezu vollständig aus dem Betrieb ausgeschieden. Auch im Bereich der Containertransporte haben sich große Einheiten durchgesetzt. Diese ermöglichen Transporte in bis zu fünf Containerlagen.

Hochautomatisierter Schiffsbetrieb mit minimalen Eingriffen

Technologisch hat die Binnenschifffahrt in den vergangenen Jahrzehnten einen großen Sprung vollzogen. Sie ist hochautomatisiert, elektrifiziert und rationalisiert, sodass das „smarte Schiff“ zum Standard geworden ist.

Der operative Schiffsbetrieb erfolgt in vielen Fällen ohne Personal an Bord, sodass sich menschliche Eingriffe auf Ausnahmesituationen beschränken. Die Navigation und die Kommunikation erfolgen weitestgehend auto-

nom und werden durch zentrale Remote Operations Centres überwacht. Auch das An- und Ablegen ist hochautomatisiert und zeichnet sich durch eine Mischung aus bord- und hafen-seitigen Systemen aus.

Elektrische Antriebskonzepte haben sich flächendeckend durchgesetzt. Bei älteren Schiffen ist hierbei eine Umrüstung auf Konzepte mit modularen Wechselsystemen zur Energiebereitstellung erfolgt, welche während der Hafenliegezeiten getauscht werden und bei denen sowohl Akkus als auch Wasserstoff die notwendige Energie liefern können. Im Bereich der Neubauten sind zunehmend auch fest integrierte Speichereinheiten verbreitet. Konventionelle Verbrennungsmotoren werden nur noch vereinzelt aus Gründen des Bestandsschutzes eingesetzt.

Eine hohe Sensordichte ermöglicht die kontinuierliche Zustandsüberwachung nahezu aller Bordsysteme. Fortschrittliche Diagnosesysteme erkennen Abweichungen frühzeitig, schlagen automatisiert Maßnahmen vor und bilden

Effektive Regulierung als Automatisierungsturbo

Vorteilhafte regulatorische Rahmenbedingungen und klare politische Digitalisierungsziele haben die Binnenschifffahrt zu einem Vorreiter der Automatisierung im Transportsektor gemacht. Politisch wurden primär Entwicklungsrichtungen skizziert, anstatt detaillierte technische Vorgaben zu forcieren. Dies hat Investitionssicherheit geschaffen und zugleich technologische Vielfalt ermöglicht, sodass neue Lösungen schnell im Realbetrieb erprobt und skaliert werden.



die Grundlage für vorausschauende Wartung. Der Austausch von Informationen zwischen Schiffen, beziehungsweise zwischen Schiff und Landseite, erfolgt vollständig automatisch und softwarebasiert. Eine durchgängige Standardisierung hat sich allerdings bisher nicht durchgesetzt.

Gleichzeitig wurde der Investitionsstau im Wasserstraßennetz fast vollständig aufgelöst. Neben dem Erhalt des Bestandsnetzes wurden gezielt Ausbauvorhaben umgesetzt, während die digitale und technische Netzinfrastuktur flächendeckend auf einen modernen Standard angehoben wird.

Groß angelegte Förderprogramme unterstützen strukturell wirksame Maßnahmen mit langfristiger Wirkung in zentralen Bereichen

der Branche. Fördermittel werden gezielt eingesetzt, um private Innovationsaktivitäten zu ergänzen und nicht zu ersetzen. Die Bedeutung von Digitalisierung als Grundpfeiler der Automatisierung hat sich frühzeitig in der Branche

etabliert. Aufgrund des hohen Innovationsniveaus entstehen zahlreiche Anwendungen mit Potenzial für Spillovereffekte in andere Wirtschaftsbereiche.

Häfen als „operatives Rückgrat der automatisierten Binnenschifffahrt“



Binnenhäfen sind im Jahr 2050 mehr als nur Umschlagplätze, sondern integrierte Systemknoten einer hochautomatisierten und auf große Einheiten ausgelegten Binnenschifffahrt. Vor allem größere Häfen verfügen über Anlegestellen, die vollständig auf autonome Schiffe ausgerichtet sind. Diese sind mit umfangreicher Sensorik sowie automatisierten Systemen zum Energietransfer und, sofern keine bordseitigen Systeme verwendet werden, mit automatisierten An- und Ablegesystemen ausgestattet. Anlegestellen, an denen sowohl autonome als auch konventionelle Schiffe abgefertigt werden, sind vor allem in kleineren Binnenhäfen zu finden, da die hohen Investitionen angesichts der absehbaren geringen Nutzung nicht wirtschaftlich sind. Diese Mischformen gehen mit einer erhöhten Komplexität bei der Koordination und in den Prozessen, zum Beispiel beim Bunkern oder Festmachen, einher.

Durch die Elektrifizierung der Flotte sind Häfen wichtige Energie- und Versorgungsstandorte. Neben Ladeinfrastruktur für batterie-elektrisch betriebene Binnenschiffe sind Systeme

für den Austausch modularer Energiespeicher, die Batterien oder Wasserstoff enthalten, weit verbreitet. Rund um die Energieversorgung von Schiffen haben Binnenhäfen ihre Geschäftsmodelle erweitert und übernehmen zunehmend Aufgaben im Energiemanagement, beispielsweise durch Speicherlösungen oder lokale Energieerzeugung zum Beispiel durch Photovoltaik- oder Windenergieanlagen.

In den meisten Binnenhäfen entsteht eine hochgradig integrierte digitale Abbildung der Hafeninfrastruktur. Diese Abbildung ermöglicht eine präzise Navigation und automatisiertes An- und Ablegen, sowohl durch direkte Interaktion mit den Schiffen als auch durch autonome Systeme untereinander. Sensorik, Kameras, Beacons und sonstige Informations- und Kommunikationsmodule sind flächendeckend miteinander vernetzt. Dadurch fließen Echtzeitdaten beispielsweise zur Position, Geschwindigkeit, Energieversorgung und Umgebungsbedingungen sowohl von Schiffen als auch vom Hafen in zentrale Hafenmanagementsysteme und erzeugen einen digitalen Zwilling der Situation im Hafen. Remote Ope-

rations Centres überwachen automatisierte Flotten von unterschiedlichen geografischen Standorten.

In einem Umfeld mit durchgehender Digitalisierung und einer hohen Nachfrage nach Transporten auf der Binnenwasserstraße haben sich für die Häfen neue Wertschöpfungsmodelle eröffnet. Dies betrifft sowohl die energie- und antriebsbezogenen Aspekte, technische Services (Durchführung von Wartungsmaßnahmen, Systemupdates, Hardwaretausch zunehmend in den Häfen) oder auch operative System- und Logistikdienstleistungen (Remote Operations Services wie Flottenüberwachung, Störungsmanagement, speditionelle Aufgaben) eröffnet. Innovationskultur ist strategisch verankert und drückt sich in einer veränderten unternehmerischen Grundhaltung und in ausgeprägten Integrationsbe-

mühungen aus. Insgesamt haben Binnenhäfen ihre Rolle deutlich erweitert und haben sich zu technologischen und energetischen Knotenpunkten innerhalb der automatisierten Binnenschifffahrt gewandelt.

Die technischen Veränderungen in den Binnenhäfen bedeuten hohe qualitative Anforderungen an das Personal. Durch die Verlagerung von manuellen Arbeiten zu systemischen Steuerungs- und Servicefunktionen ergibt sich insbesondere in größeren oder zentral gelegenen Häfen potenziell ein Bedarf an Koordinations- bzw. Leitstandarbeiten, die sowohl schiffstechnische als auch nautische Expertise verlangt. Der Betrieb der notwendigen Systeme erfordert zudem zusätzliches Wissen im Bereich des Betriebs von IT- und OT-Systemen.



Szenario 4

Von Groß zu Smart

Die Binnenschifffahrt hat sich neu erfunden: Das frühere Kerngeschäft im Transport großer und homogener Volumina tritt in den Hintergrund, während automatisierte, digital vernetzte und modulare Transportlösungen an Bedeutung gewinnen. Als integrierter Bestandteil einer smarten Logistiklandschaft bedient die Binnenschifffahrt dynamische Nachfrageprofile, die kurzfristige Disposition, kleinteilige Sendungen und hohe Echtzeitentscheidungen erfordern. Öffentliche Investitionen und eine zwanglose Regulatorik ermöglichen diesen tiefgreifenden Wandel und markieren einen Bruch mit der traditionellen Logik des Verkehrsträgers.

Neue Segmente, neue Akteure, neue Marktlogiken

Der Markt der Binnenschifffahrt ist grundlegend im Umbruch. Neben gewachsenen Akteuren mit langer Erfahrung in der Binnenschifffahrt treten zahlreiche neue Marktteilnehmer auf. Hierzu gehören technologiegetriebene Logistikdienstleister, Plattformanbieter und spezialisierte Betreiber autonomer Flotten, die flexible Transportdienstleistungen mit hohem Serviceniveau anbieten. Für Containerverkehre stehen weiterhin preiswerte Leistungen zur Verfügung, während neue Marktsegmente entstehen, die sich deutlich von den traditionellen Einsatzprofilen der Binnenschifffahrt unterscheiden.

Automatisierung eröffnet der Binnenschifffahrt Zugang zu Anwendungen, die bislang anderen Verkehrsträgern vorbehalten waren. Erfolgreiche Anwendungsfälle lassen sich insbesondere in urbanen und angrenzenden Räumen beobachten, beispielsweise in der City-Logistik, bei zeitkritischen Belieferungen oder bei der Anbindung regionaler Distributions- und Umschlagszentren. Die Wettbewerbsfähigkeit ist insgesamt hoch, differenziert sich jedoch stark nach Segmenten: Während

standardisierte Leistungen kostengünstig angeboten werden, richten sich hochflexible und stark integrierte Services an einen zahlungsbereiten Kundenkreis, der Verfügbarkeit, Reaktionsgeschwindigkeit und Systemintegration stark gewichtet.

Je nach Marktsegment sind die Eigner- und Betriebsstrukturen heterogen. In einigen Teilmärkten herrscht intensiver, kleinteiliger Wettbewerb, während in anderen Bereichen oligopolartige Strukturen mit spezialisierten Anbietern bestehen. Klassische Containertransporte bestehen fort, werden jedoch durch neuartige containerisierte Systeme ergänzt, die beispielsweise mit kleinen Schiffseinheiten umgesetzt werden. Diese ermöglichen eine flexible Konsolidierung und nachfragegerechte Verteilung von Sendungen entlang der Wasserstraße.

Hinsichtlich der Flottenstruktur wird die Binnenschifffahrt von einer Vielzahl kleiner, autonomer und nachhaltig betriebener Containerschiffe geprägt, während große Einheiten eine geringere Rolle spielen. Zudem hat sich

die Flotte deutlich verjüngt und beinhaltet einen hohen Anteil spezialisierter Schiffe, teils deutlich unter sechzig Metern Länge, die auf hochfrequente, bedarfsgesteuerte Transporte ausgelegt sind und flexibel eingesetzt werden können.

Kleine, autonome Einheiten als neues Rückgrat

Der Betrieb dieser neuen Einheiten erfolgt vollständig unbemannt. Hochautomatisierte Navigations- und Anlegesysteme ermöglichen einen sicheren und effizienten Betrieb ohne Besatzung an Bord. ROC überwachen die Flotten und greifen nur in Ausnahmefällen ein, wenn das Binnenschiff meldet, eine Situation nicht sicher einschätzen zu können. An- und Ablegevorgänge erfolgen überwiegend automatisiert durch bordseitige Anlegesysteme, sodass die Schiffe auch an einfachen Anlegestellen oder temporären Umschlagpunkten unabhängig von landseitiger Hafeninfrastruktur operieren können.

Antriebsseitig werden nachhaltige und flexible Wechelsysteme genutzt, die einen schnellen und bedarfsgerechten Einsatz ermöglichen. Das „smarte Schiff“ ist Standard: Digitale Zwi-



KI-generiert

linge mit hoher Sensordichte übernehmen die Zustandsüberwachung und ermöglichen eine vorausschauende Planung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten im Hafen.

Der Austausch von Informationen und Daten zwischen Schiffen beziehungsweise zwischen Schiff und Land erfolgt automatisch und softwarebasiert. Einheitliche Standards haben sich hier nicht durchgesetzt, was zu systemischer Vielfalt führt, jedoch auch Innovation und Anpassungsfähigkeit begünstigt.

Politische und regulatorisch unterstützter Systemwechsel

Politik und Verwaltung haben die notwendigen Entwicklungen frühzeitig erkannt und aktiv gesteuert. Großzügige Fördermittel wurden so platziert, dass sie Planungssicherheit bieten, ohne die Innovationskraft der Industrie zu schwächen. Dadurch wurden Digitalisierung und Automatisierung flächendeckend

auf hohem Niveau umgesetzt. Die Regulatorik ist liberal und schlank gehalten: Sie setzt Zielrichtungen, verzichtet jedoch auf detaillierte Vorgaben und ermöglicht so schnelle Lernzyklen im Realbetrieb und Innovationen außerhalb klassischer Testumgebungen. Die Branche ist in der Lage, neue Lösungen schnell zu

entwickeln, zu erproben und zu skalieren. Digitalisierung und Automatisierung werden als notwendige Antwort auf den demografischen Wandel und die wirtschaftliche Transformation verstanden. Der gesellschaftliche Umgang mit automatisierten Systemen ist von Akzeptanz und Gestaltungswillen geprägt, was auch ein Grund dafür ist, dass Spillovereffekte zwischen verschiedenen Branchen beobachtet werden können: Automatisierung ist weitflächig etabliert, technologische Entwicklungen befruchten sich gegenseitig und beschleunigen den gesamtwirtschaftlichen Wandel.

Parallel dazu wird die Wasserstraßen- und Netzinfrastuktur nicht nur erhalten, sondern gezielt ausgebaut. Beispielsweise durch die Modernisierung von Schleusen oder die Digitalisierung der Verkehrssteuerung werden neue Verkehrsformen und Nutzungskonzepte ermöglicht. Durch flächendeckende Modernisierung der digitalen Infrastruktur wird die Binnenschifffahrt zukunftsfähig gestaltet.

Häfen als „vernetzte und flexible Knoten“



Die zunehmende Verbreitung kleiner, autonomer Schiffe und die damit verbundene Flexibilisierung des Transportsystems Wasserstraße hat sowohl die infrastrukturellen Anforderungen als auch die organisatorische Rolle der Häfen grundlegend verändert. Neue Anwendungsfälle in der Binnenschifffahrt wie beispielsweise die direkte Versorgung von Restaurants oder Supermärkten unter dem Begriff der „Citylogistik“ werden durch kleine Schiffeinheiten ermöglicht und zeichnen sich durch die von Binnenhäfen gesteuerte Dezentralisierung von Ladungsumschlag aus. Bordseitige Systeme ermöglichen automatisiertes Anlegen und Festmachen, wodurch flexible und einfache Anlegestellen an Bedeutung gewonnen haben. Dies eröffnet die Möglichkeit von Mischformen von Umschlagpunkten entlang der Wasserstraßen, an denen sowohl konven-

tionelle als auch automatisierte Binnenschiffe abgefertigt werden können. Umfangreiche infrastrukturelle Anpassungen sind dadurch nicht erforderlich.

Mit dem Umstieg auf containerisierte Energiespeicher und alternative Kraftstoffe (z. B. Methanol, Ammoniak, Wasserstoff) entstehen neue Anforderungen an die Hafeninfrastruktur. Binnenhäfen schaffen Lager- und Ladeflächen für wechselbare Energiespeicher und erweitern elektrische Netzanschlüsse, um die Wechselspeicher in Micro Grids mit Energie zu versorgen. Bestehende Umschlagssysteme werden teilweise für das Handling dieser Wechselspeicher genutzt, während für alternative Kraftstoffe bestehende Infrastrukturen und Prozesse teils nur eine geringe Anpassung bedurften.

Die digitale Abbildung des Hafens schreitet deutlich voran. Sie wird beispielsweise über Sensorik, Lasermesstechnik, Kameras oder HD-Maps aktualisiert und ermöglicht damit die Übermittlung von Echtzeitdaten an die Schifffahrt. Eine standardisierte Bereitstellung dieser Daten unterstützt bordseitige Systeme sowohl auf konventionellen als auch auf autonomen Schiffen und assistiert im Hafen bei der Positionsbestimmung und der Kollisionsvermeidung. Entlang der Wasserstraßen und innerhalb der Häfen bietet die Infrastruktur flächendeckend ein hochverfügbares und performantes Netz für eine sichere autonome Schifffahrt. Die autonome Schifffahrt wird kontinuierlich über ROC überwacht, menschlicher Eingriff bleibt auf Ausnahmesituationen beschränkt. Insbesondere größere Häfen haben den Betrieb dieser Einrichtungen in ihr Dienstleistungsportfolio aufgenommen, da sie bereits über nautische Leitstellen, eine gute digitale Infrastruktur und Fachpersonal verfügen. Die ROC ermöglichen eine logistische

Verknüpfung von Abfertigungsplanung und Schiffsbetrieb. Neue Marktteilnehmer im Bereich kleiner autonomer Einheiten nutzen diese Dienstleistungen, da der nautische Betrieb nicht ihr Kerngeschäft ist.

Eine ausgeprägte Innovationskultur ist für die Binnenhäfen der Schlüssel zum Erfolg geworden, um sich in einem fragmentierten Markt zu behaupten. Die Fähigkeit, sich an technologische und wirtschaftliche Veränderungen anzupassen, erfordert nicht nur ein Umdenken hinsichtlich organisatorischer Abläufe und Anwendung von Technologie, sondern auch bei der Personalstruktur. Klassisch manuelle Hafenarbeiten haben an Bedeutung verloren, während neue Personalbedarfe in wissens- und koordinationsintensiven Bereichen, wie der IT- und OT-Betreuung sowie bei Unterstützungsfunktionen für die Schifffahrt entstehen.



Szenario 5

Insellösungen unter Druck

Technischer Fortschritt ist zwar vorhanden, bleibt jedoch unkoordiniert. Häfen, Reedereien und Schiffstechnik verfolgen eigene Ansätze, die nur begrenzt aufeinander abgestimmt sind und keine übergreifende Systemlogik erkennen lassen. Automatisierung entsteht daher punktuell und aus individuellem Engagement heraus, nicht als Ergebnis eines gemeinsamen Zielbilds für den Verkehrsträger. Unter wachsendem Wettbewerbsdruck konzentrieren sich öffentliche Investitionen auf wenige Korridore, wodurch sich Leistungsfähigkeit und Entwicklungsdynamik räumlich zunehmend auseinanderentwickeln und die Binnenschifffahrt um ihre Stellung im Transportmix ringt.

Heterogene Teilmärkte ohne gemeinsame Entwicklungsrichtung

Der Markt der Binnenschifffahrt ist nach wie vor stark fragmentiert. Zahlreiche etablierte Unternehmen und Partikuliere, ergänzt durch einzelne neue Marktteilnehmer, bedienen sehr unterschiedliche Teilmärkte. In einigen Segmenten wie klassischen Massengutverkehren oder standortgebundenen Industrieverkehren existiert ein stabiler Kundenkreis, der auf den Verkehrsträger Binnenschiff angewiesen ist, jedoch vergeblich ein breiteres und flexibleres Leistungsportfolio erwartet. In anderen Teilmärkten entstehen neue, dynamische Dienstleistungsangebote, wie regionale Projektverkehre, die jedoch überwiegend auf planbare Nachfrage-Strukturen ausgerichtet sind.

Auch die Wettbewerbsfähigkeit des Systems Wasserstraße im verkehrsträgerübergreifenden Vergleich ist uneinheitlich ausgeprägt. Hochwertige Transportleistungen werden für einen kleinen, zahlungsbereiten Kundenkreis angeboten, während parallel preisgünstige

Dienstleistungen mit deutlichen Serviceabstrichen existieren. Ein einheitliches Leistungsversprechen des Verkehrsträgers lässt sich damit nicht ableiten. Somit bleiben Transportnetzwerke größtenteils in ihren etablierten Strukturen verhaftet, während neue Angebote diese punktuell ergänzen.

Mit Blick auf die Flottenstruktur befindet sich die Binnenschifffahrt im Jahr 2050 in einem Übergangszustand. Die Flotte wird von kleinen Einheiten dominiert. Nachdem die Nachfrage nach ehemals starken Gütergruppen wie Kohle oder fossilen Energieträgern eingebrochen ist, können größere Schiffe in vielen Segmenten keine Skalenelemente mehr ausnutzen und werden aus der Flotte ausgemustert. Diese Entwicklung folgt weniger einer übergreifenden Strategie, sondern ist das Ergebnis individueller betrieblicher Anpassungen an die Nachfrage nach flexiblen Leistungen, sowie Kosten- und Personaldruck.

Fortschritt im Übergang - digital unterstützt, selten automatisiert

Einerseits hat sich tiefgreifende Automatisierung nicht flächendeckend etabliert. Der Regelfall bleibt ein bemannter Betrieb mit digitaler Unterstützung. Einzelne Akteure setzen zwar erfolgreich hochautomatisierte Navigationslösungen ein, diese bleiben jedoch Insellösungen ohne Breitenwirkung. Fernüberwachung durch Remote Operations Centre kommt punktuell zum Einsatz, ersetzen das nautische Personal an Bord jedoch nicht systematisch. Andererseits hat es erhebliche Veränderungen im Bereich der Antriebskonzepte gegeben. Hierbei haben sich elektrische Antriebskonzepte weitgehend durchgesetzt, überwiegend in Form fest eingebauter Akkusysteme. Konzepte mit modularen Wechselssystemen sind eher vereinzelt zu beobachten. Konventionelle Verbrennungsmotoren spielen nur noch eine untergeordnete Rolle und werden primär aus Gründen des Bestandsschutzes weiterbetrieben.

Gleichzeitig hat der Fachkräftemangel an Bord zu organisatorischen Anpassungen geführt: Aufgrund reduzierter Besatzungen werden An- und Ablegevorgänge vielerorts durch Festmacherpersonal in den Häfen übernommen oder

Restriktiver Rahmen und fehlende strategische Leitplanken

Die Notwendigkeit von Automatisierung ist politisch und gesellschaftlich erkannt, wird jedoch nicht konsequent unterstützt. Politische Unvereinbarkeiten haben über Jahre zu restriktiven, unvollständigen und teils widersprüchlichen Regulierungen geführt. Entwicklungen entstehen häufig nur unter



unterstützt. Fortschritte zeigen sich insbesondere in der digitalen Zustandsüberwachung. Ein Großteil der Flotte verfügt über eine hohe Sensordichte und nutzt digitale Zwillinge zur Planung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen.

Die Kommunikation zwischen Schiff und Land erfolgt sowohl sprachbasiert als auch automatisiert zwischen Systemen. Ein vergleichsweise hoher Standardisierungsgrad erleichtert zwar die Integration neuer Systeme, ersetzt jedoch keine fehlende Gesamtarchitektur.

akutem Handlungsdruck und zur Sicherung der Betriebsfähigkeit, nicht aus strategischer Überzeugung heraus. So stehen Fördermittel beispielsweise nur in begrenztem Umfang zur Verfügung und werden ohne klare Priorisierung verteilt. Dies führt zu einer zersplitterten Projektlandschaft: Einzelne Vorhaben wirken

leuchtturmartig, bleiben jedoch isoliert und entfalten kaum Anschluss- oder Skaleneffekte.

Fehlende Konsequenz zeigt sich auch in der Infrastrukturentwicklung. Öffentliche Investitionen konzentrieren sich auf stark frequentierte Hauptkorridore, die teils auch kapazitiv erweitert werden. Nebenstrecken werden hingegen vernachlässigt. Gleiches zeigt sich in Bezug auf die digitalen Netzinfrastrukturen, welche auf ausgewählten Strecken begrenzt einen hohen technischen Standard erreichen.

Vorbehalte gegenüber Automatisierung führen zu einem Festhalten an etablierten Methoden.

Automatisierung wird vielfach erst dann umgesetzt, wenn sie sich nicht mehr vermeiden lässt. Gleichzeitig hemmt Überregulierung die Nutzung vorhandener digitaler Innovationspotenziale. Auch Spillovereffekte aus anderen Branchen bleiben weitgehend aus. Während sich viele Wirtschaftsbereiche gezwungenermaßen technologisch weiterentwickeln, gelingt der Transfer dieser Entwicklungen in die Binnenschifffahrt nur eingeschränkt. Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern verliert die Branche schrittweise an Anschlussfähigkeit.

Häfen als „Stabilisatoren eines fragmentierten Systems“



Die Binnenschifffahrt ist technologisch und organisatorisch stark fragmentiert. Binnenhäfen stehen dadurch vor der integrativen Herausforderung, den unterschiedlichen Entwicklungen der Schifffahrt mit flexiblen Lösungen zu begegnen. Häfen positionieren sich damit als „Stabilisatoren eines fragmentierten Systems“.

Die unterschiedlichen elektrischen Antriebskonzepte in der Flotte führen dazu, dass in den Häfen teilweise mehrere Lademöglichkeiten vorgehalten werden. Neben Direktladestationen entstehen an einzelnen Standorten Infrastrukturen für modulare Energiewechselsysteme, die zusätzliche Lagerflächen sowie Umschlagskapazitäten erfordern. Ein

nicht unerheblicher Teil der Standorte hält jedoch ausschließlich direkte Ladestationen vor. Gerade hier wird versucht, die angeforderte elektrische Last zumindest teilweise durch Photovoltaikanlagen oder andere regenerative Energiequellen zu kompensieren. Damit gehen erhöhte Anforderungen an Netzanschlüsse, Energiemanagement und Sicherheitskonzepte einher. Auf der anderen Seite bedeuten diese Anlagen bei niedrigen Lastabfragen die Produktion von Überkapazitäten, sodass sich größere Häfen zusätzlich in Richtung von Energieversorgungsleistungen diversifiziert haben.

Die fehlende Standardisierung des Datenaustauschs verhindert eine weitflächige Nutzung

konsistenter digitaler Abbilder von Häfen in der Schifffahrt. Zwar liefern Kameras und Sensorik umfangreiche Daten, jedoch verbleiben diese häufig in isolierten Anwendungen oder proprietären Datensätzen. Angesichts des geringen Anteils hochautomatisierter Einheiten in der Flotte ist eine Nutzung dieser Daten auf einer höheren Systemebene bislang jedoch auch nicht zwingend erforderlich geworden. Remote Operations Centres außerhalb von Häfen fungieren als zentrale Koordinations- und Kompensationsstellen für verschiedene Automatisierungsgrade und Navigationssysteme. Sie überwachen und steuern automatisierte Binnenschiffe, die vereinzelt in der Flotte vorhanden sind und integrieren diese in das weitestgehend konventionell betriebene System „Binnenschifffahrt“. Durch eine Skalierung von Pilotprojekten werden somit Interoperabilität und die Hafen-Schiff-Interaktion der automatisierten Binnenschifffahrt ausgebaut, wodurch der Übergang zu einer höheren Automatisierung vorbereitet wird.

Der anhaltende Personalmangel in der Binnenschifffahrt hat dazu geführt, dass manuelle Tätigkeiten wie das Fest- und Losmachen von Binnenschiffen mittlerweile zunehmend von Hafenmitarbeitenden durchgeführt oder

unterstützt werden müssen. Für Binnenhäfen bedeutet dies zum einen zusätzlichen Kostendruck, da Mitarbeitende weitere Aufgaben übernehmen und gegebenenfalls mit verschiedenen digitalen Assistenzsystemen umgehen müssen, während gleichzeitig der Koordinationsaufwand zwischen Schiff und Hafen steigt. Die Häfen übernehmen damit teilweise Funktionen, die zuvor auf der Schiffsseite lagen.

Vor allem Häfen, welche die wenigen hochautomatisierten Schiffe bedienen, investieren in moderne Netz- und Kommunikationsinfrastrukturen, während andere Standorte aufgrund geringer Nachfrage oder fehlender Wirtschaftlichkeit auf entsprechende Investitionen verzichten. Dies führt zu unterschiedlichen Leistungsfähigkeiten zwischen Haupt- und Nebenkorridoren und begünstigt die Entstehung eines „Zwei-Klassen-Systems“ unter den Binnenhäfen. Durch die Übernahme von zusätzlichen Aufgaben aus der Binnenschifffahrt, fehlen Häfen mitunter die Kapazitäten, um Innovationen bewusst voranzutreiben. Innovationen entstehen daher häufig reaktiv zur Sicherung der Betriebsfähigkeit und weniger aus einer strategischen Überlegung heraus.



Von Szenariobewertungen zu Handlungsempfehlungen

Kenntnis über mögliche zukünftige Entwicklungen allein reicht nicht aus – um die Zukunft der automatisierten Binnenschifffahrt aktiv und strategisch gestalten zu können, sind frühzeitige Entscheidungen notwendig. Dieses Kapitel leitet zunächst Handlungslogiken aus einer expertenbasierten Szenariobewertung ab, um anschließend konkrete Empfehlungen für verschiedene Akteursgruppen zu formulieren. Diese richten sich an Entscheidungsträger aus Binnenhäfen, Binnenschifffahrt, Technologie, F&E sowie Politik und Verwaltung.

Szenariobewertung

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Szenarien beschreiben unterschiedliche, in sich schlüssige und mögliche Entwicklungen der Automatisierung in der Binnenschifffahrt. Sie umreißen damit den möglichen Zukunftsraum, lassen aber für sich genommen noch keine Aussagen über Chancen, Risiken oder strategische Handlungsoptionen zu. Um die Szenariobetrachtung in eine fundierte strategische Beurteilung zu überführen, wurden die Szenarien daher auf Basis von Expertenbewertungen im Szenarienraum verortet. Die Bewertung wurde im Oktober 2025 durch rund 40 Fach- und Führungskräfte aus den Bereichen Hafenwirtschaft, Politik und Forschung vorgenommen. Jedes Szenario wurde dabei anhand folgender drei Dimensionen bewertet:

- **Gegenwartsnähe:** Wie sehr entspricht es dem heutigen Zustand?
- **Erwartungsnähe:** Wie sehr entspricht es dem erwarteten zukünftigen Zustand?
- **Attraktivität:** Wie sehr repräsentiert es einen wünschenswerten Zustand?

Spannungsfeld „Gegenwartsnähe vs. Attraktivität“

Die Gegenüberstellung von Gegenwartsnähe und der Attraktivität der Szenarien in Abbildung 9 zeigt, inwieweit bestehende Strukturen als zukunftsfähig wahrgenommen werden oder ob grundlegende Transformationen als notwendig erscheinen. Die Expertenbewertungen zeigen, dass der Status quo nicht zwangsläufig mit hoher Attraktivität verbunden ist. Das **Szenario 1** wird dem Ist-Zustand am nächsten bewertet, gilt jedoch zugleich als am wenigsten attraktiv für die Branche im Jahr 2050. Demgegenüber wird insbesondere **Szenario 3** als Wunschzustand wahrgenommen, obwohl es unter allen betrachteten Szenarien die größte Abweichung vom heutigen

Zustand darstellt. In abgeschwächter Weise trifft diese Diskrepanz auch auf **Szenario 4** zu, das als etwas weniger wünschenswert eingeordnet wird. Beide Szenarien repräsentieren deutliche Veränderungen der Branche, die einen hohen Anpassungs- und Handlungsbedarf erfordern. **Szenario 2** und **Szenario 5** weisen im Vergleich zu den anderen Szenarien die geringsten Spannungen auf, da sie sowohl vergleichsweise nah am Ist-Zustand verortet werden und somit geringere Veränderungsbedarfe implizieren. Während **Szenario 2** zudem eine hohe Attraktivität als zukünftiger Entwicklungspfad aufweist, bleibt **Szenario 5** begrenzt anschlussfähig.

Spannungsfeld „Gegenwartsnähe vs. Erwartungsnähe“

Dieses Spannungsfeld zeigt, ob die Akteure eher eine Fortschreibung bestehender Strukturen erwarten oder mit tiefgreifenden Veränderungen rechnen. Wie in Abbildung 9 zu erkennen, werden **Szenario 1** und **Szenario 2** nicht nur gegenwartsnah, sondern auch als ver-

gleichsweise wahrscheinlich eingeschätzt. Insbesondere **Szenario 2** wird als wahrscheinlichstes Ergebnis des aktuell eingeschlagenen Entwicklungspfads eingeschätzt. Auch **Szenario 5** wird grundsätzlich als möglicher, wenn auch nicht dominanter Entwicklungspfad an-

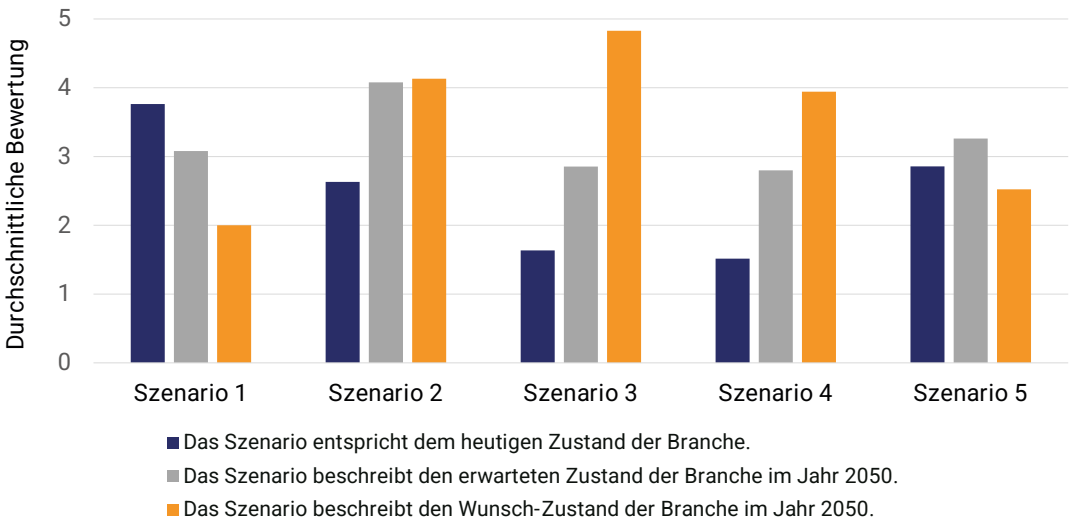


Abb 9.: Durchschnittliche Bewertungen pro Szenario (n=40)

gesehen, der sich dicht an der Situation der Gegenwart ansiedeln lässt. Dies weist auf eine eher vorsichtige Erwartungshaltung eines Teils der Experten hin, wonach sich zentrale Merkmale und Strukturen zumindest teilweise fortsetzen könnten. Dies gilt aber nur zu

einem gewissen Teil, denn gleichzeitig werden auch die **Szenarien 3** und **4** als realistische Entwicklungsmöglichkeiten angesehen, obwohl sie aufgrund ihrer großen Differenz zum gegenwärtigen Branchenzustand deutlich stärkere strukturelle Umbrüche erfordern.

Spannungsfeld „Erwartungsnähe vs. Attraktivität“

Dieses in Spannungsfeld macht sichtbar, welche Szenarien aus Sicht der Experten mit besonderen Chancen oder Risiken verbunden sind. Besonders deutlich wird eine Spannung zwischen erwarteten und gewünschten Entwicklungen in Bezug auf **Szenario 1**. Dieses wird zwar als wahrscheinlich eingeschätzt, ist aber nicht erstrebenswert und steht damit für das Risiko einer wenig zukunftsorientierten Entwicklung. **Szenario 2** wird hingegen sowohl als erwarteter, aber auch gewünschter Zustand eingeordnet und stellt damit aus Sicht vieler Experten eine realistische und zugleich auch positive Entwicklungsperspektive dar. Die **Szenarien 3** und **4** werden zwar als chancenreich und attraktiv bewertet, gleichzeitig

aber als weniger wahrscheinlich eingeschätzt. Insbesondere **Szenario 3** weist eine relativ große Differenz zwischen erwarteter Entwicklung und Wunschzustand auf. Als das wünschenswerteste Szenario bieten sich hier die größten Chancen einer positiven Entwicklung. Beide Szenarien können vor allem als langfristige Orientierungsbilder eingeordnet werden, deren Umsetzung an hohe Voraussetzungen und Veränderungsmaßnahmen geknüpft sind. Das **Szenario 5** wird hinsichtlich Chancen und Risiken eher neutral wahrgenommen und bleibt sowohl hinsichtlich Erwartung als auch Wunschbild im unteren Bewertungsbereich.

Ableitung von strategischen Handlungslogiken

Die dargestellten Experteneinschätzungen zeigen, dass die Szenarien unterschiedliche Spannungsfelder aufweisen, die in Bezug auf eine geplante Beeinflussung oder Vorbereitung der Branche verschiedene strategische Handlungslogiken erfordern.

Das **Szenario 1** lässt sich als „Beharrungsszenario ohne Zukunftsattraktivität“ beschreiben, welches bei hoher Nähe zum Ist- und auch erwarteten Zustand als unattraktiv eingestuft wird. Dies impliziert eine Handlungslogik, die auf ein aktives Gegensteuern und Vermeiden abzielt. Abgeleitete Handlungsempfehlungen könnten somit korrigierend und restriktiv wirken, um eine Fortschreibung des Status quo mit minimalen Anpassungen zu verhindern.

Demgegenüber steht **Szenario 2** als „moderates Entwicklungsszenario“, welches sowohl vergleichsweise nah am Ist-Zustand und erwartbar verortet, als auch als attraktiv bewertet wurde. Zukünftige Bestrebungen sollten daher darauf abzielen, diesen erwarteten Pfad qualitativ zu stärken und zu beschleunigen. Diese Handlungslogik wird im Folgenden als „Weiterentwicklung“ bezeichnet. Empfehlungen könnten dabei vor allem optimierende und fördernde Maßnahmen beinhalten, um eine

schrittweise und nachhaltige Transformation des Systems Wasserstraße zu bewirken.

Als „präferiertes Transformationsszenario“ nimmt **Szenario 3** eine zentrale Rolle ein. Mit einer deutlichen Veränderung der technologischen Basis weicht es zwar deutlich vom heutigen Zustand ab und erfordert eine hohe Veränderungsdynamik, gleichzeitig wird es als sehr attraktiv wahrgenommen. Als strategische Handlungslinie sollten Hürden und Barrieren für dieses Szenario reduziert werden, um die Realisierung eines solchen Entwicklungspfad des grundsätzlich zu ermöglichen.

Szenario 4 wird als „alternatives Transformationsszenario“ eingestuft, welches zwar ebenfalls eine geringe Gegenwartsnähe besitzt und nicht zwingend erwartet wird, aber dennoch attraktiv erscheint. Eine Handlungslogik des Offenhaltens von Optionen könnte verhindern, dass sich die Praxis der Realisierung dieses Szenarios vorzeitig verschließt. Emp-

fehlungen könnten somit beispielsweise das Schaffen von Experimentier- und Handlungsräumen fokussieren, um innovative Ansätze zu testen und Akzeptanz zu fördern.

Das **Szenario 5** stellt mit seinem fragmentierten Charakter ein „Divergenzszenario“ dar, welches zwar vergleichsweise nah am Ist-Zu-

stand verortet wird, aber weder erwartet wird noch besonders attraktiv ist. Es gilt daher, ein ungewolltes Hineindriften in dieses Szenario zu vermeiden, sodass Handlungsempfehlungen auf die Identifikation und Beobachtung von Frühindikatoren sowie präventive Korrekturmaßnahmen abzielen könnten.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
	Beharrlichkeit nach Minimalprinzip	Grüner Status Quo+	Smarter Wandel trifft Kontinuität	Von Groß zu Smart	Insellösungen unter Druck
Rolle im Szenarienraum	Beharrungsszenario ohne Zukunftsattraktivität	Moderates Entwicklungsszenario	Präferiertes Transformationsszenario	Alternatives Transformationsszenario	Divergenzszenario
Strategische Handlungslogik	Korrigieren / Vermeiden	Weiterentwicklung	Ermöglichen	Optionen offenhalten	Hineindriften erkennen und verhindern

Handlungsempfehlungen

Auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln detailliert dargelegten Szenarien und der Identifikation zentraler Einflussfaktoren wurden im Rahmen dieses Kompendiums spezifische Handlungsempfehlungen erarbeitet. Während bisherigen Kapitel die theoretischen und methodischen Grundlagen sowie die Ausgestaltung der fünf Zukunftsbilder fokussierten, wird nun die Brücke zur praktischen Anwendung geschlagen.

Die präsentierten Empfehlungen sind als strategischer Leitfaden zu verstehen, um die Resilienz und Zukunftsfähigkeit des Systems Wasserstraße proaktiv zu sichern. Dabei richtet sich das Augenmerk auf vier zentrale Akteursgruppen, die den Transformationsprozess maßgeblich gestalten:

- **Hafenwirtschaft** (Hafen- und Terminalbetreiber)
- **Binnenschifffahrtsgewerbe** (Reedereien, Partikuliere und Logistikdienstleister)
- **Wissenschaft und Technik** (Forschungseinrichtungen und Technologieentwickler)
- **Politik und Verwaltung** (Regulatorische Instanzen und Fördergeber)

Methodik und Zielrichtung der Empfehlungen

Die Ableitung der Maßnahmen folgt einer differenzierten Logik, die den normativen Charakter der Szenarien berücksichtigt. Ein Szenario ist kein unveränderliches Schicksal, sondern ein Möglichkeitsraum, der aktiv beeinflusst werden kann.

Enthalten ist zudem die Berücksichtigung individueller Bewertungsspielräume. Da die Attraktivität eines Zukunftsbildes je nach Akteursperspektive variieren kann, enthält das Kompendium auch abweichende Empfehlungen für den Fall, dass ein Szenario entgegen der allgemeinen Erhebung individuell anders bewertet wird. So werden beispielsweise Finanzierungs- oder Infrastrukturmaßnahmen auch für Szenarien aufgezeigt, die primär als "zu verhindernd" klassifiziert wurden, um für alle Eventualitäten Handlungsoptionen zu bieten.

Szenario 1: Beharrlichkeit nach Minimalprinzip

Das Szenario „Beharrlichkeit nach Minimalprinzip“ wurde als ein dem gegenwärtigen Zustand nahes, jedoch nicht erstrebenswertes Bild eingeordnet. Dementsprechend wird es als Beharrungsszenario ohne ausgeprägte Zukunftsattraktivität verstanden. Die zugrundeliegenden Handlungslogiken sind auf aktive Verhinderung des Szenarios sowie auf die Überwindung der strukturellen Trägheit ausgelegt.

Um dieses Szenario abzuwenden, wird allgemein die gemeinschaftliche Entwicklung und Einführung breit einsetzbarer Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen empfohlen. So kann eine Harmonisierung verschiedener Entwicklungsstränge erzielt werden, die aktuell nur punktuell vorhanden sind. Da externe Innovationsimpulse oder eine wirksame Förderpolitik zur Stimulation derartiger Innovationen in diesem Szenario ausbleiben, sollten die beteiligten Akteure einheitliche Kommunikations- und Datenaustauschstandards entwickeln, um allgemeingültige Innovationen erarbeiten zu können. Die Marktbedingungen sind in diesem Szenario weiterhin stark durch eine hohe Preissensitivität der Nachfrageseite geprägt. Daraus ergibt sich für die beteiligten Akteure die Notwendigkeit, Geschäftsmodelle und Vertragsstrukturen so weiterzuentwickeln, dass eine höhere Planungs- und Investitionssicherheit erreicht werden kann, beispielsweise durch längerfristige Vertragsmodelle oder stabilere Kooperationsformen entlang der Transportkette. Eine verbesserte Planbarkeit ist insbesondere erforderlich, damit Investitionen in Flottenmodernisierung und Infrastruktur mit vertretbarem Risiko umgesetzt werden können, wovon letztlich alle Akteure mittelbar profitieren.

Binnenschifffahrtsgewerbe

Das Binnenschifffahrtsgewerbe bleibt traditionell geprägt, mit größeren Unternehmen und kleineren Traditionsbetrieben, die oft in Kooperationen agieren. Trotz Nachfragerückgang in Bereichen wie Kohle und fossiblen Energieträgern bleibt die Attraktivität im Bereich preissensitiver Massengutverkehre hoch. Um sich innerhalb dieses Beharrungsszenario gut aufzustellen, werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- **Flottenmodernisierung und Nachhaltigkeit:** Flottenerweiterungen sollten auf größere Einheiten ab CEMT-Klasse III ausgelegt sein. Parallel dazu sollten emissionsmindernde Maßnahmen wie Abgasnachbehandlung sowie eine graduelle Umstellung auf batterieelektrische Antriebe stattfinden, um zukünftiger Regulatorik und einer technischen Veralterung zuvorzukommen.



- **Digitales Flottenmanagement:** Schiffe sollten mit Systemen zur Überwachung des technischen Zustands ausgestattet werden. Perspektivisch könnten dadurch digitale Zwillinge genutzt werden, um Wartung, Betrieb und Flottenmanagement vorausschauend zu optimieren.
- **Datenbasierte Verkehrs- und Logistiko Optimierung:** Das Verkehrsmanagement sollte um die systematische Nutzung von digitalen Auftrags-, Fahrt- und Flottendaten zur logistischen Optimierung von Flotten ergänzt werden.
- **Ausbau eigener Kommunikations- und Netzwerkinfrastruktur:** Bestehende Lücken der Kommunikations- und Datenübertragungsnetze sollten durch den Aufbau eigener Lösungen überbrückt werden, um eine sichere Nutzung von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen zu ermöglichen.
- **Kostenführerschaft sichern und erweitern:** Zur Stabilisierung der Transportkosten sollten Maßnahmen, wie flexible Gebührenmodelle eingeführt werden. Maßnahmen zur Gewährleistung einer hohen Planbarkeit, digitale Sendungsverfolgung oder verlässliche Zeitfenster erhöhen die Attraktivität für Kunden abseits geringer Kosten.
- **Kooperationen strategisch gestalten:** Der lose Zusammenschluss zu Genossenschaften oder anderen Verbänden sollte in Form und Intensität strategisch geplant und regelmäßig angepasst werden, um Synergien zu nutzen und die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Zur Ableitung von Serviceinnovationen oder Marktsegmentansprachen sollte ein gezieltes und regelmäßiges Benchmarking mit anderen Verkehrsträgern und anderen Branchen durchgeführt werden.
- **Personalentwicklung:** Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und der Wettbewerbsintensität sollten Rekrutierungsprogramme ausgebaut und das Berufsbild attraktiver gestaltet werden. Fortschreitende Automatisierung und Digitalisierung, sowie neue Antriebstechnologien begründen veränderte Qualifikations- und Tätigkeitsanforderungen wie beispielsweise Datenkompetenz, die durch neue Trainings- und Schulungsbedarfe adressiert werden sollten.

Hafenwirtschaft

Angesichts der technologischen und marktstrukturellen Entwicklungen in der Binnenschifffahrt ergeben sich für die Binnenhafenwirtschaft spezifische strategische Notwendigkeiten. Um die Zukunftsfähigkeit der Standorte zu sichern und auf Trends wie das Größenwachstum von Schiffseinheiten sowie die Dekarbonisierung zu reagieren, werden folgende Handlungsempfehlungen ausgesprochen:



- **Infrastrukturelle Anpassung an moderne Schiffsgrößen:** Die Hafenbetreiber sollten ihre Infra- und Suprastruktur konsequent dort ertüchtigen, wo der Trend zu größeren Einheiten dies erfordert. Dies umfasst notwendige Investitionen in die Vertiefung von Hafenbecken, die Verstärkung von Kaianlagen sowie die Modernisierung von Umschlagtechnik, Lagerbereichen und der landseitigen Verkehrsanbindung bis hin zu Verwaltungsgebäuden.
- **Aufbau einer Ladeinfrastruktur und Fokus auf Dekarbonisierung:** Im Zuge der Umstellung auf batterieelektrische Antriebe wird empfohlen, Direktladeanlagen frühzeitig in die Flächenplanung zu integrieren. Über die physische Bereitstellung hinaus sollten entsprechende Versorgungs- und Lieferketten entwickelt werden. Eine Zertifizierung als emissionsfreier Knotenpunkt kann hierbei als Alleinstellungsmerkmal genutzt werden, um in grünen Lieferketten einen komparativen Wettbewerbsvorteil zu erlangen.
- **Proaktive Digitalisierung als Infrastrukturleistung:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte Digitalisierung als aktiven Kundennutzen aufgreifen. Durch die Bereitstellung digitaler Infrastrukturdienste können Häfen ihre Position im Logistiknetzwerk festigen und aktiv auf automatisierte Szenarien reagieren.
- **Risikostreuung und Portfolio-Diversifizierung:** Zur Vermeidung einer einseitigen Abhängigkeit von preisgetriebenem Massengut- und Containerverkehr wird eine frühzeitige Diversifizierung des Portfolios empfohlen. Die gezielte Ansiedlung wertschöpfungsintensiver Segmente und die Erschließung neuer Güterarten und Kundenbeziehungen sind essenziell, um die wirtschaftliche Resilienz der Terminals zu stärken.
- **Transfer von Best Practices und Innovationsmanagement:** Die Akteure sind aufgefordert, aktiv nach bewährten Lösungen (Best Practices) aus anderen Verkehrs- und Industriesektoren zu suchen. Durch die Bewertung und Übertragung externer Innovationen auf die eigene Einflussosphäre kann der technologische Rückstand proaktiv verkürzt werden.
- **Erweiterung des Dienstleistungsportfolios durch Automatisierung:** Die punktuelle Automatisierung von Prozessen sollte als Chance genutzt werden, um das Leistungsangebot um völlig neue Dienstleistungen zu ergänzen oder bestehende Angebote um zusätzliche Aufgabenbereiche zu erweitern.
- **Integration in multimodale Netzwerke („All-Inclusive-Service“):** Es wird eine aktive Einbindung der Häfen in umfassende Transport- und Logistiknetzwerke empfohlen. Ziel sollte die Entwicklung ganzheitlicher Dienstleistungen sein, die von der Planung bis zur Umsetzung der gesamten Kette reichen. Dies erfordert eine intensive Vernetzung mit Verladern, Logistikern und der Verwaltung.
- **Anpassung der Organisationsstruktur und Personalqualifizierung:** Der technologische Fortschritt und die Verlagerung von Aufgaben von der Schiffs- auf die Landseite erfordern eine Neugestaltung betrieblicher Prozesse. Da der quantitative Personalbedarf stagniert,

sollte der strategische Fokus auf der kontinuierlichen Aus- und Weiterbildung der vorhandenen Belegschaft liegen, um den steigenden technischen und betriebswirtschaftlichen Anforderungen gerecht zu werden.

Politik und Verwaltung

Grundsätzlich können Politik und Verwaltung sowohl die Vermeidung des Szenarios als auch eine spätere aktive Begleitung des Szenarios durch verschiedene Maßnahmen begünstigen. Dazu sind verschiedene Anknüpfungspunkte für die Politik und die Verwaltung vorhanden, die sich sowohl auf die technische und infrastrukturelle Komposition als auch auf die ökonomische Rahmensituation beziehen und in folgenden Handlungsempfehlungen äußern:



- **Innovation und Technologietransformation fördern:** Staatliche Anreiz- und Fördersysteme sollten durch Bund und Länder eingesetzt werden, um die Nutzung von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen sowie allgemeine Innovationsimpulse zu stärken. Dies umfasst auch die Umstellung der Flottenstruktur in Sachen Schiffsgröße und Antriebstechnik sowie die Unterstützung entsprechender Anlagentechnik an Bord und an Land mit dem Ziel einer systemischen Harmonisierung.
- **Ausbau digitaler Infrastruktur und Standards:** Der Bund sollte den Aufbau einer flächendeckenden digitalen Grundversorgung und der Einführung von technologischen Standards, beispielsweise für Assistenzsysteme und Datenaustausch forcieren, um die Interoperabilität und die Skalierbarkeit zu ermöglichen. Auf Basis einheitlicher technologischer Standards sollte das Verkehrsmanagement nach logistischen Prinzipien neu ausgerichtet werden.
- **Stärkung von Marktstrukturen und Kooperationen:** Der Trend zur Konsolidierung in der Binnenschifffahrt sollte bundeseitig durch strategische Leitlinien so unterstützt werden, dass die Wettbewerbsfähigkeit stabil bleibt.
- **Verbesserung der finanziellen Rahmenbedingungen:** Der finanzielle Handlungsspielraum des Binnenschifffahrtsgewerbes sollte insbesondere von den Bundesländern etwa durch Unterstützung bei der Kreditvergabe gezielt verbessert werden. Ergänzend ist zu prüfen, inwieweit die Nutzung von Binnenschiffstransport durch geeignete Anreizinstrumente bundes- und/oder landeseitig gestärkt werden kann.
- **Modernisierung von Regularik und Infrastrukturen:** Eine auskömmliche Finanzierung sowie effektive Planung und Durchführung der Instandhaltung der Binnenwasserstraßen sind durch den Bund als Eigentümer der Infrastrukturen sicherzustellen. Darüber hinaus sollten Genehmigungsverfahren vereinfacht, regulatorische Lücken geschlossen und Vor-

schriften, etwa zu Assistenzsystemen, Prozessverlagerungen und Haftungsfragen, bundeseitig angepasst respektive in Landesrecht übernommen werden. Flankierend sollten Aus- und Weiterbildungsprogramme unterstützt werden, um die erforderlichen Kompetenzen aufzubauen.

Wissenschaft und Technik

Die Binnenschifffahrt ist technisch heterogen: neue Schiffe nutzen vor allem elektrische Antriebe, während ältere Dieseleinheiten Austauschkraftstoffe und Abgasnachbehandlung verwenden. Wichtige Tätigkeiten wie Manöver und Festmachen erfolgen überwiegend manuell, unterstützt durch punktuelle Assistenzsysteme und spezialisiertes Hafenpersonal, während eine digitale Vernetzung und Telematik kaum systematisch genutzt werden. Dies zeigt Potenzial für Technologieentwicklung sowie für die Forschung & Entwicklung, die in folgenden Handlungsempfehlungen resultiert:



- **Weiterentwicklung von Antriebstechnik und Energiespeichern:** Bestehende Systeme wie batterieelektrische Antriebe und nicht-wechselbare Energiespeicher sollten bis zur Marktreife weiterentwickelt werden.
- **Optimierung von Assistenzsystemen:** Assistenzsysteme für den Schiffsführer und die Bordbesatzung sollten mit Bezug auf die Mensch-Maschine-Schnittstellen, betriebliche Abläufe zur Interaktion, Arbeitssicherheit und Ergonomie verbessert werden.
- **Entwicklung emissionsmindernder Technologien:** Zum weiteren Betrieb der Bestandsflotte und aus regulatorischer Vorsorge sollten Systeme zur Verringerung und Vermeidung von Emissionen entwickelt werden. Dies schließt auch die Entwicklung emissionsreduzierter Motoren und Kraftstoffe mit ein, die den Schiffsbetrieb nachhaltiger gestalten.
- **Systeme zur Zustandsüberwachung:** Die Entwicklung moderner Zustandsüberwachungssysteme für Schiffe wird empfohlen.
- **Potenzialstudien für innovatives Verkehrsmanagement:** Es wird empfohlen, die Potenziale innovativen Verkehrsmanagements auf der Wasserseite zu analysieren, um die Möglichkeiten, die sich aus der Automatisierung der Binnenschifffahrt ergeben, systematisch und strukturiert auszuleuchten.

Szenario 2: Grüner Status Quo+

Als Bestandteil der aktuellen Situation ohne eine Rolle als prägendes Leitbild wird das Szenario „Grüner Status Quo+“ als Eintrittswahrscheinlichstes unter den fünf dargestellten Szenarien bewertet. Das moderate Entwicklungsszenario wird insgesamt als attraktives Zielbild wahrgenommen, dessen Handlungslogiken primär die Weiterentwicklung abbilden. Um die in diesem Szenario zugrunde gelegten innovationsfreundlichen Rahmenbedingungen bestmöglich für einen evolutionären Innovationspfad nutzen zu können, wird allgemein eine schrittweise Einführung von Innovationen in den Bereichen Nachhaltigkeit und Digitalisierung in verschiedenen Teilbereichen und Prozessen empfohlen. Dies kann auch durch das Benchmarking anderer Branchen erfolgen, um Entwicklungssprünge und Spillover-Effekte zu übernehmen. Eng damit verbunden sind Aus- und Weiterbildung des Personalbestandes für einen kompetenten Umgang mit derartigen Innovationen. Langfristige Planungen und verlässliche Kommunikation von Transportbedarfen unterstützen die Entwicklung einer zukunftsfähigen Flottenstruktur, indem sie Planung und Umsetzung von Investitionen erleichtern. Zur Förderung effektiver Innovationspartnerschaften sind regelmäßige Kontakte und Kooperationen zwischen allen Transportbeteiligten empfehlenswert. Nur durch ein gemeinsames Vorgehen kann eine innovationsfördernde Atmosphäre entstehen, in der die Automatisierung der Navigation und anderer schiffsbetrieblicher Prozesse sowie Digitalisierungsinitiativen erfolgreich umgesetzt werden können.

Binnenschiffahrtsgewerbe

Das Binnenschiffahrtsgewerbe hat sich in den letzten Jahrzehnten stark konsolidiert. Ökonomischer Druck, Nachfolgeprobleme und technische Entwicklungen haben kleinere Anbieter weitgehend verdrängt, sodass der Markt heute von etablierten, leistungsfähigen Unternehmen dominiert wird. Ihre Wettbewerbsfähigkeit beruht vor allem auf deutlichen Kostenvorteilen gegenüber anderen Verkehrsträgern, wobei begrenzte Flexibilität und Transparenz von der Kundenseite akzeptiert werden. Die Flotte ist auf große Einheiten ab CEMT-Klasse III ausgerichtet, während kleinere Schiffe im Markt praktisch keine Rolle mehr spielen. Zur Vorbereitung auf dieses Szenario werden folgende Handlungen empfohlen:



- **Flottenmodernisierung und Nachhaltigkeit:** Die Ordertätigkeit sollte sich auf Einheiten ab CEMT-Klasse III konzentrieren, mit denen der auf günstige Massenguttransporte ausgelegte Markt bedient wird. Auch die Antriebstechnik sollte sukzessive auf batterieelektrische Antriebe umgestellt und ältere Einheiten mit Abgasnachbehandlung nachgerüstet werden, um Nachhaltigkeitsauflagen einzuhalten.

- **Vorantreiben automatisierter operativer Prozesse:** Um den guten Digitalisierungsstand zu nutzen, sollte die Automatisierung zentraler operativer Prozesse, wie der Navigation, der Kommunikation sowie dem An- und Ablegen erprobt werden. Neben dem Einsatz von Prototypen gehört dazu die Entwicklung innovationsstimulierender Rahmenbedingungen, um eine Rolle als Innovationstreiber im Bereich der Automatisierung anzustreben.
- **Stärkung von Kooperationen:** Das Binnenschiffahrtsgewerbe sollte durch den proaktiven Aufbau von Kooperationen mit Branchen wie der Automobilindustrie oder der Seeschiffahrt gezielt Entwicklungssprünge und Spillover-Effekte nutzen, um innovative Impulse aus diesen Sektoren in die eigene Wertschöpfung zu integrieren.
- **Gezielte Spezialisierung und Kundenaufbau:** Die Binnenschiffahrt könnte sich gezielt auf neue Energieträger und Massengüter spezialisieren, indem die Flottenstrukturen entsprechend angepasst werden. Die Nachhaltigkeit der Flotte und der transportierten Güter sollte dabei als Wettbewerbsvorteil genutzt werden, um einen stabilen Kundenstamm in zukunftssträchtigen Märkten aufzubauen. Dies setzt eine Vorbereitung des Gewerbes auf energietransport- und -lagerbezogene Marktaktivitäten voraus.
- **Gezielte Personalentwicklung und Rekrutierung:** Die Aus- und Fortbildung des Personals muss vor dem Hintergrund, dass zentrale operative Prozesse künftig technisch unterstützt werden, spezialisiert werden. Fachkräfte mit einem hohen Verständnis für digitale Prozesse und Datenverarbeitung müssen gezielt angeworben und weitergebildet werden, um den Standpunkt der Binnenschiffahrt zu stärken.

Hafenwirtschaft

Um den technischen, ökonomischen und organisatorischen Herausforderungen der automatisierten und dekarbonisierten Binnenschiffahrt zu begegnen, ergeben sich für die Binnenhafenwirtschaft folgende zentrale Handlungsempfehlungen:



- **Technische Anpassung der Infra- und Suprastruktur:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte in besonderem Maße die bestehende Hafeninfra- und -suprastruktur anpassen. Dies umfasst dort, wo notwendig, Ertüchtigungen für größere Schiffseinheiten, die Vorbereitung auf veränderte Ladungsgüter sowie die Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur für neue Antriebstechniken der Binnenschiffe.
- **Ausbau der Energieinfrastruktur für Hochleistungsladung:** Sofern ein Fokus auf batterieelektrische Antriebe gelegt wird, empfiehlt es sich, die damit verbundenen erhöhten Anforderungen an die lokalen Netzanschlüsse frühzeitig einzuplanen und die entsprechende Leistungsfähigkeit der Stromversorgung in den Häfen sicherzustellen.

- **Bildung von Innovationspartnerschaften:** Zur Überwindung fehlender Innovationssprünge wird die Bildung strategischer Innovationspartnerschaften empfohlen. Effektive Kooperationen sollten sowohl unter den Binnenhäfen selbst als auch mit innovationsstarken Seehäfen, anderen Verkehrsträgern oder verladenden Industrien eingegangen werden, um von wertvollen Spillover-Effekten zu profitieren.
- **Spezialisierung auf neue Energieträger und Massengüter:** Aus ökonomischer Sicht sollten die Häfen ihre energietransport- und -lagerbezogenen Marktaktivitäten zeitnah vorbereiten. Es wird empfohlen, das Angebotsportfolio sowie die Infra- und Suprastruktur konsequent auf neue Energieträger und veränderte Massengutströme auszurichten und hierbei eine entsprechende Spezialisierung vorzunehmen.
- **Entwicklung und Förderung von Energieclustern:** Es wird die Gründung und Entwicklung von Energieclustern entlang der Wasserstraßen empfohlen. Durch Kooperationen mit weiteren Akteuren können Synergien genutzt werden, um die Häfen als zentrale Knotenpunkte für die Energieversorgung der Zukunft zu etablieren.
- **Portfolioerweiterung durch digitale Dienstleistungen:** Angesichts des hohen Digitalisierungsgrads der Schifffahrt wird die Entwicklung neuer, digitaler Dienstleistungen empfohlen. Das Ziel sollte eine konsequente Digitalisierung aller Prozessabläufe innerhalb des Hafens sein – von der Interaktion mit Verkehrsträgern bis hin zur kommerziellen Abwicklung mit Verladern, Logistikern und Behörden.
- **Entwicklung von Rekrutierungs- und Sicherheitskonzepten:** Im organisatorisch-regulatorischen Bereich wird die Etablierung effektiver Personalrekrutierungs- und -erhaltungsprogramme empfohlen. Zudem ist die frühzeitige Erarbeitung von Sicherheitskonzepten und spezifischen Ablaufvorgaben für den Umgang mit neuen Antriebstechniken und alternativen Kraftstoffen eine wesentliche Aufgabe.
- **Kontinuierliche Qualifizierung und Prozessdesign:** Es wird empfohlen, die Aus- und Weiterbildung des bestehenden Personals konsequent fortzuführen, um die Belegschaft auf veränderte Prozessdesigns sowie neue Interaktions- und Kommunikationsbedarfe im betrieblichen Ablauf vorzubereiten.

Politik und Verwaltung

Von Politik und Verwaltung werden in diesem Szenario primär die Anreizsetzung und Förderung zahlreicher Sachverhalte erwartet. Prinzipiell ist eine aktive Lenkung des Sektors in Richtung Automatisierung durch förderpolitische Maßnahmen sowie eine konsequente Anpassung der Vorschriftenlage ratsam. Zu dieser Zielerreichung werden die folgenden Handlungsempfehlungen ausgesprochen:



- **Förderung von Innovationen und Automatisierung:** Die schrittweise Einführung von Innovationen, wie alternativen Antriebstechnologien und Automatisierung des Schiffsbetriebs, sollte durch eine Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen aktiv begleitet werden, um die Implementierung zu erleichtern.
- **Förderung von Flottenmodernisierung und Batterieantrieben:** Bund und Länder sollten die Marktkonsolidierung hin zu größeren Schiffseinheiten begleiten und die Umrüstung der Flotten auf batterieelektrische Antriebe gezielt fördern, um die Modernisierung zu beschleunigen. Eine konsequente Nutzung nachhaltiger Antriebe könnte durch Anreizsysteme erzielt werden.
- **Förderung alternativer Lösungen:** Um die Flexibilität der Branche im Angesicht des Fokus auf große Einheiten sollten auch Alternativen wie kleine Schiffseinheiten unterhalb CEMT-Klasse III, assistierte Navigation, marktfähige Automatisierungslösungen für operative Prozesse und nicht-wechselbare Energiespeicher gefördert werden.
- **Stärkung von Branchenkooperation und Innovationstransfer:** Bund und Länder sollten Innovationssprünge durch gezielten Transfer erprobter Lösungen aus anderen Branchen und durch die Förderung branchenübergreifender Kooperationen aktiv unterstützen.
- **Setzen innovationsfreundlicher Rahmenbedingungen:** Bund und Länder sollten die Erprobung neuer Technologien im Realbetrieb aktiv unterstützen, Testfelder einrichten und organisatorische Rahmenbedingungen schaffen, die die Beteiligung von Unternehmen an Innovationstests stimulieren.

Wissenschaft und Technik

Die Binnenschifffahrt ist technologisch uneinheitlich: Moderne Schiffe nutzen überwiegend elektrische Antriebe, ältere Einheiten Verbrennungsmotoren mit fossilen oder alternativen Kraftstoffen. Automatisierung beschränkt sich auf Assistenzsysteme, Navigation und Anlegeprozesse bleiben überwiegend manuell. Die digitale Vernetzung ist funktional, aber uneinheitlich, und Daten werden kaum für Flotten- oder Netzwerkoptimierung genutzt. Die Aufgabe der Technologieentwickler, Berater und Wissenschaft liegt in diesem Szenario auf der Weiterentwicklung verschiedener technologischer Innovationen zwecks weiterer Ausreizung von Optimierungspotenzialen. Dadurch ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:



- **Weiterentwicklung von Automatisierung und Digitalisierung:** Die Weiterentwicklung der Automatisierung und Digitalisierung navigatorischer und schiffsbetrieblicher Aufgaben an Bord und an Land sollte forciert werden. Dadurch werden Optimierungspotenziale voll ausgeschöpft und der Betrieb effizienter und sicherer gestaltet.

- **Entwicklung marktfähiger Lösungen:** Es sollten marktfähige Lösungen entwickelt werden. Zur Markterschließung bedarf es auch einer effektiveren Kommunikationsstrategie, welche die positive Wirkung der Automatisierungstechnik aktiv kommuniziert.
- **Erforschung wiederaufladbarer Energiespeicher:** Wiederaufladbare Energiespeichersysteme sollten bis hin zur Marktreife erforscht werden, um der Binnenschifffahrt praktikable Lösungen zur Dekarbonisierung anzubieten.
- **Technologietransfer propagieren:** Etablierte Innovationen aus Industrie und Verkehr sollten in die Binnenschifffahrt übertragen werden. Ein systematisch gestalteter Technologietransfer zum Beispiel aus der Automobilindustrie oder der Seeschifffahrt sollte genutzt werden, um die Zukunftsfähigkeit der Branche zu sichern.
- **Entwicklung digitaler Dienstleistungen:** Neue, digitale Dienstleistungen für die Binnenhafenwirtschaft sollten mit dem Ziel verbesserter Schiff-Hafen-Interaktionen entwickelt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der Häfen zu stärken.

Szenario 3: Smarter Wandel trifft Kontinuität

Das Szenario „Smarter Wandel trifft Kontinuität“ zeichnet sich durch einen hohen technologischen und operativen Fortschritt aus, so dass Experten keine Assoziation mit der heutigen Realität der Branche erkennen. Das Szenario gilt als ein mögliches, aber nicht unbedingt dominantes Zukunftsbild. Es wird jedoch klar als präferiertes Ziel- und Leitbild bewertet und akzeptiert, so dass es als präferiertes Transformationsszenario behandelt, wodurch die Handlungslogiken der Akteure auf Ermöglichung ausgelegt sind. Vor dem Hintergrund eines technologisch fortgeschrittenen Systems Wasserstraße wird eine breite Beteiligung aller relevanten Akteure an Entwicklung, Erprobung und kontinuierlicher Weiterentwicklung von Innovationen empfohlen. Insbesondere sind standardisierte, softwarebasierte Kommunikations- und Datenaustauschlösungen für eine durchgängige Machine-to-Machine-Integration voranzutreiben, auch unter Nutzung von Erkenntnissen aus anderen Branchen. Zudem sollten geeignete Investitions-, Rechts- und Akzeptanzrahmen für Automatisierung geschaffen werden, um die Potenziale hochautomatisierter und elektrifizierter Systeme wirtschaftlich und organisatorisch zu erschließen. Flankierend sind langfristige Planungs- und Investitionssicherheiten sowie kooperative Strukturen zur Unterstützung von Infrastrukturentwicklung und Netzausbau zu stärken. Integrierte Energie- und Versorgungslösungen, insbesondere in Verkehrsknotenpunkten, bieten zudem zusätzliche Effizienzpotenziale und sollten systematisch weiterentwickelt und genutzt werden. Der Markt der Binnenschifffahrt ist stark konsolidiert und wird von finanzstarken Reedereien mit großen, effizient betriebenen Flotten dominiert. Kleinere Betreiber sind weitgehend verschwunden, während etablierte Nachfragestrukturen und Transportnetzwerke bestehen bleiben.

Binnenschifffahrtsgewerbe

Das Binnenschifffahrtsgewerbe kennzeichnet sich in diesem Szenario durch eine Reihe von kapitalstarken Reedereien und selbstbetriebenen, automatisierten Einheiten. Neben signifikanten Kostenreduktionen wurden Verbesserungen der Zuverlässigkeit und Qualität realisiert. Die Flotte besteht überwiegend aus Einheiten ab Größenklasse CEMT-III, und setzt auf elektrische Antriebskonzepte als Standard: Während ältere Einheiten auf modulare Wechselsysteme, insb. Batteriecontainer, setzen, sind neuere Binnenschiffe mit fest integrierten Speichereinheiten ausgestattet.



- **Anpassung der Flotte auf autonomen Schiffsbetrieb:** Die Automatisierung des Schiffsbetriebs sollte angesichts der technischen und wirtschaftlichen Potenziale adoptiert werden, indem die Flottenstruktur hinsichtlich Größe, Automatisierungsgrad und Antriebstechnik angepasst wird.

- **Autonomen Betrieb etablieren:** Um menschlichen Eingriff im operativen Schiffsbetrieb auf Ausnahmesituationen zu beschränken, sollte ein System von Remote Operations Centres aufgebaut werden, mit denen die Betriebsüberwachung gewährleistet wird.
- **Zustandsüberwachung mit Mehrwert nutzen:** Moderne Diagnosesysteme sollten auf Basis kontinuierlicher Zustandsüberwachung konsequent genutzt werden, um vorausschauende Wartung sicherzustellen, kritische Abweichungen frühzeitig zu erkennen und korrektive Maßnahmen einzuleiten.
- **Realisierung von Schiff-Hafen-Datenintegration:** Vorhandene digitale Daten zur Hafeninfrastruktur sind durch Integration in eigene Systeme konsequent zu nutzen, um Anlaufsteuerung, Anlegen, Festmachen sowie den gesamten Schiffsbetrieb zu optimieren.
- **Transformation von Geschäftsmodellen:** Automatisierung und Digitalisierung sind gezielt für die Anpassung des Angebotsportfolios und die Transformation von Geschäftsmodellen einzusetzen, um die Chancen neuer Technologien gewinnbringend einzusetzen.
- **Sicherung des Partikulierwesens:** Zur Vermeidung eines Verlusts des Partikulierwesens sind gezielte Initiativen zu dessen Erhaltung zu entwickeln.
- **Neuausrichtung von Qualifizierungspfaden:** Aus- und Fortbildung sind auf die neuen Anforderungen auszurichten. Dies umschließt eine Verlagerung von operativen Rollen auf dem Hafen- bzw. Terminalgelände in überwachende und koordinierende Funktionen, deren Aufgabe in der Prozessreorganisation sowie in der Gestaltung von Abläufen und Interaktions- und Kommunikationsmustern besteht.
- **Beschleunigung von Infrastrukturmaßnahmen:** Die günstige infrastrukturelle Lage und die Automatisierung sind strategisch zu nutzen, um Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen an der Binnenwasserstraßeninfrastruktur zeitnah und umfassend umzusetzen.
- **Ökonomischen Nutzen der Automatisierung darstellen:** Der messbare ökonomische Nutzen von Automatisierungslösungen ist durch konkrete Nachweise und ganzheitliche Business Cases systematisch zu belegen. Damit verbundene Kostenreduktionen sind als Kundenvorteil der automatisierten Binnenschifffahrt herauszustellen.

Hafenwirtschaft

Um den weitreichenden Veränderungen durch Automatisierung, neue Antriebstechniken und veränderte Ladungsstrukturen gerecht zu werden, sollte die Binnenhafenwirtschaft (Binnenhäfen und Terminalbetreiber) folgende Maßnahmen priorisieren:



- **Anpassung der Hafen- und Suprastruktur:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte, dort wo notwendig, die Infrastruktur angesichts weitreichender Veränderungen in der Praxis sowie der

Bedienung vieler kleiner Schiffseinheiten und veränderter Ladungsvolumina konsequent anpassen.

- **Investition in landseitige Infrastruktur:** Es empfiehlt sich, gezielt in mobile Anlege- und Ladeeinrichtungen sowie standardisierte Energiewechselsysteme für neue Antriebstechniken zu investieren.
- **Ertüchtigung temporärer Umschlagstellen:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte technische, betriebswirtschaftliche und organisatorische Konzepte für den Betrieb temporärer Umschlagstellen bereitstellen.
- **Automatisierung der Kommunikation:** Die Interaktion zwischen Hafenmeister und Reederei-Leitzentralen sollte frühzeitig auf Prozesse ohne menschliche Interaktion umgestellt werden.
- **Erweiterung des Leistungsportfolios:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte ihr Portfolio über klassische Aufgaben hinaus um die Energiebereitstellung, Speicherung und den Transport alternativer Energieträger ergänzen.
- **Entwicklung zum aktiven Integrator:** Es ist ratsam, die Rolle eines „One-Stop-Shops“ einzunehmen, der als zentraler Kontaktpunkt allumfassende Logistikdienstleistungen inklusive der Organisation von Vor- und Nachläufen anbietet.
- **Stetige Adoption technologischer Innovationen:** Die Branche sollte einen kontinuierlichen Innovationstransfer aus anderen Branchen vollziehen, um die technologische Dynamik auf der Hafenseite zu erhalten.
- **Bildung von Interessengemeinschaften:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte unter Beteiligung aller wesentlichen Akteursgruppen gemeinsame Standpunkte veröffentlichen, um die Investitionsbereitschaft der privatwirtschaftlichen und öffentlichen Hand zu stimulieren.
- **Definition neuer Verantwortlichkeiten:** Angesichts technischer Neuerungen sollte die Binnenhafenwirtschaft neue Verantwortlichkeiten festlegen und notwendige regulatorische Anpassungen identifizieren.
- **Konsequente Aus- und Weiterbildung:** Die Branche sollte ihre Mitarbeitenden durch gezielte Qualifizierungsmaßnahmen auf den kompetenten Umgang mit Automatisierungs-, Digitalisierungs- und neuen Antriebslösungen vorbereiten.

Politik und Verwaltung

Für Politik und Verwaltung ergibt sich die Rolle des subtilen Einflussnehmers über die üblichen Einflusskanäle. Da sich die Binnenschifffahrt in diesem Szenario zu einem technologischen Vorreiter im Transportwesen entwickelt hat, sind die Bereitstellung großzügiger Fördermittel für die Entwicklung und Erprobung von Innova-



tionen, die Anpassung der Vorschriftenlage und die regelmäßige Instandhaltung und Pflege der Verkehrsinfrastruktur zentrale Aufgabenbereiche von Politik und Verwaltung.

- **Schaffung innovationsfreundlicher Rahmenbedingungen:** Schaffung günstiger Adoptionsbedingungen für Innovationen jeglicher Art und die Vorgabe von technologieoffenen Entwicklungsrichtungen, um den "Wettbewerb der Ideen" am Leben zu halten.
- **Sicherung der Infrastruktur:** Die regelmäßige Instandhaltung und Pflege der Verkehrsinfrastruktur sollte durch den Bund als Eigentümer sichergestellt werden, um die Infrastrukturlage zu verbessern und das Innovationsgeschehen zu stimulieren.
- **Umfassende Förderung batterieelektrischer Antriebe:** Gezielte Fördermaßnahmen für die Umrüstung auf batterieelektrische Antriebstechnik sowie für Neubauten mit batterieelektrischen Antrieben sollten bundes- und/oder landesseitig aufgesetzt werden. Die entsprechenden Maßnahmen sollten ganzheitlich sowohl auf dem Wasser als auch an Land orchestriert werden.
- **Flächendeckende digitale Grundsicherung:** Es sollte bundesseitig ein Konzept zu Aufbau, Instandhaltung und Pflege einer digitalen Grundversorgung auf- und umgesetzt werden, um die digitale und technische Netzinfrastuktur flächendeckend auf einen modernen Standard anzuheben und zu halten.
- **Unterstützung von Binnenhäfen bei Angebotsausweitung:** Die Verbreiterung des Angebotsportfolios der Binnenhäfen, etwa in Richtung Energieversorgung von Schiffen und Energiemanagement sollte bundes- und/oder landesseitig auf Terminals bzw. im Hafengebiet förderpolitisch begleitet und unterstützt werden.
- **Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für Innovation:** Es sollten durch den Bund regulatorische Voraussetzungen für einen innovativen Einsatz der Binnenschifffahrt geschaffen und Unterstützungsmaßnahmen zur Markteinführung technologischer Innovationen eingeführt werden.
- **Anpassungen von Vorschriften an Automatisierung:** Vorschriften sollten durch den Bund auf überwachende Tätigkeiten und die automatische Durchführung von Aufgaben angepasst werden. Dies gilt neben der veränderten Rolle des Personals auch für die Digitalisierung der Prozesse und die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation zwischen Schiffs- und der Landseite.

Wissenschaft und Technik

Für die Vertreter der Technologieentwicklung, Beratung und Forschung & Entwicklung ergibt sich in diesem Szenario die Rolle der (technischen) Weiterentwicklung von Lösungen zur Automatisierung. Angesichts des hohen Automatisierungsgrads



in diesem Szenario steht jedoch die Weiterentwicklung weniger im Fokus als der Nachweis der (ökonomischen, technischen, ökologischen und gesellschaftlichen) Sinnhaftigkeit der jeweiligen Innovation.

- **Technologische Weiterentwicklung und Erprobung:** Die stetige Fortentwicklung der Technologien für die Binnenschifffahrt und die Erprobung technologischer Innovationen sind konsequent voranzutreiben. Dies betrifft insbesondere die Bereiche Automatisierung, Digitalisierung sowie Maßnahmen zur Emissionsverringerung und -vermeidung.
- **Standardisierung von Entwicklungssträngen:** Die verschiedenen Entwicklungsstränge sind durch zentrale Entwicklungsvorgaben systematisch zu orchestrieren, um einerseits die Harmonisierung der Entwicklungen und andererseits die Erzielung von Synergieeffekten zu ermöglichen.
- **Technologietransfer branchenübergreifend nutzen:** Etablierte Innovationen aus anderen Industrie- und Verkehrsbranchen sind regelmäßig zu scannen, um deren Transferfähigkeit in die Binnenschifffahrt systematisch zu bewerten und geeignete Lösungen gezielt zu übertragen.
- **Unterstützung der Infrastrukturentwicklung:** Die Formierung von Interessensgemeinschaften für Ausbauvorhaben des Binnenwasserstraßennetzes ist zu unterstützen. Weiterhin sind die Zukunftsträchtigkeit entsprechender Maßnahmen sowie die künftigen Betriebsmöglichkeiten der Binnenschifffahrt aktiv nach außen darzustellen.

Szenario 4: Von Groß zu Smart

Das Szenario wird mit der heutigen Realität der Branche kaum in Verbindung gebracht, da es nur wenige Überschneidungen gibt. Es gilt als mögliches, aber nicht dominantes Zukunftsbild, wird aber als attraktives Zielbild wahrgenommen. Dementsprechend gilt es im Szenarienraum als alternatives Transformationsszenario, für das das Offenhalten der Optionen als zentrale Handlungslogik gilt. Das Szenario ist von einem hohen Automatisierungs- und Digitalisierungsgrad geprägt, wodurch allen Akteuren die Beteiligung an der Entwicklung und Erprobung von Innovationen empfohlen wird, um die Fortentwicklung aktiv zu mitzugestalten. Förderprogramme verstärken diesen Effekt und schaffen Anreize für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Es bedarf branchenweit gültiger Kommunikations- und Datenaustauschstandards, insbesondere für die Machine-to-Machine-Kommunikation zwischen smarten Schiffen und automatisierten Landprozessen. Ebenso wichtig ist die Weiterentwicklung von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen, um Prozesslücken zu schließen und eine vollständige Integration der Abläufe zu erreichen. Langfristige Planungs- und Umsetzungsmaßnahmen sollten geprüft und unterstützt werden, um die Einführung neuer Transport- und Logistikdienste zu ermöglichen und die Effizienz des Systems Wasserstraße zu erhöhen. Eine aktive Mitwirkung aller Beteiligten bei Ausbauvorhaben und Innovationen stärkt die Stabilität und Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Branche.

Binnenschiffahrtsgewerbe

Das Binnenschiffahrtsgewerbe befindet sich im Umbruch: Neben etablierten Akteuren treten neue, technologiegetriebene Anbieter auf, die flexible und hochgradig serviceorientierte Transportlösungen anbieten. Klassische Containerverkehre bestehen weiterhin, während neue Marktsegmente mit abweichenden Einsatzprofilen entstehen. Automatisierung eröffnet Zugang zu Anwendungen in urbanen Räumen und bei zeitkritischen Transporten, die zuvor anderen Verkehrsträgern vorbehalten waren. Wettbewerbsfähigkeit und Marktstrukturen variieren stark: Standardisierte Leistungen sind kostengünstig, hochflexible Services bedienen einen zahlungsbereiten Kundenkreis. Die Flotte ist jung, überwiegend klein, autonom und nachhaltig, während große Einheiten an Bedeutung verloren haben. Spezialisierte, modulare Schiffe unter der Größenklasse CEMT-III ermöglichen hochfrequente, bedarfsgesteuerte Transporte entlang der Wasserstraßen. Um sich in diesem Szenario aufzustellen, werden folgende Handlungen empfohlen:



- **Langfristige Umstellung der Flottenstruktur auf Autonomie:** Die Flottenstruktur sollte auf kleine, autonome und nachhaltig betriebene Einheiten umgestellt werden, die eine weit-

gehende Automatisierung des Schiffsbetriebs ermöglichen. Als paralleler Entwicklungsstrang sollte eine Um- und Ausrüstung auf batterieelektrische Antriebstechnik der Schiffe erfolgen.

- **Interessensgemeinschaften zu Infrastrukturprojekten:** Es sollten Interessensgemeinschaften für den Ausbau und die Modernisierung des Binnenwasserstraßennetzes gebildet werden. Diese sollten zentral koordiniert werden und alle relevanten Stakeholder, einschließlich Binnenschiffsreedereien, Binnenhäfen, Technologieentwickler, Forschungsinstitutionen sowie Behörden und Politik umfassen.
- **Erschließung neuer Marktsegmente und Geschäftsmodelle:** Neue Marktsegmente sollten aktiv erschlossen werden. Das bedeutet eine gezielte Ausrichtung und Vermarktung der Transportdienstleistungen auf die jeweiligen Kunden. Geschäftsmodelle klassischer Binnenschiffsreedereien müssen entsprechend erweitert oder variiert werden, um auf die neuen Marktanforderungen wie Flexibilität und Dynamik zu reagieren.
- **Adaption und Entwicklung technologischer Innovationen:** Um neue Verkehrsformen und Nutzungskonzepte zu ermöglichen, müssen technologische Innovationen im Realbetrieb entwickelt und adoptiert werden, da sie die Basis für die weitere Annäherung an den optimalen Kundennutzen darstellen.
- **Neuausrichtung der Personalstrategie:** Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen sollten gezielt auf die Anforderungen von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen ausgerichtet werden, auch wenn deren konkrete Ausgestaltung aus regulatorischer und organisatorischer Sicht noch nicht final definiert wurde. Dadurch werden Verlagerungen von Bord- zu Landtätigkeiten vorweggenommen.
- **Gezielte Nutzung von Fördermitteln:** Aufwandsarm erhältliche Mittel zur Einführung von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen im Betriebsablauf sowie die Nutzung von emissionsreduzierenden oder -vermeidenden Technologien sollten genutzt werden, um die notwendige Planungs- und Investitionssicherheit für solche Maßnahmen zu bewirken.

Hafenwirtschaft

Um den Wandel der Branche aktiv mitzugestalten und die eigene Position im Logistiknetzwerk zu stärken, bietet es sich für die Akteure der Binnenhafenwirtschaft an, folgende strategische Ansätze in Betracht zu ziehen:



- **Anpassung der Hafeninfrastruktur an Flottenstruktur:** Die Hafen- und Terminalbetreiber sollten ihre Infrastruktur frühzeitig für die Anforderungen kleinerer, hochfrequenter Schiffseinheiten sowie deren spezifische Energiebedarfe optimieren, um die Abfertigung dieser Einheiten effizient und zukunftssicher zu ermöglichen.

- **Integration flexibler Umschlaglösungen:** Die Binnenhäfen sollten prüfen, inwieweit die Bereitstellung und der Betrieb temporärer Umschlagstellen als flexibles Zusatzelement in das eigene Dienstleistungsportfolio integriert werden können, um auf dynamische Transportbedarfe zu reagieren.
- **Digitalisierung und Automatisierung der Hafenkommunikation:** Die Kommunikation zwischen Hafenmeisterei und Reederei-Leitzentralen sollte konsequent auf digitalisierte und automatisierte Prozesse umgestellt werden, um durchgängige Abläufe ohne manuelle Schnittstellen sicherzustellen.
- **Überarbeitung der Energieinfrastruktur:** Investitionen in landseitige Lade- und Wechselinfrastrukturen für Energiespeicher sollten gezielt vorangetrieben werden, um die Attraktivität der Häfen für Schiffe mit alternativen Antrieben langfristig zu sichern und Wettbewerbsvorteile zu erzielen.
- **Erweiterung des Geschäftsmodells um Energie- und Zusatzdienstleistungen:** Die Binnenhäfen sollten ihr klassisches Umschlaggeschäft gezielt um zukunftssträchtige Felder wie das Management und die Speicherung alternativer Energieträger erweitern und entsprechende Dienstleistungen entwickeln.
- **Stärkung von Branchenkooperationen:** Der Austausch innerhalb der Branche sollte durch die Bildung und Nutzung von Interessensgemeinschaften intensiviert werden, um gegenüber Politik und Wirtschaft mit einer abgestimmten und starken gemeinsamen Position auftreten zu können.
- **Weiterentwicklung zu integrierten Logistik-Knotenpunkten:** Die Binnenhäfen sollten sich zu modernen Logistik-Knotenpunkten entwickeln, die als „One-Stop-Shop“ die gesamte multimodale Transportkette koordinieren und dadurch einen erweiterten Kundennutzen schaffen.
- **Systematischer Technologie- und Innovationstransfer:** Technologische Innovationen aus anderen Industrien sollten gezielt beobachtet, bewertet und in die eigenen Prozesse integriert werden, um die Innovationsdynamik der Binnenhäfen kontinuierlich zu stärken.
- **Anpassung von Organisation und regulatorischen Rahmenbedingungen:** Interne Verantwortlichkeiten sowie organisatorische und regulatorische Rahmenbedingungen sollten frühzeitig an die neuen technischen und betrieblichen Anforderungen angepasst werden, um einen reibungslosen Übergang zu gewährleisten.
- **Personalstrategie für die digitale Transformation:** Die Mitarbeitenden sollten durch gezielte Weiterbildungsmaßnahmen auf die Anforderungen der digitalen Transformation vorbereitet werden, um Akzeptanz sowie einen sicheren und souveränen Umgang mit neuen Systemen zu gewährleisten.

Politik und Verwaltung

Dieses Szenario geht davon aus, dass Politik und Verwaltung klare Zielsetzungen setzen und auf technologieoffene Regulierung setzen, um Innovation und Automatisierung in der Binnenschifffahrt maßgeblich zu beschleunigen. Gleichzeitig wurden Infrastrukturdefizite weitgehend behoben und das Wasserstraßennetz sowohl physisch als auch digital modernisiert. Gezielte Förderprogramme stärken langfristig wirksame Innovationen, ohne private Investitionen zu verdrängen, und fördern ein innovationsstarkes Umfeld mit Ausstrahlung in andere Branchen. Dieser Stand ergibt die folgenden Handlungsempfehlungen:



- **Instandhaltung bestehender Verkehrs- und Digitalinfrastruktur:** Die regelmäßige Instandhaltung und Pflege der Verkehrsinfrastruktur sowie der digitalen Grundversorgung sollte konsequent und dauerhaft sichergestellt werden; dies gilt insbesondere dort, wo der Bund Eigentümer ist, um die Grundlage für Automatisierung und neue Geschäftsfelder in der Binnenschifffahrt zu schaffen.
- **Förderung der Modernisierung von Flotte und Hafeninfrastruktur:** Die Förderung kleiner, automatisierter und emissionsfreier Schiffseinheiten sollte durch Bund und Länder so ausgestaltet werden, um die Flottenstruktur hinsichtlich Automatisierung zu transformieren und eine Marktkonsolidierung durch entsprechende Förderprogramme zu begleiten, ohne dabei marktliche Investitionssignale zu verdrängen. Gleiches gilt für die Ertüchtigung der Umschlagstellen und die Ausstattung der Terminals mit Containerumschlagtechnik.
- **Antriebswende umfassend unterstützen:** Die Umrüstung der Schiffe auf batterieelektrische Antriebstechnik sowie die landseitige infrastrukturelle Anpassung sollten durch förderpolitische Maßnahmen des Bundes und der Länder begleitet werden. Gleichzeitig sollte die Einführung von Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen durch gezielte Anreize für Anschaffungen und Umstellungen aktiv stimuliert werden.
- **Überarbeitung regulatorischer Rahmenbedingungen:** Vorschriften sollten sowohl bundesseitig als auch auf Ebene der Bundesländer gezielt überarbeitet, Rechts- und Vorschriftenlücken hinsichtlich des Einsatzes automatisierter Binnenschiffe geschlossen und Genehmigungsverfahren für Forschungs-, Test- und Pilotbetriebe transparent gestaltet werden.
- **Sicherstellung innovationsfreundlicher Adoptionsbedingungen:** Es sollte konsequent auf die Schaffung günstiger Adoptionsbedingungen für Innovationen geachtet werden, indem großzügige Fördermittel für die Entwicklung und Erprobung bereitgestellt und durch weitere Maßnahmen flankiert werden, die den beteiligten Akteuren einen schnellen Einstieg in die automatisierte Binnenschifffahrt ermöglichen.

Wissenschaft und Technik

Der Schiffsbetrieb ist weitgehend vollständig automatisiert und unbemannt, die Überwachung findet durch landseitige Remote Operation Centres statt. Modulare, nachhaltige Antriebskonzepte sowie digitale Zwillinge ermöglichen flexible Einsätze und vorausschauende Instandhaltung. Die digitale Kommunikation erfolgt softwarebasiert, jedoch ohne einheitliche Standards, was einerseits Vielfalt und Innovationsdynamik fördert, andererseits aber Integrationspotenziale offenlässt. Für Forschung & Entwicklung sowie die Technologieanbieter ergeben sich somit Handlungsempfehlungen, die die stetige Fortentwicklung der Technologien und die regelmäßige Entwicklung und Erprobung von Innovationen in den Bereichen Automatisierung, Digitalisierung, alternative Antriebstechnik und Schiffsentwurf weiterführen:



- **Ganzheitliche Entwicklung des Systems Wasserstraße:** Die Entwicklung und Erprobung von Innovationen sollte die Gesamtheit der schiffsbetrieblichen Funktionen sowie die Schiff-Hafen-Interaktion einschließlich der Implikationen für die Landseite systematisch in den Blick nehmen.
- **Förderprogramme konsequent nutzen:** Die verfügbaren großzügigen Förderprogramme sollten genutzt werden, um die Entwicklung und Erprobung von Innovationen eigenständig und insbesondere im Verbund gezielt voranzutreiben.
- **Technologieerweiterung und systematischer Innovationstransfer:** Das Technologieangebot sollte auf weitere Segmente des Binnenschiffahrtsgewerbes erweitert und der Transfer von erfolgreich erprobten und etablierten Innovationen aus anderen Industrien systematisch vorangetrieben werden.
- **Ökonomische Vorteile erforschen:** Der systemische, ökonomische Nutzen der Automatisierung der Binnenschiffahrt ist zu erforschen. Erfahrungen aus Pilotierungen sollten auf ihre Gültigkeit, Übertragbarkeit und Skalierbarkeit überprüft werden.
- **Erarbeitung einer gemeinsamen Vision:** Individuelle Entwicklungsstränge sollten durch zentrale Zielvorgaben orchestriert werden. Forschung & Entwicklung sollten als unabhängige Intermediäre an der Entwicklung einer gemeinsamen Vision einer automatisierten Branche arbeiten.

Szenario 5: Insellösungen unter Druck

Das Szenario wird als Bestandteil der aktuellen Situation, jedoch weder als prägendes Leitbild noch als wünschenswerter Zukunftszustand bewertet. Da es als mögliches, aber nicht dominantes Zukunftsbild gilt und im Szenarienraum eine Rolle als Divergenzszenario einnimmt, gilt das Verhindern eines Hineindriftens als zentrale Handlungslogik dafür. Allgemein wird für das Szenario die Entwicklung einer gemeinsamen Vision für die Zukunft unter Einbezug aller beteiligten Stakeholder empfohlen, um den vorhandenen technischen Fortschritt nicht unkoordiniert laufen zu lassen, sondern einer übergeordneten Systemlogik folgend zu orchestrieren. Neben den laufenden Entwicklungen ist auch die gemeinsame Beteiligung an der Entwicklung und Erprobung von Innovationen von großer Bedeutung für eine harmonisierte Fortentwicklung und eine Nutzung der Automatisierung auf breiterer Basis - insbesondere vor dem Hintergrund eines wachsenden Bewusstseins in Wirtschaft und Gesellschaft für den Nutzen und die Notwendigkeit der Automatisierung. Hinsichtlich der Antriebskonzepte ist eine Anpassung des Stromnetzes und der Menge an bereitgestellter elektrischer Energie in den Häfen notwendig. Um zudem eine sprachbasierte Kommunikation zwischen Schiff und Land zu ermöglichen, ist die Entwicklung von Kommunikations- und Datenaustauschstandards erforderlich. Um wertvolle Impulse für die zielgerichtete Weiterentwicklung der Binnenschiffahrt zu erhalten, wird die Übertragung erfolgreicher Konzepte aus anderen Verkehrsträgern und Industriebranchen empfohlen. Für die Schaffung geeigneter Investitions- und Innovationsbedingungen innerhalb des Systems Wasserstraße ist die Etablierung langfristiger und planbarer Auftragsstrukturen von zentraler Bedeutung. Diese ermöglichen es den Binnenschiffahrtsunternehmen, Investitionen in den Umbau ihrer Flotte wirtschaftlich abzusichern und Binnenhäfen ihre Anlagen und Abläufe entsprechend anzupassen, wodurch auch Entwicklungsprojekte ihre Wirkung besser entfalten können. Hinsichtlich der erweiterten Verbreitung von Automatisierungstechnologien innerhalb des Systems Wasserstraße können zudem gezielte Impulse durch innovationsorientierte Marktmechanismen gesetzt werden, etwa durch die verstärkte Nutzung neuer (automatisierter) Binnenschifftransportdienste sowie die bewusste Förderung von Innovationsaktivitäten entlang der Wertschöpfungskette. Analog dazu stellt die Bildung von Innovationspartnerschaften zwischen den beteiligten Akteuren einen wichtigen Hebel zur Stärkung der Innovationsdynamik dar.

Binnenschiffahrtsgewerbe

Das Binnenschiffahrtsgewerbe ist stark fragmentiert und von etablierten Unternehmen, Partikulieren und neuen Marktteilnehmern, die unterschiedliche Teilmärkte bedienen, geprägt. Leistungsangebote und Wettbewerbsfähigkeit variieren stark: Hochwertige, flexible Services richten sich an zahlungsbereite Kunden, während preisgünstige Standardleistungen Serviceeinschränkungen aufweisen. Die Flotte



wird von kleinen, flexiblen Einheiten dominiert, während große Schiffe aufgrund rückläufiger Nachfrage nach traditionellen Gütern zunehmend abgewrackt werden. Entwicklungen erfolgen überwiegend als individuelle betriebliche Anpassung an Markt- und Kostendruck, weniger durch übergreifende Strategien. Um ein zielloses Hineindriften in dieses Szenario zu verhindern, werden die folgenden Handlungen empfohlen:

- **Flächendeckender Einsatz digitaler Assistenzsysteme:** Assistenzsysteme sollten flächendeckend eingesetzt werden. Digitale Anwendungen sollten neben der Navigation auf die Zustandsüberwachung der Schiffe und auf vorausschauendes Flottenmanagement ausgeweitet werden, um die Effizienz- und Synergiewirkung der flottenweiten Nutzung solcher Systeme zu nutzen.
- **Ergänzung der digitalen Netzinfrastruktur:** Die Binnenschifffahrt sollte die vorhandenen digitalen Netzinfrastrukturen nutzen und durch eigene Infrastruktur gezielt ergänzen, um die Konnektivität auf Nebenstrecken sicherzustellen.
- **Vorbehalte ab- und Kooperationen aufbauen:** Vorbehalte gegenüber der Automatisierung sollten aktiv adressiert und durch die Entwicklung von stimulierenden Rahmenbedingungen, etwa in Richtung Innovationstreiberschaft, überwunden werden. Kooperationen mit anderen Branchen in Industrie und Verkehr sollten aktiv verfolgt werden, um Spill-over-Effekte in die Binnenschifffahrt zu erzeugen.
- **Flottenmodernisierung voranbringen:** Die Flottenstruktur sollte in Richtung kleiner Einheiten entwickelt werden. Angesichts der gravierenden Veränderungen der Antriebstechnik wird eine Umstellung der bestehenden Einheiten in Richtung fest verbauter Akkusysteme empfohlen.
- **Schrittweise Einführung der Automatisierung:** Angesichts der Vorbehalte gegenüber Automatisierung und dem Verharren in etablierten Methoden sollte eine Umstellung auf den automatisierten Schiffsbetrieb schrittweise vorangehen und etablierte Methoden entsprechend weiterentwickelt werden.
- **Strategische Koordination und Prozessanpassungen:** Das Binnenschiffsgewerbe sollte eine strategische Koordination von Investitionen, Serviceportfolios und der Personalentwicklung sicherstellen, um eine Harmonisierung der Automatisierungsbestrebungen zu verfolgen und ein gemeinsames Zielbild für die Binnenschifffahrt zu realisieren. Bezüglich der Personalentwicklung sind Rekrutierungsprogramme durch Weiterbildungsprogramme der Reedereien und gemeinsame Ausbildungsprogramme mit Bildungsanbietern zu flankieren und gleichzeitig Anpassungen der Prozesse an Bord an die neuen Anforderungen vorzunehmen.
- **Diversifizierung von Geschäftsmodellen:** Das Potenzial zur Entwicklung neuer Transportdienstleistungen und zur Variation existierender Geschäftsmodelle sollte genutzt werden,

um den Kunden ein insgesamt breiteres und flexibleres Leistungsportfolio anbieten zu können. Zusammen mit der Verbreitung des Portfolios zu verschiedenen Güterarten, Kunden und Relationen ist dies zudem ein Beitrag zur Risikostreuung.

- **Adressierung von Infrastrukturthemen:** Die Binnenschifffahrt sollte gezielt auf Entscheidungsträger und weitere Nutzer der Wasserstraße einwirken, um ein breites Bewusstsein für die Notwendigkeit der Erhaltung der Infrastruktur zu schaffen und eine geografisch ausgewogene Investitions- und Instandhaltungspraxis über Haupt- und Nebenstrecken hinweg zu fördern.
- **Nutzung von Innovationsprojekten:** Die Teilnahme an Innovationsprojekten sollte zur Exposition der eigenen Marke im Wettbewerb mit anderen Binnenschifffahrtsunternehmen sowie anderen Verkehrsträgern genutzt werden, um die eher leuchtturmartig anmutenden Einzelinitiativen einiger weniger Akteure auszugleichen.

Hafenwirtschaft

Binnenhäfen fungieren als „Stabilisatoren“ einer fragmentierten Binnenschifffahrt und müssen flexibel auf unterschiedliche Antriebs- und Automatisierungsgrade reagieren. Elektrische Ladesysteme, modulare Energiespeicher und erneuerbare Energiequellen erfordern komplexes Energiemanagement und erweiterte Infrastruktur. Fehlende Standardisierung und geringe Automatisierung begrenzen die systematische Nutzung digitaler Daten, während ROC und Hafenpersonal zunehmend Koordinations- und Bedienungsaufgaben übernehmen. Unterschiede in Investitionsbereitschaft und Nachfrage führen zu Leistungsunterschieden zwischen Häfen, sodass Innovationen häufig reaktiv zur Sicherung der Betriebsfähigkeit entstehen. Häfen können sich durch mehrere Handlungen aufstellen, um in diesem Szenario vorbereitet zu sein:



- **Um- und Ausbau von Hafeninfrastruktur:** Die Binnenhafenwirtschaft sollte ihre Hafeninfra- und -suprastruktur dort, wo notwendig, bedarfsgerecht und gezielt anpassen, um den (teil-)automatisierten Schiffsbetrieb zu ermöglichen sowie die Weichen für die Versorgung alternativer Antriebstechnologien, insbesondere die Lade- und Energieinfrastruktur für elektrisch betriebene Schiffe, stellen.
- **Technische Integration von Schnittstellen zur Fernüberwachung:** Für die Fernüberwachung der Binnenschifffahrt aus dem ROC sollte frühzeitig die notwendige Anpassung der technischen Interaktion der hafenseitigen Systeme mit den ROC verfolgt werden.
- **Innovationspartnerschaften systematisch etablieren:** Für einen gezielten und systematischen Transfer von innovativen Ideen und Ansätzen wird die Bildung von Innovationspartnerschaften mit anderen Akteuren innerhalb des Systems Wasserstraße sowie außerhalb dessen empfohlen, um die eigene technologische Weiterentwicklung zu stimulieren.

- **Diversifikation von Kunden- und Güterstruktur:** Es sollte eine Diversifizierung der Kunden und Güterarten unter Berücksichtigung des Hafenumfelds angestrebt werden, um eine größere strukturelle Breitenwirkung der Binnenschifffahrtsaktivitäten zu erzielen.
- **Stärkung multimodaler Verbindungen:** Die kontinuierliche Entwicklung von Anschlussverbindungen zwischen Schifffahrt und landseitigen Angeboten zur Ermöglichung von multimodalen Transportketten sollte gefördert werden, um Kunden gegenüber attraktiv zu bleiben.
- **Branchenweite Standardisierung vorantreiben:** Eine branchenweite Abstimmung innerhalb der Hafenwirtschaft kann Standardisierungen hervorbringen und einen Flickenteppich aus unterschiedlichen Lösungen vermeiden. Dadurch werden perspektivisch Synergien und Effizienzpotenziale realisiert.
- **Anpassung von Personalstrategie und Prozessen an Automatisierung:** Die Aus- und Weiterbildung des Personals von Binnenhäfen und -terminals sowie die Anpassung der Prozessabläufe und Interaktionen zwischen den einzelnen Beteiligten sollten gezielt an die Anforderungen der Automatisierung und veränderten Verantwortlichkeiten angepasst werden.

Politik und Verwaltung

Automatisierung in der Binnenschifffahrt wird politisch und gesellschaftlich anerkannt, findet jedoch nur begrenzte Unterstützung. Regulierungen sind widersprüchlich und teils restriktiv, Fördermittel werden begrenzt und ohne klare Priorisierung eingesetzt, wodurch Projektlandschaften zersplittert bleiben. Infrastrukturinvestitionen und digitale Netze konzentrieren sich auf Hauptkorridore, während Nebenstrecken vernachlässigt werden. Vorbehalte und Überregulierung hemmen den Technologietransfer und die Nutzung digitaler Potenziale, sodass die Branche im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern an Anschlussfähigkeit verliert. Politik und Verwaltung können sich durch folgende Handlungen auf dieses Szenario vorbereiten, um ein zielloses Hineingleiten zu verhindern:



- **Förderpolitische Steuerung und Priorisierung stärken:** Staatliche Förderinstrumente sollten gezielt auf Automatisierungs- und Digitalisierungsvorhaben ausgerichtet werden. Dafür ist ein Prioritätenkatalog sinnvoll, der eine gestaffelte und strategisch ausgerichtete Vergabe von Fördermitteln ermöglicht. Hierdurch können stimulierende Impulse gesetzt werden, die die Innovationsbereitschaft der Branche erhöhen. Darüber hinaus sollten erprobte Lösungen aus anderen Sektoren geprüft und, sofern übertragbar, an die spezifischen Bedingungen der Binnenschifffahrt angepasst werden.
- **Infrastrukturinvestitionen breiter absichern:** Das Binnenwasserstraßennetz benötigt eine dauerhaft gesicherte Finanzierung sowie eine systematisch geplante Wartung und Instandhaltung. Der Ausbau und die Modernisierung der Infrastruktur sollten nicht nur auf

Hauptachsen, sondern auch auf Nebenstrecken und in peripheren Regionen vorangetrieben werden. Parallel dazu ist die digitale Infrastruktur flächendeckend zu modernisieren und als Grundlage stabiler Transporte abzusichern.

- **Einheitliche Standards schaffen:** Die Entwicklung gemeinsamer Kommunikations- und Datenaustauschstandards ist zentral, um Interoperabilität, Prozesssicherheit und Effizienz zu erhöhen. Einheitliche Standards erleichtern die Integration heterogener Systeme und reduzieren Schnittstellenverluste sowie Fehlerquellen bei der Datenübertragung zwischen Schiffen, Häfen und Logistikzentren.
- **Batterieelektrische Antriebe gezielt fördern:** Die Umrüstung auf batterieelektrische Antriebstechnik sollte durch politische Maßnahmen aktiv begleitet werden. Dazu gehören finanzielle Anreize für Flottenbetreiber ebenso wie Investitionen in eine landseitige Stromversorgung entlang der Wasserstraßen, um Reichweitenbeschränkungen zu verringern und eine hohe Systemverfügbarkeit zu sichern.
- **Kleinere Einheiten und strukturelle Vielfalt erhalten:** Der Rückgang kleiner Schiffseinheiten sollte sorgfältig reflektiert werden. Eine gegensteuernde Politik kann durch gezielte Fördermaßnahmen dazu beitragen, kleine Einheiten zu erhalten und damit betriebliche Flexibilität sowie strukturelle Vielfalt zu sichern. Gleichzeitig sollten rechtliche Voraussetzungen für neue Nutzungsformen geschaffen und die Markteinführung technologischer Neuerungen unterstützt werden.
- **Regelungsrahmen für Automatisierung anpassen:** Definitions- und Vorschriftenlücken sind insbesondere im Hinblick auf automatisierte Systeme zu schließen. Die rechtlichen Rahmenbedingungen sollten dort angepasst werden, wo Assistenzsysteme zum Einsatz kommen, etwa bei Haftungs-, Versicherungs- und Betriebsfragen. Auch digitale Abläufe wie Kommunikation, Dokumentation und Berichtspflichten müssen rechtssicher und durchgängig geregelt werden. Dabei ist die fortschreitende Entwicklung stets im Blick zu behalten und Vorschriftenlage fortlaufend anzupassen.
- **Technologietransfer und Akzeptanz verbessern:** Vorbehalte gegenüber Automatisierung sollten aktiv adressiert und durch stimulierende Rahmenbedingungen abgebaut werden. Der Austausch mit anderen Branchen in Industrie und Verkehr kann dazu beitragen, Spillover-Effekte zu erzeugen und den Technologietransfer in die Binnenschifffahrt zu beschleunigen.
- **Digitale Potenziale konsequent nutzen:** Die Branche sollte digitale Anwendungen nicht nur punktuell, sondern entlang der gesamten Wertschöpfungskette einsetzen. Insbesondere für die Vernetzung von Betrieb, Logistik und Infrastruktur ergeben sich Chancen, die Anschlussfähigkeit der Binnenschifffahrt an andere Verkehrsträger zu sichern und Effizienzreserven zu heben.

Wissenschaft und Technik

Tiefgreifende Automatisierung hat sich bislang nur punktuell etabliert; bemannter Betrieb mit digitaler Unterstützung bleibt der Regelfall, während hochautomatisierte Lösungen meist Insel-lösungen darstellen. Antriebsseitig haben sich elektrische Konzepte durchgesetzt, überwiegend in fest eingebauten Akkusystemen, während konventionelle Verbrennungsmotoren nur noch eine untergeordnete Rolle spielen. Fachkräftemangel und reduzierte Besatzungen führten zu organisatorischen Anpassungen wie der Unterstützung durch Festmacherpersonal. Digitale Zustandsüberwachung, Sensordichte und digitale Zwillinge sind weit verbreitet, die Kommunikation zwischen Schiff und Land erfolgt teils automatisiert, teils sprachbasiert, wobei eine übergreifende Systemarchitektur weiterhin fehlt. Technologieentwicklern, sowie F&E werden folgende Handlungsempfehlungen ausgesprochen, um sich gut auf dieses Szenario einzustellen:



- **Weiterentwicklung von Assistenz- und Automatisierungssystemen:** Die konsequente Weiterentwicklung von Assistenz- und Automatisierungslösungen einzelner schiffsbetrieblicher Funktionen sowie die Weiterentwicklung zu höheren Automatisierungsgraden sollte vorangetrieben werden, um die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Binnenschifffahrt zu steigern.
- **Verbesserung von Speichertechnologien:** Die Weiterentwicklung der Speichertechnologien an Bord sollte zur Erweiterung der Reichweite und Verkürzung der Ladezeiten sollte vorangebracht werden, um die Leistungsfähigkeit der elektrisch betriebenen Schiffseinheiten zu sichern.
- **Mensch-Maschine-Interaktion gestalten:** Angesichts des hybriden Einsatzes von Menschen und Automaten im Schiffsbetrieb sollten Mensch-Maschine-Interaktions-Konzepte zur Unterstützung der Abläufe auf Schiffs- und Landseite entwickelt werden, um der verbleibenden Besatzung an Bord sowie an Land die bestmögliche Nutzung der Systeme ermöglichen.
- **Digitale Zustandsüberwachung sichern:** Die rechtzeitige Entwicklung der Teilsysteme und -lösungen der digitalen Zustandsüberwachung ist voranzutreiben, da sie eine weit verbreitete Funktionalität dieses Szenarios darstellt. Parallel dazu sollte eine systematische Identifikation von Lücken entlang der deutschen Wasserstraßen erfolgen und die dazu notwendige Messinfrastruktur aufgebaut werden.
- **Innovationen transferieren:** Aufgrund der ausbaufähigen Diffusion der Automatisierung der Binnenschifffahrt sollte der ökonomische Nutzen der Automatisierung nachgewiesen werden. Nach Möglichkeit sollte die Anpassung und der Transfer von etablierten Innovationen aus Industrie und Verkehr in die Binnenschifffahrt erfolgen, um deren Leistungsfähigkeit zu erhöhen.

Übergreifende Handlungsempfehlungen zur Rechtssetzung

Die nachfolgenden rechtlichen Empfehlungen besitzen grundsätzliche Gültigkeit für die Anwendungsszenarien, in denen jeweils entweder assistierende Funktionen zur Unterstützung der Schiffsführung oder vollständig automatisierte Systeme zum Einsatz kommen. Da die rechtlichen Fragestellungen – insbesondere im Hinblick auf Zulassung, Haftung und Standardisierung – in beiden Fällen jeweils vergleichbare strukturelle Anpassungen erfordern, erfolgt keine isolierte Zuordnung der Empfehlungen zu einzelnen spezifischen Szenarien. Vielmehr bilden sie ein geschlossenes Fundament für die regulatorische Begleitung der digitalen Transformation auf dem Wasser.

- **Förderung einheitlicher internationaler Zulassungsvorschriften:** Der Bund sollte seine Mitgliedschaft in der Arbeitsgruppe CESNI nutzen, um frühzeitig einheitliche inter- und supranationale Standards für technologische Innovationen umzusetzen.
- **Nutzung der Gesetzgebungskompetenz durch den Bund:** Der Bund sollte seine Kompetenz nutzen, um klarstellende, bundeseinheitliche Zulassungsregeln für die Schifffahrt umzusetzen und so den Weg für technologische Innovationen zu ebnen.
- **Schaffung bundeseinheitlicher Ausnahmenvorschriften:** Es empfiehlt sich, einheitliche Regelungen für Ausnahmezulassungen zu etablieren, um Rechtssicherheit bei der Abweichung von bestehenden Standards (wie dem ES-TRIN) zu garantieren.
- **Förderung von Forschung und Entwicklung zur Standardisierung:** Die Binnenhafenwirtschaft und die Industrie sollten Forschungsvorhaben forcieren, um anerkannte Standards für den Sicherheitsnachweis automatisierter Systeme in die Binnenschifffahrt bzgl. Systemzulassung und Enthftung des Herstellers zu entwickeln.
- **Definition neuer Verkehrssicherungspflichten:** Der Gesetzgeber sollte – idealerweise auf internationaler Ebene – klare Verkehrssicherungspflichten für die Nutzer von Automatisierungsfunktionen definieren.
- **Vermeidung regulatorischer Divergenzen:** Staatliche Regulierung sollte Vorrang vor reinen Herstellereinschätzungen haben, um widersprüchliche Erwartungshaltungen zu vermeiden und die Investitionsfreude der Schifffahrtstreibenden nicht zu unterminieren.
- **Anpassung des haftungsrechtlichen Rahmens:** Die Binnenhafenwirtschaft und der Gesetzgeber sollten das Haftungsgefüge (insbesondere das BinSchG) überprüfen, da die klassische Haftungsanknüpfung am Schiffsführer bei autonomer Fahrt entfällt.
- **Die Verlagerung von Haftungsrisiken im Zuge der Automatisierung bedarf der regulatorischen Begleitung:** Der Bund sollte prüfen, ob schifffahrtsrechtliche Haftungsbeschränkungen des BinSchG einer Erweiterung bedürfen, da diese nicht für den Systemhersteller greifen.
- **Klärung der Versicherbarkeit:** Es sollte frühzeitig geprüft werden, ob die auf die Systemanbieter kumulierten nautischen Risiken durch neue Versicherungslösungen abdeckbar sind.

- **Entwicklung von Sicherheitsstandards für Landanlagen:** Für automatisierte Anlegesysteme sollten notwendige Sicherheitsstandards erarbeitet werden, um den hinreichenden Sicherheitsnachweis in der Praxis zu ermöglichen.
- **Bereitstellung umfassender Systemdokumentationen:** Hersteller sollten mangels bestehender Standards umfassende Dokumentationen und Langzeit-Systemnachweise vorhalten, um die Fehlerfreiheit ihrer Systeme darzulegen.
- **Harmonisierung von Land- und Schiffsanlagen:** Bei gemischten Systemen sollte das regulatorische Defizit abgebaut werden, damit der Eigner den Sicherheitsnachweis für die gesamte Wirkungskette (Schiff und Landanlage) führen kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Fokus der rechtlichen Gestaltung auf drei zentralen Säulen liegt:

1. **Harmonisierung & Standardisierung:** Um Investitionssicherheit zu schaffen, müssen Zulassungsregeln und Sicherheitsstandards sowohl national als auch international (CESNI) vereinheitlicht werden.
2. **Haftungsrechtliche Neuausrichtung:** Das bestehende Haftungsgefüge (BinSchG) muss an die wegfallende Schiffsführer-Haftung angepasst werden, wobei insbesondere die Rolle der Hersteller und die Versicherbarkeit neuer Risiken im Vordergrund stehen.
3. **Ganzheitliche Systembetrachtung:** Rechtssicherheit kann nur entstehen, wenn die gesamte Wirkungskette – vom Schiff über die Software bis hin zur Landanlage – regulatorisch erfasst und durch lückenlose Dokumentationspflichten abgesichert wird.



Zusammenfassung

Die Zukunft der automatisierten Binnenschifffahrt ist von technologischen, organisatorischen und ökonomischen Unsicherheiten geprägt – gerade deshalb ist strategisches Handeln heute entscheidend. Welche Rolle haben Binnenhäfen in dieser Entwicklung?

Zukunft wird in den Häfen gestaltet

Die Binnenschifffahrt gilt als ein von stabilen Betriebsmodellen, langen Investitionszyklen und einer eher inkrementellen technologischen Entwicklung geprägter Verkehrsträger. Effizienzsteigerungen wurden in der Vergangenheit vor allem durch Optimierungen im Betrieb, regulatorisch erforderliche Flottenmodernisierungsmaßnahmen und punktuelle Digitalisierung erreicht. Dadurch blieb der Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad, im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern, in der Breite gering. Auch Binnenhäfen entwickelten sich in diesem Umfeld überwiegend entlang etablierter Rollen als physische Umschlag- und Infrastrukturanbieter.

In den vergangenen Jahren haben auf allgemeiner Ebene jedoch mehrere Entwicklungen zusammengewirkt, die diese Wahrnehmung disruptiv verändern könnten. Fortschritte in der Sensorik, Kommunikationstechnologie und Datenverarbeitung, steigender Effizienzdruck in globalen Lieferketten sowie Anforderungen an Nachhaltigkeit und Fachkräftesicherung verschieben die Rahmenbedingungen und erhöhen den Druck auf die Binnenschifffahrt, sich nicht nur evolutionär fortzuentwickeln. Gleichzeitig rückt die Rolle der Häfen stärker in den Fokus, da sie als Schnittstellen zwischen Verkehrsträgern und als potenzielle Datenknotenpunkte eine zentrale Funktion in zukünftigen Logistiksystemen einnehmen. Erste Pilotprojekte und Anwendungen zeigen bereits heute, dass hochautomatisierte und digital vernetzte Systeme in der Binnenschifffahrt technisch realisierbar sind.

Technologiegetriebene Veränderungen und neue Chancen

Vor diesem Hintergrund befindet sich die Binnenschifffahrt an einem Wendepunkt: Die Entwicklung hin zu einer hochautomatisierten Schifffahrt ist nicht länger nur eine ferne Vision, sondern gilt zunehmend als greifbare Perspektive, die auch die Anpassung und Mitgestaltung der Hafenwirtschaft erfordert. An dieser Stelle setzt die Untersuchung im Projekt RAIN an: softwaregeleitet und unterstützt von Branchenexperten wurden im Rahmen dieser Studie fünf voneinander abgrenzbare Szenarien der Binnenschifffahrt für das Jahr 2050 erarbeitet. Diese Szenarien sind keine Prognosen, sondern stellen in sich schlüssige, mögliche und konsistente Zukunftsbilder dar, die unterschiedliche Entwicklungsstränge der Binnenschifffahrt aufzeigen. Sie beschreiben Zukünfte, die von einer weitgehenden Fortschreibung bestehender Strukturen über eine drastische Fragmentierung der Branche bis hin zu ihrer vereinten Transformation durch Automatisierung und Digitalisierung reichen. Damit spannen sie einen Möglichkeitsraum auf, in dem die Rolle der Binnenhäfen sehr unterschiedlich ausgeprägt ist.

Für Binnenhäfen bedeutet diese Vielfalt der Möglichkeiten die Notwendigkeit zur Entwicklung belastbarer Strategien, die unter Unsicherheit tragfähig sind und Handlungsfähigkeit ermöglichen. Je nach Szenario verändert sich die Rolle der Häfen erheblich: von reaktiven Infrastrukturanbietern bis hin zu aktiven Orchestratoren eines Logistiksystems. Damit geht einher, dass Häfen künftig nicht nur physische Umschlags- und Verkehrsknotenpunkte sind, sondern zuneh-

mend Funktionen in der Steuerung, Integration und Bereitstellung von Daten aus heterogenen Quellen übernehmen und (neue) Dienstleistungen anbieten könnten.

Strategische Weichenstellungen für die Zukunft

Über alle Szenarien hinweg wird deutlich, dass eine koordinierte und innovationsfreundliche Regulierung eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung automatisierter Systeme ist. Gleichzeitig erfordert der Wandel erhebliche Investitionen in digitale Infrastruktur, technologische Schnittstellen und den Aufbau von Kompetenzen. Insbesondere Häfen stehen vor der Herausforderung, diese Transformation nicht nur zu begleiten, sondern sie aktiv zu gestalten und sich frühzeitig in den entstehenden digitalen Ökosystemen zu positionieren, um ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern.

Weiterhin wird verdeutlicht, dass Automatisierung nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern eng mit der Digitalisierung logistischer Prozesse und der Integration in multimodale Transportketten verknüpft ist. Gerade hier liegt eine strategische Chance für Häfen, ihre bestehende Rolle aufzubrechen und sich als Knotenpunkte in zunehmend datengetriebenen Logistiknetzwerken zu positionieren.

Für die Branche ergibt sich daraus ein klarer Handlungsauftrag: Der Wandel hin zu einer automatisierten Binnenschifffahrt ist das Ergebnis einer längerfristigen Entwicklung. Umso entscheidender ist es, bereits heute die richtigen Weichen zu stellen, Kooperationen zu stärken und regulatorische sowie technologische Entwicklungen aktiv mitzugestalten.

Die Zukunft der automatisierten Binnenschifffahrt wird nicht nur auf dem Wasser, sondern in entscheidendem Maße auch in den Häfen gestaltet.

Quellen und Nachweise

Literatur und Internetquellen

[1]

„Bundeswasserstraßen“. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Zugriffen: 18.März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/bundeswasserstrassen-node.html

[2]

Statistisches Bundesamt, „Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt. Fachserie 8 Reihe 4“. Mai 2022. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Publikationen/Downloads-Schifffahrt/binnenschifffahrt-monat-2080400221054.pdf?__blob=publicationFile&v=9

[3]

Statistische Ämter des Bundes und der Länder, „Datensätze zum Güterverkehr in der Schifffahrt. Güterverkehr in der Binnenschifffahrt. Monatsdaten für die Jahre 2011-2024“. 16. Juni 2025. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2025-06/IWW%20OpenData%20%282011-2024%29.zip>

[4]

„Annual Report 2025. Inland Navigation in Europe - Market Observation“. Central Commission for the Navigation of the Rhine, Oktober 2025. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://inland-navigation-market.org/wp-content/uploads/2025/11/CCNR_annual_report_EN_2025_WEB.pdf

[5]

„Veränderung des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte im Jahre 2024: Zentrale Binnenschiffsbestandsdatei“. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Bonn, 2025.

[6]

„Verkehrsbericht 2024“. Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, 2025.

[7]

„IVR Schiffs Informationssystem: Datenauszug für 2024 und 2025“. IVR, Rotterdam, 2026. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ivr-eu.com/expertise/ivr-schiffs-informations-system/?lang=de>

[8]

I. Bačkalov, M. Josipović, und C. Alias, „Evolution(s) of European Inland Vessel Fleets“, in Innovations in Sustainable Maritime Technology—IMAM 2025, K. J. Spyrou und N. Themelis, Hrsg., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, S. 365–380. doi: [10.1007/978-3-032-02102-1_28](https://doi.org/10.1007/978-3-032-02102-1_28).

[9]

„Jahresbericht 2025. Europäische Binnenschifffahrt - Marktbeobachtung“. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), Oktober 2025. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://inland-navigation-market.org/wp-content/uploads/2025/11/CCNR_annual_report_DE_2025_WEB.pdf

[10]

Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung, Ausgabe 2018. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 2018.

[11]

Statistisches Bundesamt, „Unternehmen, Umsatz, Personal, Schiffe (Binnenschifffahrt): Deutschland, Jahre. 46311-0001“. 23. Februar 2026. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.genesis.destatis.de/datenbank/online/table/46311-0001/search/s/NDYzMTetMDAwMQ%3D%3D>

[12]

„Daten & Fakten in der Binnenschifffahrt 2024/2025“. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V., 2025. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.binnenschiff.de/wp-content/uploads/2025/11/Daten-Fakten_2024-2025.pdf

[13]

„Der Arbeitsmarkt im europäischen Binnenschifffahrtssektor“. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), 2021. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.inlandwaterway-transport.eu/wp-content/uploads/DE_LM-report_vf.pdf

[14]

PLANCO Consulting GmbH, „Studie zur Prüfung einer Förderung für kleinere und/ oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe“. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Juli 2022. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/WS/studie-kleine-binnenschiff-lange-fassung.pdf?__blob=publicationFile

[15]

„Port Reform Toolkit“. World Bank, 2025. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/10986/43526>

[16]

„Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse“. PLANCO Consulting GmbH, Essen, November 2007. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bafg.de/SharedDocs/Downloads/DE/weitere_fach_publikationen/extern_verkehrstraeger_kurz.pdf?__blob=publicationFile&v=1

[17]

F. Hofbauer und L.-M. Putz, „External Costs in Inland Waterway Transport: An Analysis of External Cost Categories and Calculation Methods“, Sustainability, Bd. 12, Nr. 14, S. 5874, Juli 2020, doi: [10.3390/su12145874](https://doi.org/10.3390/su12145874).

[18]

„Emissionsdaten“. Umweltbundesamt, 25. Februar 2025. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich-gterverkehr-tabelle>

[19]

„Nationales Hafenkonzept für die See- und Binnenhäfen“. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 17. Juni 2009. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://henry.baw.de/server/api/core/bitstreams/1e70c3ab-c621-4523-983b-805cef71f195/content>

[20]

„Wasserstraßeninfrastruktur stärken“. Inititative System Wasserstraße, Februar 2023. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Media/Veroeffentlichungen/230221_ISW-Impulspapier_Wasserstrasseninfrastruktur_staerken_final.pdf

[21]

Hermann W. Haberkamp, „Voraussetzungen für eine sichere und leichte Navigation mit Radar auf Binnenschifffahrtsstraßen“. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), Straßburg, 19. Dezember 2013. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/workshops/wrshp191213/03_Haberkamp_de.pdf

[22]

„Automated Navigation. International definition of levels of automation in inland navigation“. Central Commission for the Navigation of the Rhine, 2022. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/AutomatisationNav/DefinitionAutomatisation_en.pdf

[23]

DST — Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., „TASCS: Towards a sustainable crewing system“. European Barge Union (EBU); European Skippers Organisation (ESO); European Transport Federation (ETF), 2019.

[24]

DST — Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., „Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt: Machbarkeitsstudie für ein Testfeld im Ruhrgebiet“. Industrie- und Handelskammern im Ruhrgebiet, November 2018.

[25]

„Erste Internationale Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt“. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), 18. Dezember 2018. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ccr-zkr.org/files/documents/cpresse/cp20181219de.pdf>

[26]

Maximilian Hohn und Thomas Weber, „Ferngesteuerte Binnenschifffahrt“, UNIKATE - Berichte aus Forschung und Lehre, Bd. 59, DuEPublico: Duisburg-Essen Publications online, 2023. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00077749/Hohn_Weber_Ferngesteuerte_Binnenschifffahrt.pdf

[27]

Cyril Alias, Michael Seifert, und Jonas zum Felde, „SEAMLESS Reference Logistics Architecture, Standards, and Simplified Administrational Procedures: SEAMLESS Deliverable D2.2“. 31. August 2024. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.seamless-project.eu/wp-content/uploads/2024/09/D2.2-SEAMLESS-reference-logistics-architecture-standards-and-simplified-administrational-procedures.pdf>

[28]

„Handbuch Binnenschifffahrtstfunk. Allgemeiner Teil“. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), 2017. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/reglementRP/rp41a_pg_062017.pdf

[29]

„Electronic Ship Reporting“. Central Commission for the Navigation of the Rhine. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://ris.cesni.eu/32-en.html>

[30]

„VDES FAQ“. International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iala.int/technical/connectivity/vdes-vhf-data-exchange-system/>

[31]

M. N. O. Sadiku, P. A. Adekunte, und J. O. Sadiku, „Internet of Things in Maritime Industry“, International Journal of Trend in Scientific Research and Development, Bd. 9, Nr. 3, Juni 2025. Zugriffen: 18. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd97119.pdf>

[32]

F. Dahlke-Wallat, B. Friedhoff, und J. Ley, „Alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologienfür Binnenschiffe“, in Alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien für Binnenschiffe. Ein Überblick., 2022.

[33]

„Roadmap der ZKR zur Verringerung der Emissionen in der Binnenschifffahrt: Das Wichtigste auf einen Blick“. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), März 2022.

[34]

Copernicus Services, „OBSERVER: What is IRIS2? | Copernicus“. Zugriffen: 23. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.copernicus.eu/en/news/news/observer-what-is-iris2>

[35]

„Bekanntmachung des Europäischen Standards der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) – Ausgabe 2019/1 –. Fundstelle BAnz AT 09.12.2019 B2“. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 9. Dezember 2019.

[36]

„Hafen - Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft - Duden“. Zugriffen: 31. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.duden.de/rechtschreibung/Hafen_Anlegestelle

[37]

Düring, Herzog, Scholz, und Uhle, „GG Art. 74“.

[38]

„BVerfGE 2, 347 - Kehler Hafen“. Bundesverfassungsgericht.

[39]

„Merkblatt zur Beratung über Abweichungen und Gleichwertigkeiten in Bezug auf die technischen Vorschriften des ES-TRIN für bestimmte Fahrzeuge“. Comité Européen pour l’Élaboration de Standards dans le Domaine de Navigation Intérieure, März 2019. Zugriffen: 31. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2019/04/Guide_Sp_craft_de.pdf

[40]

M. Hoffmann, „Fernsteuerungen in der Binnenschifffahrt - rechtliche Hürden“, Logist. Recht, Bd. 68, Nr. 2, 2025.

[41]

„Verordnung über die Schiffssicherheit in der Binnenschifffahrt (Binnenschiffsuntersuchungsordnung - BinSchUO)“. Zugriffen: 31. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.elwis.de/DE/Untersuchung-Eichung/Untersuchung/BinSchUO/BinSchUO-node.html>

[42]

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik e.V. (DST), Universität Duisburg-Essen (UDE), und Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), „Methoden zur sicheren Ausgestaltung der Automatisierung und Fernüberwachung in der Binnenschifffahrt (SAFEBin)“. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 30. Juni 2025.

[43]

Burmann, Heß, Hühnermann, und Jahnke, „StVO Vor § 1 Rn. 3, 4“.

[44]

D. Mietzner und G. Reger, „Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight“, Int. J. Technol. Intell. Plan., Bd. 1, Nr. 2, S. 220, 2005, doi: [10.1504/IJTIP.2005.006516](https://doi.org/10.1504/IJTIP.2005.006516).

[45]

A. Fink und A. Siebe, Szenario-Management: Von strategischem Vorausdenken zu zukunftsrobusten Entscheidungen, 1. Auflage. Weinheim: Campus Verlag, 2016.

Bildnachweise

Bitteschön.tv, U1/U4, S.11, S. 12–13, S. 42–43, S.52–53, S. 76–77, S. 112–113

Anhang

Projektionsbeschreibungen der Schlüsselfaktoren im Szenario 1

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Markt"	Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt	Die Binnenschifffahrt kann sich trotz Qualitätsabstriche in preis-sensitiven Transportmärkten behaupten. Anteile gehen jedoch in Segmenten mit hohen Anforderungen an Flexibilität und Zuverlässig-keit verloren.
	Eigner- und Betriebsstruktur	Die Eigner- und Betriebsstrukturen verbleiben weitestgehend bei etablierten Akteuren. Durch Fusionen hat eine weitere Konsolidierung Einzug gehalten. Partikuliere sind nur noch vereinzelt und stark ge-meinschaftlich organisiert zu beobachten.
	Transportnetzwerke	Der Großteil der durch die Binnenschifffahrt bedienten Transportnetz-werke weist in seinen Nachfragestrukturen nur eine geringe Dynamik auf. Gleichzeitig entstehen in diesen Strukturen neue potenziell relevante Transportmärkte.
	Schiffsgrößen und -typen	Die Binnenschifffahrtsflotte setzt sich in allen Frachtsegmenten vor allem aus größeren Einheiten zusammen, mit denen ökonomische Skaleneffekte bestmöglich ausgenutzt werden können. Gütermotor- und Tankschiffe unter CEMT-Klasse III sind fast ausschließlich außer Dienst gestellt worden.
Fokusbereich "Technologie"	Antriebstechnik und Energiebedarfe	Insbesondere Neubauten sind mehrheitlich mit einem batterie-elek-trischen Antrieb ausgerüstet. Während sich alternative Kraftstoffe und auch die containerisierten E-Antriebe nicht durchgesetzt haben. Ein relevanter Anteil konventionell betriebener Verbrennungsmotoren verbleibt weiterhin im Flotteneinsatz, insbesondere bei Bestandsfahr-zeugen
	Navigation	Die Navigation erfolgt weiterhin manuell durch einen Schiffsführer an Bord. Jüngere Einheiten der Flotte sind mit Entscheidungsunterstüt-zungen und Bahnführungsassistenzen ausgerüstet, um das Sicher-heitsniveau und die Effizienz zu verbessern. Das Verkehrsmanage-ment erfolgt weitestgehend unter dem Paradigma der "Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs", aber weniger im Sinne einer logistischen Optimierung und idealen Ausnutzung des Wasserstraßennetztes.
	Anlegen/Ablegen	Das Anlegen der meisten Schiffe erfolgt weiterhin manuell durch Per-sonal an Bord; Teilweise wird in einigen Häfen Festmacherpersonal angeboten, um dem durch den Fachkräftemangel bedingten Perso-nalmangel an Bord entgegenzuwirken
	Schiffsseitige Kommunikations-technik	Die Kommunikation zwischen dem Schiff und den relevanten Schleusen- und Verkehrszentralen, den Häfen und der angeschlosse-nen Landorganisation erfolgt sprachbasiert und über verschiedene Kanäle wie Funk, Telefon, E-Mail oder Messengerdienste. Wie, was und wann kommuniziert wird, ist meist individuell abhängig von Be-satzung- und Schiffseigner.
	Zustandsüberwa-chung der Technik	Da neue Antriebsaggregate und Bordelektronik mittlerweile standard-mäßig mit Telematikfunktionalitäten ausgestattet ist, ermöglichen die meisten Einheiten der Flotte vereinzelte Möglichkeiten der digita-len Zustandsüberwachung, beispielsweise in Bezug auf die Antriebs-einheit. Insbesondere Neuzugänge der Flotte verfügen über eine hohe Sensordichte und ermöglichen so die Erstellung eines digitalen Zwillings, welche im Zuge der Wartungsplanung durch die Schiffs-eigentümer genutzt werden können.

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Rahmenbedin-gungen"	Gemeinsame Betrach-tung: Regulatorik: Hafenumfeld &Regu-latorik: Schiff	Die Regulatorik mit Bezug auf Automatisierung in den Häfen ist in Teilen sehr extensiv und teils kaum vorhanden. Es werden keine Freiräume für flexible Entwicklungen geschaffen, so dass Innovatio-nen gehemmt werden. Auch in der Schifffahrt sorgt Überregulierung für Widersprüchlichkeiten, Lücken oder kann zum Ausschluss von Innovationen führen.
	Förderung	Fördermittel werden in geringen Mengen aufgesetzt. Ein Großteil der Fördermittel wird zudem in selektierte Bereiche gesteckt, wodurch es zu verstreuten Projekten kommt, die oft in der Pilotphase steckenblei-ben. Lediglich einzelne Projekte sind miteinander verknüpft. Durch eine fehlende ganzheitliche Förderung wird der Innovationsfortschritt gehemmt.
	Spillover-Effekte	Digitalisierung und Automatisierung nach Minimalprinzip führen zu einem Innovationsstillstand sowohl in der Binnenschifffahrt als auch in allen anderen Branchen, so dass Spillovereffekte in beide Richtun-gen quasi ausgeschlossen sind.
	Gemeinsame Betrach-tung: Durchdringung der Digitalisierung & Durchdringung der Automatisierung	Die Digitalisierung in Deutschland hat sich zu einem Flickenteppich entwickelt, in dem es aufgrund politischer Blockadehaltungen nur in wenigen Anwendungsbereichen zu digitalen Neuerungen kommt. Die konservative Grundhaltung im Bereich der Digitalisierung führt zu Vorbehalten gegen Automatisierung ("Wird eh nichts, das seh' ich jetzt schon") und einem mangelnden Bewusstsein für die Notwendig-keit von Automatisierung in vielen Bereichen.
	Gemeinsame Be-trachtung: Zustand der Wasserstraßen & Netzinfrastruktur an den Wasserstraßen	Der Fokus liegt auf dem gleichmäßigen Erhalt des Bestandnetzes ohne Ausbauanteile. Eine flächendeckende Grundversorgung wird anvisiert, lässt sich jedoch nicht umsetzen, so dass Funklöcher auf-treten.

Projektionsbeschreibungen der Lenkungs-faktoren im Szenario 1

Lenkungs-faktor	Projektions-beschreibung
Bebunkerung und Bunkeraus-rüstung	Durch den Übergang von konventionellen flüssigen Treibstoffen wie Diesel zu einer batterie-basierten Elektroantriebstechnik in der Binnenschiff-fahrt verändert sich die Energiebereitstellung für die Neubauten. Statt schnellem Bunkern von Kraftstoffen in Tanks besteht die Möglichkeit, dass Schiffe in Binnenhäfen mit Hochleistungs-Ladesta-tionen versorgt werden, was eine hohe Leistungsfähigkeit des Stromnetzes zum Hafen erfordert und möglicherweise zu längeren Liegezeiten führt. Dadurch verändern sich neben der Infrastruktur auch Aspekte der Sicherheit, der Betriebsabläufe und mögliche Geschäftsmodelle. Bestehende Be-bunkerungsanlagen müssen weiterhin für die heute vorhandene Flotte verfügbar bleiben.
Qualitativer Personal-bedarf	Insgesamt zeigt sich der quantitative Personalbedarf stagnierend bis rückläufig. Auf-grund des insgesamt gestiegenen technischen Fortschritts erhöht sich der qualitative Anspruch, insbesondere in den operativen Bereichen, leicht. Dieser Anspruch kann auch bedeuten, dass zusätzliche Aufgaben in bestehende Berufsbilder integriert werden. Klassische Hafenberufe bleiben weiterhin dominant, während hochqualifizierte neue Rollen nur punktuell und in größeren Binnenhäfen oder Hafenverbünden entstehen.
Wertschöpfungstiefe durch Integration und Auslagerung	Der marktliche Fokus auf preisgetriebene Massengut- und Containerverkehre begrenzt zusätzliche Wertschöpfungspotenziale in den Binnenhäfen. Insgesamt bleibt die Wert-schöpfungstiefe nur stabil oder nimmt in einigen Fällen sogar ab. Häfen bleiben damit überwiegend Umschlagorte, Lager- und Pufferflächen oder Abwicklungspunkte bereits Jahrzehnte etablierter Prozesse.
Verankerung von Innovationskultur in Binnenhäfen	Innovationsaktivitäten finden überwiegend im Rahmen befristeter Förderprojekte oder in einzelnen Häfen statt. Wenige Pilotprojekte bleiben aufgrund der scheinbar fehlen-den strategischen Gesamtperspektive meist isoliert und ohne kommerzielle Anschluss-fähigkeit. Die verhaltenen Markt- und Rahmenbedingungen führen dazu, dass Risiken gemieden werden oder Investitionen nur bei unmittelbarem wirtschaftlichem Druck erfolgen.

Projektionsbeschreibungen der Schlüsselfaktoren im Szenario 2

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Markt"	Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt	Die Binnenschifffahrt zeichnet sich im Vergleich der Verkehrsträger durch deutliche Kostenvorteile aus. Gleichzeitig müssen Transportkunden bei der Qualität von Dienstleistungen, d.h. Flexibilität, Zuverlässigkeit und Transparenz, Abstriche in Kauf nehmen.
	Eigner- und Betriebsstruktur	Das Angebot an Transportdienstleistungen wird von einigen größeren Akteuren bestimmt, welche aus Fusionen und Übernahmen etablierter Akteure hervorgegangen sind.
	Transportnetzwerke	Die durch die Binnenschifffahrt bedienten Transportnetzwerke weisen in ihren Nachfragestrukturen, d.h. sowohl in der Quantität als auch in der Qualität, nur eine geringe Dynamik auf.
	Schiffsgrößen und -typen	Die Binnenschifffahrtsflotte setzt sich in allen Frachtsegmenten vor allem aus größeren Einheiten zusammen, mit denen ökonomische Skaleneffekte bestmöglich ausgenutzt werden können. Gütermotor- und Tankschiffe unter CEMT-Klasse III sind fast ausschließlich außer Dienst gestellt worden. Gerade im Containersegment haben sich zudem spezialisierte Einheiten nach dem Vorbild der JOWI-Klasse etabliert, mit denen Transporte auf bis zu 5-Lagen durchgeführt werden können.
Fokusbereich "Technologie"	Antriebstechnik und Energiebedarfe	Insbesondere Neubauten sind mehrheitlich mit einem batterie-elektrischen Antrieb ausgerüstet. Während sich alternative Kraftstoffe und auch die containerisierten E-Antriebe nicht durchgesetzt haben. Ein relevanter Anteil konventionell betriebener Verbrennungsmotoren verbleibt weiterhin im Flotteneinsatz, insbesondere bei Bestandsfahrzeugen.
	Navigation	Die Navigation erfolgt weiterhin manuell durch einen Schiffsführer an Bord. Systeme mit Entscheidungsunterstützungsfunktion, wie z. B. Bahnführungsassistenzen haben sich durch hohe Kosten, aber geringen Mehrwert nicht durchgesetzt. Das Verkehrsmanagement erfolgt weitestgehend unter dem Paradigma der "Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs", aber weniger im Sinne einer logistischen Optimierung und idealen Ausnutzung des Wasserstraßennetzes
	Anlegen/Ablegen	Das Anlegen der meisten Schiffe erfolgt weiterhin manuell durch Personal an Bord; Teilweise wird in einigen Häfen Festmacherpersonal angeboten, um dem durch den Fachkräftemangel bedingten Personalmangel an Bord entgegenzuwirken.
	Schiffsseitige Kommunikationstechnik	Einheitliche Systeme für interpersonelle Kommunikation
	Zustandsüberwachung der Technik	Weitflächiger technologischer Fortschritt hat im Bereich der digitalen Zustandsüberwachung stattgefunden. So verfügt mittlerweile ein Großteil der Flotte über eine hohe Sensordichte und ermöglicht so die Erstellung eines digitalen Zwillings, welche zur Planung von Wartung- und Instandhaltungsmaßnahmen genutzt werden können.

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Rahmenbedingungen"	Gemeinsame Betrachtung: Regulatorik: Hafenumfeld &Regulatorik: Schiff	Die Regulatorik ist extensiv gestaltet und deckt alle wichtigen Bereiche der automatisierten Binnenschifffahrt (inkl. Häfen) ab. Dabei ist sie unterstützend ausgelegt, so dass Projekte nicht auf eingezäunte Testfelder angewiesen sind, sondern im Realbetrieb erprobt werden können.
	Förderung	Förderung in Binnenhäfen und in der Binnenschifffahrt wird für selektierte Themenbereiche der Branche gewährt und findet nicht systematisch statt. Zusätzlich wird ein überwiegender Teil der Bereiche nur mit kleinen Volumina gefördert. Es besteht die Gefahr, dass es ohne einen funktionierenden Business Case zu vielen isolierten Projekten und einzelnen Projekten mit überregionaler Strahlkraft kommt.
	Spillover-Effekte	Da Entwicklungssprünge in der Automatisierung auf breiter Front ausbleiben, ist die Binnenschifffahrt auf sich allein gestellt. Impulse bleiben aber aus, im Großen und Ganzen bleibt aber alles, wie es ist.
	Gemeinsame Betrachtung: Durchdringung der Digitalisierung & Durchdringung der Automatisierung	Die Weichen für umfassende Digitalisierung und Automatisierung sind von politischer Seite gestellt und es findet eine evolutionäre Entwicklung statt. Es hat sich noch kein Bewusstsein für eine allgemeine Notwendigkeit von Automatisierung eingestellt, so dass lediglich in einzelnen Anwendungsfällen Business Cases entstehen.
	Gemeinsame Betrachtung: Zustand der Wasserstraßen & Netzinfrastuktur an den Wasserstraßen	Die Wasserstraßen- und Netzinfrastuktur wird flächendeckend erhalten, jedoch ohne kapazitativen Ausbau. Damit ist eine verlässliche Grundversorgung gewährleistet, gleichzeitig bleiben strukturelle Anpassungen an neue Logistikbedarfe begrenzt.

Projektionsbeschreibungen der Lenkungs-faktoren im Szenario 2

Lenkungs-faktor	Projektionsbeschreibung
Bebunkerung und Bunkerausrüstung	Durch den Übergang von konventionellen flüssigen Treibstoffen wie Diesel zu einer batteriebasierten Elektroantriebstechnik in der Binnenschifffahrt verändert sich die Energiebereitstellung für die Neubauten. Statt schnellem Bunkern von Kraftstoffen in Tanks besteht die Möglichkeit, dass Schiffe in Binnenhäfen mit Hochleistungs-Ladestationen versorgt werden, was eine hohe Leistungsfähigkeit des Stromnetzes zum Hafen erfordert und möglicherweise zu längeren Liegezeiten führt. Dadurch verändern sich neben der Infrastruktur auch Aspekte der Sicherheit, der Betriebsabläufe und mögliche Geschäftsmodelle. Bestehende Bebunkerungsanlagen müssen weiterhin für die heute vorhandene Flotte verfügbar bleiben.
Qualitativer Personalbedarf	Aufgrund einer umfassenden Digitalisierung steigen qualitative Anforderungen an Binnenhäfen. Dies erfordert einerseits IT-affine operative Fachkräfte, andererseits aber auch Instandhaltungs- und Technikpersonal mit hohem Verständnis für Digitaltechnik. Gleichzeitig behalten klassische operative Rollen mit Schifffahrtsbezug eine Relevanz, da die Binnenschifffahrt weiterhin manuell organisiert ist und Erfahrung erfordert.
Wertschöpfungstiefe durch Integration und Auslagerung	Aufgrund der Fokussierung der Binnenschifffahrt auf preissensible Märkte sind die Binnenhäfen hinsichtlich physischer logistischer Aktivitäten in der Ausweitung ihrer Wertschöpfung begrenzt. Der hohe Digitalisierungsgrad der Branche eröffnet für größere Häfen die Chance nach geringfügiger Ausweitung digitaler Schifffahrtsleistungen, wie der digitalen Abwicklung von Hafenprozessen (Voranmeldung, elektronische Liegeplatzzuweisung, Slot-Management, digitale Dokumentation von Umschlag, Liegezeiten und Leistungen), Wartungskoordination, Lade- und Energiemanagement, Digitale CO2-berichte für Reedereien und Verloader.
Verankerung von Innovationskultur in Binnenhäfen	Innovationsaktivitäten haben in Binnenhäfen einen festen Platz, sind aber vor allem direkt wirtschaftlich begründet. Radikale Innovationen oder eine systemische Neuausrichtung finden hingegen nicht statt.

Projektionsbeschreibungen der Schlüsselfaktoren im Szenario 3

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Markt"	Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt	Die Binnenschifffahrt wird in relevanten Transportsegmenten als kostengünstige, zuverlässige und gleichzeitig anpassungsfähige Alternative angesehen.
	Eigner- und Betriebsstruktur	Das Angebot an Transportdienstleistungen wird von einigen größeren Akteuren bestimmt, welche aus Fusionen und Übernahmen etablierter Akteure hervorgegangen sind.
	Transportnetzwerke	Die durch die Binnenschifffahrt bedienten Transportnetzwerke weisen in ihren Nachfragestrukturen, d.h. sowohl in der Quantität als auch in der Qualität, nur eine geringe Dynamik auf.
	Schiffsgrößen und -typen	Die Binnenschifffahrtsflotte setzt sich in allen Frachtsegmenten vor allem aus größeren Einheiten zusammen, mit denen ökonomische Skaleneffekte bestmöglich ausgenutzt werden können. Gütermotor- und Tankschiffe unter CEMT-Klasse III sind fast ausschließlich außer Dienst gestellt worden. Gerade im Containersegment haben sich zudem spezialisierte Einheiten nach dem Vorbild der JOWI-Klasse etabliert, mit denen Transporte auf bis zu 5-Lagen durchgeführt werden können.
Fokusbereich "Technologie"	Antriebstechnik und Energiebedarfe	Hinsichtlich der Antriebstechnologien haben sich weitestgehend elektrische Antriebskonzepte durchgesetzt. Überwiegend wird dies durch containerisierte Akkukonzepte umgesetzt, welche während des Hafenaufenthaltes gewechselt werden, insbesondere bei Neubauten sind jedoch auch eingebaute Speichereinheiten zu beobachten. Verbrennerantriebe werden meist aufgrund von Bestandsschutz nur noch sehr vereinzelt eingesetzt.
	Navigation	Eine hoch automatisierte Navigation ohne die Notwendigkeit von Besatzung an Bord ist in der Güterschifffahrt zum Standard geworden. Der Schiffsbetrieb wird somit meist durch Remote Operations Centre überwacht, welche nur in Ausnahmefällen eingreifen.
	Anlegen/Ablegen	Da die Besatzung an Bord auf vielen Schiffen vollständig reduziert wurde, erfolgt das An- und Ablegen in den meisten Fällen vollautomatisch. Hierbei kommen sowohl bordseitige als auch landseitige Systeme zum Einsatz.
	Schiffsseitige Kommunikationstechnik	Der hohe Automatisierungsgrad hat dazu geführt, dass die Kommunikation zwischen Schiff und Land ausschließlich über Softwaresysteme und somit Machine-to-Machine erfolgt. Hierbei haben sich jedoch keine einheitlichen Standards durchgesetzt, sodass systemische Vielfalt besteht.
	Zustandsüberwachung der Technik	Das smarte Schiff ist zum Standard geworden. Sensorik und fortgeschrittene Systeme ermöglichen eine kontinuierliche Zustandsüberwachung für die meisten Bordsysteme. Einige Systemkomponenten ermöglichen hierbei bereits automatisierte Diagnosen und geben entsprechende Lösungsvorschläge.

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Rahmenbedingungen"	Gemeinsame Betrachtung: Regulatorik: Hafenumfeld &Regulatorik: Schiff	Regulatorik ist liberal und überschaubar formuliert. Es werden lediglich Richtungen vorgegeben, die dafür sorgen, dass in kurzer Zeit viele Ideen aufs Wasser gebracht werden können, um optimale Lösungen zu erproben.
	Förderung	Auf politischer Ebene wurde erkannt, welche Stellschrauben gedreht werden müssen, um die Binnenschifffahrt auf den Weg ins 22. Jahrhundert zu bringen. Fördermittel werden in großen Mengen zur Verfügung gestellt. Fördergeber habe die gesamte Branche im Blick setzten Fördermittel aber überwiegend gezielt ein, um der Industrie keine Anreize zu nehmen, selbst Lösungen zu entwickeln.
	Spillover-Effekte	Während andere Branchen noch Zurückhaltung üben, hat der Personalmangel in der Binnenschifffahrt bereits dazu geführt, dass vielfältige Anwendungsfälle im Alleingang entwickelt wurden, die nun darauf warten, auch in anderen Branchen Einzug zu erhalten.
	Gemeinsame Betrachtung: Durchdringung der Digitalisierung & Durchdringung der Automatisierung	Klare Digitalisierungsziele sorgen für eine hohe Innovationsgeschwindigkeit, die durch entsprechende Fördermittel weiter beschleunigt wird. Es ist klar, dass Digitalisierung ein wichtiger Pfeiler für die weitere Entwicklung ist und Automatisierung das "nächste große Ding" sein könnte: es bestehe einzelne erfolgreiche Business Cases vor allem in der Logistik, ein gesamtheitlicher Einsatz ist allerdings (noch) nicht notwendig.
	Gemeinsame Betrachtung: Zustand der Wasserstraßen & Netzinfrastruktur an den Wasserstraßen	Der Investitionsstau wird im gesamten Wasserstraßensystem aufgelöst, auch Ausbauvorhaben werden dabei umgesetzt. Zugleich wird die Netzinfrastruktur entlang der Wasserstraßen flächendeckend auf den neusten Standard gehoben.

Projektionsbeschreibungen der Lenkungs-faktoren im Szenario 3

Lenkungs-faktor	Projektionsbeschreibung
Ko-Nutzung von An-legestellen	Da große, unbemannte Einheiten dominieren, die autonome An- und Ablegemanöver, modulare Energieaustausche sowie Machine-to-Machine-Kommunikation erfordern, eignen sich Anlegestellen besonders für eine Dedizierung an automatisierte Binnenschiffe. Dadurch lässt sich die Infrastruktur, wie Sensoren, automatisierte Festmacher oder Batteriewechsel-Systeme, optimal auf diese ausrichten, ohne dass es zu Störungen durch selten vorkommende konventionelle Schiffe kommt. Dies ist vor allem in größeren Häfen mit vielen Anlegestellen machbar. Mischformen werden jedoch wahrscheinlich bleiben, insbesondere in kleineren Binnenhäfen, in denen der Bestandsschutz für einzelne Schiffe mit Verbrennungsmotor eine Koexistenz erzwingt. Dedizierte Liegeplätze erfordern zwar Anpassungen und Investitionen, steigern aber die Effizienz. Mischformen erhöhen hingegen die Komplexität bei der Koordination und in den Prozessen, zum Beispiel beim Bunkern oder Festmachen, erlauben aber Übergangsphasen mit geringeren Umbauten.
Eingesetztes Festma-cherequipment	Die weitreichende Automatisierung großer Binnenschiffe führt in Teilen zu Lösungen, die bedeutende Investitionen an den Anlegestellen nach sich ziehen. Die landseitige Infrastruktur muss die Kräfte aufnehmen, die von festgemachten großen Binnenschiffen ausgehen. Hierbei kommen neuartige Konzepte zum Einsatz, die sich von früheren Lösungen im relevanten Umfang unterscheiden. Neben den landseitigen infrastrukturellen Änderungen wird auch eine hafenseitige digitaler Unterstützung eingesetzt, um die Prozesse hinreichend weiterzuentwickeln.
Bebunkerung und Bunkeraus-rüstung	Die geänderten Antriebskonzepte und Energiebereitstellungsformen der Binnenschiffe führen zu einer veränderten Bebunkerung. Zwar haben sich elektrische Antriebskonzepte flächendeckend durchgesetzt, jedoch kommen hierbei verschiedene Systeme zum Einsatz. Das bedeutet, dass an einem Standort mehrere Möglichkeiten zum Laden des Schiffs in Abhängigkeit zu dessen bordseitigem System vorgehalten werden müssen. Einerseits sind dies Hochleistungs-Ladestationen mit den Folgeerscheinungen längere Liegezeiten und hohe elektrische Netzlasten, andererseits sind es bei modularen Wech-selssystemen Lagerflächen für zu ladende, ladende bzw. geladene Container. Bereits vorhandene Umschlagssysteme könnten für das Handling der Batteriecontainer genutzt werden. Für die Ladeleistung der Container könnte die für das Direktladen bereitgestellte elektrische Leistung genutzt werden. PV-Anlagen oder Ähnliches könnten hierbei unterstützen. In beiden Fällen ändern sich Aspekte der Sicherheit, der Betriebs-abläufe und mögliche Geschäftsmodelle.
Digitale Abbildung des Hafens (für die Interaktion mit dem Schiff)	In den Binnenhäfen entsteht eine hochgradig integrierte digitale Abbildung der Hafen-infrastruktur. Diese ermöglicht eine nahtlose Interaktion zwischen automatisierten Schiffen und Hafenanlagen. Sensorik, Kameras, Beacons und Kommunikationsmodule sind flächendeckend miteinander vernetzt. Dadurch fließen Echtzeitdaten zur Position, Geschwindigkeit, Energieversorgung und den Umgebungsbedingungen kontinuierlich in ein zentrales Hafenmanagementsystem ein. Ein digitaler Zwilling dieser Art erlaubt präzise Navigation, automatisiertes An- und Ablegen sowie optimierte Liegeplatz- und Ladeplanung. Gleichzeitig entstehen umfassende Datenbestände, die mittels KI-Verfahren ausgewertet werden, um Prozesse zu prognostizieren und Störungen frühzeitig zu erkennen. Dadurch wandelt sich die Infrastruktur von einer passiven Umschlagstelle zu einer aktiv interagierenden Systemkomponente. Hardwareseitig erfordert dies hoch-leistungsfähige Kommunikationsnetze, standardisierte Schnittstellen und redundante Datenplattformen, um eine digitale, sichere und effiziente Schiffssteuerung dauerhaft zu gewährleisten.

Qualitativer Personal-bedarf	Der quantitative Personalbedarf nimmt insbesondere im Bereich der klassischen Um-schlagsaktivitäten ab, während sich die qualitativen Anforderungen verändern. Da in der Schifffahrt Aufgaben hin zu landseitigen Steuerungs-, Überwachungs- und Servicefunk-tionen verlagert werden, ergibt sich insbesondere in größeren oder zentral gelegenen Häfen potenziell ein Bedarf an Remote Operation bzw. Leitstandarbeit. Dies umfasst sowohl schiffstechnische als auch nautische Expertise. Um die hierfür notwendigen Systeme betreiben zu können, muss Know-How im Bereich des IT- und OT-System-betrieb vorgehalten werden. Darüber erfahren bestehende Jobprofile über Weiter- und Fortbildung eine evolutionäre Entwicklung.
Netzinfrast-ruktur (Binnenhäfen)	Der hochautomatisierte Schiffbetrieb erfordert hochverfügbare, redundante und perfor-mante Netzinfrast-ruktur. Die flächendeckende Modernisierung an den Wasserstraßen hat auch in den Häfen Einzug gehalten. Die Netzinfrast-ruktur wird damit vom unter-stützenden Element zu einem zentralen Produktionsfaktor für Häfen. Da Binnenhäfen kritische Infrastruktur darstellen, wird Cybersicherheit zunehmend zur Pflicht: KRITIS-Dachgesetz und die NIS-2-Richtlinie verlangen klare Schutzmaßnahmen.
Wertschöpfungs-tiefe durch Integration und Auslagerung	Die technologische und marktseitige Entwicklung der Binnenschifffahrt hat für die Binnenhäfen neue Wertschöpfungsmodelle eröffnet. Dies betrifft sowohl energie- und antriebsbezogene Aspekte (Lade- und Tauschstandorte für Energiespeicher, Betrieb von Pufferspeichern, Micro Grids, Abrechnung und Optimierung von Energieflüssen), Technische Services (Durchführung von Wartungsmaßnahmen, Systemupdates, Hardwaretausch zunehmend in den Häfen), Operative Steuerung und Systemdienstleis-tungen (Remote Operations Services wie Flottenüberwachung, Störungsmanagement, expeditionelle Aufgaben). Durch diese neuen Aktivitäten verdichtet sich die Branche und es kommt verstärkt zu Kooperationen mit OEMs, Softwareanbietern und Energieunter-nehmen.
Verankerung von Innovationskultur in Binnenhäfen	Die Innovationskultur ist strategisch verankert und drückt sich in einer veränderten unternehmerischen Grundhaltung und ausgeprägten Integrationsbemühungen aus. Mit neu entstehenden Geschäftsbereichen und schneller Skalierung erfolgreicher Pilotie-rungen positionieren sich Binnenhäfen als Innovationstreiber über die Binnenschifffahrt hinaus.

Projektionsbeschreibungen der Schlüsselfaktoren im Szenario 4

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Markt"	Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt	Durchweg hohes Niveau der Dienstleistungen in der Binnenschifffahrt; teils preiswert verfügbar, teils nur für zahlungsbereiten Kundenkreis
	Eigner- und Betriebsstruktur	Der Markt ist geprägt neuen Markteintritten; teils in hartem, kleinteiligem Wettbewerb, teils gut arrangiert in den oligopolartigen Strukturen von Teilmärkten
	Transportnetzwerke	Systeme des BiSchi-Transports werden komplett neu gedacht. Die Beförderung von Containern wie sie in der BiSchi heute erfolgt wird nach wie vor nachgefragt und seitens der Anbieter um innovative Konzepte und Lösungen erweitert. Zugleich agiert die BiSchi in einem komplett neuen (containerisierten) Marktsegment, das sich durch dynamische Anforderungen auszeichnet, die kreative Lösungen erfordern
	Schiffsgrößen und -typen	Insbesondere im Bereich der Containertransporte ist der Betrieb größerer Einheiten fast vollkommen zum Erliegen gekommen. Stattdessen hat sich eine Flotte kleiner als CEMT-Klasse III und für den Containertransport spezialisierten Schiffe etabliert.
Fokusbereich "Technologie"	Antriebstechnik und Energiebedarfe	Es werden vorwiegend nachhaltige, Antriebskonzepte eingesetzt, bei denen die Energieversorgung über flexibler und modularer Wechselsysteme gewährleistet wird.
	Navigation	Eine hoch automatisierte Navigation ohne die Notwendigkeit von Besatzung an Bord ist in der Güterschifffahrt zum Standard geworden. Der Schiffsbetrieb wird somit meist durch Remote Operations Centre überwacht, welche nur in Ausnahmefällen eingreifen.
	Anlegen/Ablegen	Da die Besatzung an Bord auf vielen Schiffen vollständig reduziert wurde, erfolgt das An- und Ablegen in den meisten Fällen vollautomatisch. Hierbei kommen vor allem bordseitige Systeme zum Einsatz, welche einen flexiblen und weitestgehend von der vorherrschenden Infrastruktur unabhängigen Einsatz der Schiffe ermöglichen.
	Schiffsseitige Kommunikationstechnik	Der hohe Automatisierungsgrad hat dazu geführt, dass die Kommunikation zwischen Schiff und Land ausschließlich über Softwaresysteme und somit Machine-to-Machine erfolgt. Hierbei haben sich jedoch keine einheitlichen Standards durchgesetzt, sodass systemische Vielfalt besteht.
	Zustandsüberwachung der Technik	Der intelligente digitale Zwilling ist zum Standard geworden. Eine hohe Sensordichte und fortgeschrittene Systeme ermöglichen eine eigenständige Zustandsüberwachung und vorausschauende Planung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten im Hafen.

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Rahmenbedingungen"	Gemeinsame Betrachtung: Regulatorik: Hafenumfeld &Regulatorik: Schiff	Regulatorik ist liberal und überschaubar formuliert. Es werden lediglich Richtungen vorgegeben, die dafür sorgen, dass in kurzer Zeit viele Ideen aufs Wasser gebracht werden können, um optimale Lösungen zu erproben.
	Förderung	Auf politischer Ebene wurde erkannt, welche Stellschrauben gedreht werden müssen, um die Binnenschifffahrt auf den Weg ins 22. Jahrhundert zu bringen. Fördermittel werden in großen Mengen zur Verfügung gestellt. Fördergeber balancieren die Förderung, um Planungssicherheit zu gewähren, und gleichzeitig keine Anreize zu nehmen, in der Industrie eigene Lösungen zu entwickeln
	Spillover-Effekte	Die Bevölkerungsentwicklung hat dazu geführt, dass Automatisierung mittlerweile in allen Branchen angekommen ist. Förderung und liberale Regulatorik haben zu einem hohen Entwicklungsstand in allen Branchen geführt, die sich über Spillovereffekte gegenseitig immer weiter befruchten.
	Gemeinsame Betrachtung: Durchdringung der Digitalisierung & Durchdringung der Automatisierung	Es hat sich frühzeitig abgezeichnet, dass Digitalisierung & Automatisierung notwendige Maßnahmen sind, dem demografischen Wandel und der wirtschaftlichen Entwicklung zu begegnen. Die zunehmende Verbreitung von Chatbots ab den 2020ern führte zu einem Abbau von Ressentiments gegenüber computergesteuerten Systemen und Automatisierung, so dass der Standort eine aktive Rolle bei der zukünftigen Gestaltung von Automatisierung einnehmen kann.
	Gemeinsame Betrachtung: Zustand der Wasserstraßen & Netzinfrastruktur an den Wasserstraßen	Grundsätzlich werden im gesamten Netz Maßnahmen zum Erhalt betrieben, teils können aber auch Ausbauprojekte realisiert werden (Reaktivierung von Wasserstraßen für die Güterschifffahrt). Zugleich wird die Netzinfrastruktur entlang der Wasserstraßen flächendeckend auf den neusten Standard gehoben.

Projektionsbeschreibungen der Lenkungs-faktoren im Szenario 4

Lenkungs-faktor	Projektionsbeschreibung
Ko-Nutzung von An-lege-stellen	Hochautomatisierte Binnenschiffe mit bordseitigen An- und Ablegesystemen können auch an einfachen oder temporären Anlegestellen ohne umfangreiche landseitige Infra-struktur operieren. Aus diesem Grund sind Mischformen bei Anlegeplätzen Standard. Dedizierte Plätze für automatisierte Schiffe sind somit nicht erforderlich.
Eingesetztes Festma-cher-equipment	Die Situation mit unbemannten, hochautomatisierten kleinen Containerschiffen redu-ziert den Bedarf an zusätzlichem Festmacherequipment in Binnenhäfen. Bordseitige Systeme können das präzise Andocken und automatische Festmachen übernehmen, wodurch die Bedeutung der landseitigen Infrastruktur sinken kann. Allerdings kann es landseitig zu digitaler Unterstützung kommen, da die Schiffe unabhängig von der spezi-fischen Kaianlageninfrastruktur operieren. Für Binnenhäfen sind daher nur begrenzt Investitionen erforderlich, da bestehende Anlegestellen ohne Umbau genutzt werden können.
Bebunkerung und Bunkeraus-rüstung	Der Umstieg von konventionellen, flüssigen Treibstoffen wie Diesel auf in Containern gespeicherte Energie in Form von elektrischem Strom oder Wasserstoff und deren Substitute (zum Beispiel Ammoniak oder Methanol) erfordert andere Rahmenbedingun-gen für den Treibstofftransfer. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an die Hafen-infrastruktur, die Sicherheit und die Betriebsabläufe. Das bedeutet unter anderem, dass Binnenhäfen dedizierte Lagerflächen für zu ladende, ladende bzw. geladene Container vorhalten müssen. Bereits vorhandene Umschlagssysteme könnten für das Handling der Container genutzt werden. Für das elektrische Laden der Container müsste der Netzanschluss im Mittel- oder Hochspannungsbereich erweitert werden. PV-Anlagen oder Ähnliches könnten dabei unterstützen und die Netzbelastung mindern. Für die anderen Energieträger könnten externe Dienstleister eingesetzt werden oder es könnte eine passende Infrastruktur mit dem notwendigen Anschluss und Zulauf auf dem Ha-fengelände entstehen.
Digitale Abbildung des Hafens (für die Interaktion mit dem Schiff)	Die digitale Abbildung des Hafens schreitet deutlich voran, um die Interaktion mit auto-nomen Schiffen zu ermöglichen. Auch wenn technologisch der Schwerpunkt auf bord-seitige Systeme liegt, können Häfen Hardware wie Kameras oder Lasermesstechnik ausbauen, um präzise Ortung und Navigation im Hafenbecken sowie an Liegeplätzen zu gewährleisten. Der datenseitige Bestand wie beispielsweise HD-Maps und digitale Zwillinge sind jedoch von tragender Bedeutung. Sie bilden dynamischen, hochauflö-senden Repräsentationen mit Echtzeit-Sensordaten, die Schiffe direkt nutzen können. Diese Daten werden standardisiert bereitgestellt, unterstützen bordseitige Systeme bei der Positionsbestimmung und Kollisionsvermeidung und reduzieren Abhängigkeit von Personal.
Remote Operations Centre	Das Remote Operations Center übernimmt eine zentrale, jedoch zurückhaltende Rolle als übergeordneter Flottenkoordinator. Es überwacht kontinuierlich Echtzeitdaten aus digitalen Zwillingen mit hoher Sensordichte, um dynamische Dispositionen für bedarfs-gesteuerte Transporte zu optimieren. Im Routinebetrieb greift das ROC nur minimal ein, da die bordseitigen Systeme die Navigation oder das Anlegen autonom handhaben. In Ausnahmefällen, wie unvorhergesehenen Störungen, Extremwetterereignissen oder außergewöhnlichen Situationen greift es fernsteuernd ein. Dank liberaler Regulatorik und Förderungen tragen ROCs zur Reduzierung des Personalbedarfs bei und steigern das Serviceniveau für flexible, hochfrequente Einsätze. Sie fungieren als Drehscheibe für multimodale Netzwerke, sichern die Zuverlässigkeit und ermöglichen Wettbewerbs-vorteile in heterogenen Märkten.

Qualitativer Personal-bedarf	Durch neue Marktsegmente nimmt zwar grundsätzlich die operative Komplexität für Häfen zu, gleichzeitig verlieren allerdings klassisch manuelle Hafenarbeiten durch kleine Einheiten, automatisiertes An- und Ablegen oder schiffsseitiges Be- und entladen an Bedeutung. Neue Personalbedarfe entstehen in wissens- und koordinationsinten-siven Bereichen, wie der IT- und OT-Betreuung sowie Unterstützungsfunktionen für die Schifffahrt.
Netzinfrast-ruktur (Binnenhäfen)	Der hochautomatisierte Schiffbetrieb erfordert hochverfügbare, redundante und performante Netzinfrast-ruktur mit entsprechenden Standards im Bereich der Cyber-sicherheit. Die flächendeckende Modernisierung an den Wasserstraßen hat auch in den Häfen Einzug gehalten. Da einheitliche Standards teilweise fehlen, stehen Häfen vor der Herausforderung, Interoperabilität herzustellen sowie Integrationslösungen/Middleware betreiben. Da Schiffe zunehmend auch an einfachen Anlegestellen oder temporären Umschlagspunkten operieren, erweitern sich die „klassischen“ Grenzen der Hafeninfra-struktur.
Wertschöpfungs-tiefe durch Integration und Auslagerung	Die Wertschöpfungslogik verändert sich fundamental, da die Binnenschifffahrt segmen-tierter und fragmentierter wird und andererseits originäre Aufgaben abnehmen. Neue Geschäftsaktivitäten betreffen beispielsweise energie- und antriebsbezogene Dienst-leistungen (Laden- und Tauschstandorte für Energiespeicher, Betrieb von Pufferspei-chern, Micro Grids, Abrechnung und Optimierung von Energieflüssen) oder Technische Services (Durchführung von Wartungsmaßnahmen, Systemupdates, Hardwaretausch zunehmend in den Häfen). Letzteres ist insbesondere dadurch getrieben, dass die Flotte durch eine Vielzahl kleiner Einheiten gewachsen ist, und sich der Wartungs- und Servicebedarf insgesamt erhöht hat. In diesem Zuge bieten einige Häfen auch die ope-rativen Angebote wie Remote Operation Services in Form eines Flottenmanagements an. Nichtsdestotrotz bieten sich auch logistische Integrationsmöglichkeiten. Durch neue Transportsegmente (urban, zeitkritische Ladung, integrierte Lösungen) steigt der Bedarf an logistischer Steuerung, Sendungskonsolidierungen oder dynamischer Allo-kation von Kapazitäten. Auch die logistische Expertise für den Aufbau und die Nutzung temporärer Umschlagspunkte ist gefragt. Hierdurch schaffen es einige Häfen, sich als logistische Orchestratoren zu positionieren und die Dynamik des Transportgeschäftes zu ihrem Vorteil zu nutzen.
Verankerung von Innovationskultur in Binnenhäfen	Aus der Notwendigkeit heraus, sich in einem grundlegend veränderten Umfeld zu behaupten, ist Innovationsfähigkeit in den Binnenhäfen eine wichtige Eigenschaft um sich im Wettbewerb um neue Rollen und Dienstleistungen zu behaupten. Erfolgreiche Binnenhäfen schaffen es, sich diese Fähigkeit zu eigen zu machen, um bestehenden Geschäftsmodelle neu zu erfinden.

Projektionsbeschreibungen der Schlüsselfaktoren im Szenario 5

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Markt"	Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt	Überwiegend Transportleistungen von hoher Qualität mit entsprechender Bepreisung (für kleinen Kundenkreis); in Teilen aber auch günstige Dienstleistungen mit Abstrichen im Service
	Eigner- und Betriebsstruktur	Geprägt von kleinen Akteuren (kaum Konzentration, Partikuliere), größtenteils traditionelle Player, aber auch neue Herausforderer
	Transportnetzwerke	Größtenteils wird dynamischen Anforderungen mit den etablierten Netzstrukturen begegnet; in Teilmärkten sind auch neue Angebote für klassische BiSchi-Güter vorhanden
	Schiffsgrößen und -typen	Der Betrieb größerer Einheiten ist in allen Ladungssegmenten fast vollkommen zum Erliegen gekommen. Stattdessen hat sich eine erhebliche Flotte kleiner als CEMT-Klasse III Schiffe etabliert.
Fokusbereich "Technologie"	Antriebstechnik und Energiebedarfe	Hinsichtlich der Antriebstechnologien haben sich weitestgehend elektrische Antriebkonzepte durchgesetzt. Überwiegend wird dies durch fest eingebaute Akkukonzepte umgesetzt, wobei vereinzelt auch Einheiten mit wechselbaren Containerakkus zu beobachten sind. Verbrennerantriebe werden meist aufgrund von Bestandsschutz nur noch sehr vereinzelt eingesetzt.
	Navigation	Eine hoch automatisierte Navigation wird zwar durch einige Akteure erfolgreich praktiziert ist jedoch längst kein Standard. Egal ob mit Unterstützung durch ein Remote Operations Centre oder ohne, nautisches Personal an Bord ist auf den meisten Schiffen weiterhin üblich.
	Anlegen/Ablegen	Der durch den Fachkräftemangel bedingten Personalmangel an Bord hat dazu geführt, dass das Anlegen - nach Vorbild der Seeschifffahrt - durch Festmacherpersonal in den Häfen durchgeführt wird.
	Schiffsseitige Kommunikationstechnik	Die Kommunikation zwischen dem Schiff und den relevanten Schleusen- und Verkehrszentralen, den Häfen und der angeschlossenen Landorganisation erfolgt sowohl auf über menschliche Sprache als auch automatisiert zwischen den eingesetzten Systemen. Der hohe Standardisierungsgrad hat dazu beigetragen, dass die Integration neuer Systeme meist kostengünstig erfolgen kann.
	Zustandsüberwachung der Technik	Weitflächiger technologischer Fortschritt hat im Bereich der digitalen Zustandsüberwachung stattgefunden. So verfügt mittlerweile ein Großteil der Flotte über eine hohe Sensordichte und ermöglicht so die Erstellung eines digitalen Zwillings, welche zur Planung von Wartung- und Instandhaltungsmaßnahmen genutzt werden können.

Umfeldbereich	Schlüsselfaktor	Projektionsbeschreibung
Fokusbereich "Rahmenbedingungen"	Gemeinsame Betrachtung: Regulatorik: Hafenumfeld &Regulatorik: Schiff	Die Regulatorik ist knapp und restriktiv ausgelegt, so dass potenzielle Entwicklungen in einem unsicheren Raum entstehen müssten. Mangelndes Interesse an einer Änderung führt zu fehlenden Entwicklungsperspektiven.
	Förderung	Fördermittel werden in geringen Mengen aufgesetzt. Ein Teil der Fördermittel wird in selektierte Bereiche gesteckt ein anderer wird auf viele verschiedene Themen verteilt. Es besteht eine zerstückelte Projektlandschaft, in der einzelne Projekte leuchtturmartig aus kleinen Clustern herausstechen und nicht an diese anschließen können.
	Spillover-Effekte	Viele Branchen setzen mittlerweile auf höhere Technologien, weil es sich nicht mehr vermeiden lässt. Übertragbar auf die Binnenschifffahrt ist davon kaum etwas, so dass die Branche im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern langsam abgehängt wird.
	Gemeinsame Betrachtung: Durchdringung der Digitalisierung & Durchdringung der Automatisierung	Die Notwendigkeit für Automatisierung ist da. Aufgrund der Ereignisse der Vergangenheit (z.B. Wahlkampfmanipulation durch KI, Hackerangriffe auf Rechenzentren, fehlerhaft programmierte Drohnen) bestehen starke Vorbehalte gegenüber Automatisierung, die zu einem Beharren auf tradierte Methoden führt. Automatisierung geschieht eher aus Zwang, wo es sich nicht mehr vermeiden lässt. Überregulierung sorgt zudem dafür, dass eine hohe Innovationsgeschwindigkeit im Bereich der Digitalisierung in vielen Anwendungen nicht genutzt werden kann.
	Gemeinsame Betrachtung: Zustand der Wasserstraßen & Netzinfrastruktur an den Wasserstraßen	Der Schwerpunkt liegt auf dem Erhalt der Korridore mit dem höchsten Transportaufkommen, Nebenstrecken werden vernachlässigt. Auf den Hauptstrecken werden sogar teilweise kapazitative Erweiterungen vorgenommen. Auch die Netzinfrastruktur fokussiert sich auf ausgewählte Strecken, hier wird dafür jedoch neuster technischer Standard bereitgestellt.

Projektionsbeschreibungen der Lenkungs-faktoren im Szenario 5

Lenkungs-faktor	Projektionsbeschreibung
Bebunkerung und Bunkeraus-rüstung	Die geänderten Antriebskonzepte und Energiebereitstellungsformen der Binnenschiffe führen zu einer veränderten Bebunkerung. Zwar haben sich elektrische Antriebskonzepte flächendeckend durchgesetzt, jedoch kommen hierbei verschiedene Systeme zum Einsatz. Fest installierte Akkusysteme sind die vorherrschende Lösung. Das bedeutet, dass an einigen Standorten mehrere Lademöglichkeiten in Abhängigkeit zum bord-seitigen System des Schiffs vorgehalten werden müssen. Ein nicht unerheblicher Teil der Standorte hält jedoch nur direkte Ladestationen vor. Mit diesen gehen die typischen Folgeerscheinungen wie längere Liegezeiten und hohe elektrische Netzlasten einher. Standorte für modulare Wechselsysteme halten zusätzlich Lagerflächen für zu ladende, ladende bzw. geladene Container bereit. Bereits vorhandene Umschlagssysteme könnten für das Handling der Batteriecontainer genutzt werden. Für die Ladeleistung der Container könnte die für das Direktladen bereitgestellte elektrische Leistung genutzt werden. PV-Anlagen oder Ähnliches könnten hierbei unterstützen. In beiden Fällen ändern sich Aspekte der Sicherheit, der Betriebsabläufe und mögliche Geschäftsmodelle.
Digitale Abbildung des Hafens (für die Interaktion mit dem Schiff)	Die unkoordinierte technologische Entwicklung und die fragmentierten Marktstrukturen führen dazu, dass eine konsistente digitale Abbildung der Binnenhäfen nicht möglich ist. Zwar liefern Kameras, Beacons und Sensorik umfangreiche Daten für Ortung und Navigation, doch bleiben diese oft in isolierten Insellösungen ohne einheitliche Standards oder flächendeckende Implementierung, da Investitionen vor allem auf Hauptkorridore konzentriert werden. Der dadurch entstehende proprietäre Datensatz, etwa bei HD-Maps, BIM-Modellen oder Echtzeit-Sensorfeeds, erschwert die Interoperabilität und präzise automatisierte Schiffsnavigation. Zwar fördern digitale Zwillinge und Flottensensorik lokale Automatisierung und Wartung, jedoch fehlen eine übergreifende Systemlogik, regulatorische Leitlinien und eine belastbare Netz- und Dateninfrastruktur. Ungleich verteilte Investitionen begünstigen Hauptkorridore, während andere Binnenhäfen bei Hardware, Ladeinfrastruktur für elektrische Antriebe und Datenplattformen zurückfallen. Dies schwächt die Navigation und operative Koordination insgesamt. Insgesamt verharrt die digitale Hafenrepräsentation somit in einem Zwischenzustand, der autonome Schiffsinteraktionen nur punktuell ermöglicht und die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenhäfen schwächt.
Remote Operations Centre	In der fragmentierten Binnenschifffahrt wirken Remote Operations Centres (ROCs) als zentrale Kompensations- und Koordinationsinstanz für die unterschiedlichen Ansätze sowie für den geringen Anteil an Binnenschiffen mit nicht herkömmlicher Navigation. Sie verbinden punktuelle Automatisierungseinseln, indem sie die Fernüberwachung und -steuerung dieser Binnenschiffe übernehmen. Trotz fehlender Gesamtarchitektur integrieren sie sensorbasierte Daten aus heterogenen Quellen, um Ansätze von Echtzeit-Situationsbildern für eine präzise Navigation, das An- und Ablegen sowie die Zustandsüberwachung zu erzeugen. Als landbasierte Zentren federn sie den Fachkräftemangel teilweise ab und ergänzen reduzierte Bordbesatzungen durch Fernassistenz. Die ROCs können die Daten der Zustandsüberwachung der betreffenden, damit ausgestatteten Binnenschiffe für eine vorausschauende Wartung und Routenoptimierung nutzen. Sie skalieren Pilotprojekte, fördern Interoperabilität und stabilisieren die Hafen-Schiff-Interaktion. Dadurch unterstützen sie den Übergang zu höherer Automatisierung.

Fest-/Losmachen im Hafen	Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze für den technischen Fortschritt von Binnenschiffen werden auch weiterhin Festmacherleinen und Poller zum Fixieren von Binnenschiffen eingesetzt. Jedoch steigt mit reduzierter Besatzung die Abhängigkeit vom Hafenpersonal, da die Aufgabe teilweise vom Schiff auf den Hafen übergeht. Auf die Binnenhäfen wirkt daher mitunter ein Investitionsdruck, um diese Aufgabe in Mischbetrieben mit moderneren Schiffen effizienter zu lösen. Durch diverse Insellösungen und fehlende Standardisierung drohen hier jedoch Ineffizienzen.
Qualitativer Personalbedarf	Der Personalmangel in der Binnenschifffahrt verlagert Aufgaben zunehmend in die Häfen. Dies betrifft beispielsweise Unterstützung bei An- und Ablegevorgängen, die nun quantitativ als auch qualitativ durch die Häfen abgebildet werden müssen. Auch der Umgang mit digitalen Assistenzsystemen erhöht tendenziell die inhaltlichen Anforderungen an das Personal. Dass die technologische Entwicklung der Binnenschifffahrt wenig einheitlich verläuft, erschwert eine strategische Qualifikationsentwicklung in der Branche.
Netzinfrastruktur (Binnenhäfen)	Häfen müssen mit hybriden Kommunikationsformen und unterschiedlichen Systemstandards umgehen. Während einige Häfen, die hochautomatisierte Schiffseinheiten abfertigen, eine technologisch hoch entwickelte Netzinfrastruktur aufgebaut haben, lohnen entsprechende Investitionen bei konventionellem Schiffsbetrieb kaum. Es entsteht ein „Zwei-Klassen-System“ unter den Binnenhäfen.
Wertschöpfungstiefe durch Integration und Auslagerung	Aufgrund der Verlagerung einiger schiffsseitiger Funktionen auf die Langseite nehmen Binnenhäfen in der Systemsicht vor allem eine Ersatz- und Ausgleichsfunktion ein. Dies betrifft insbesondere das arbeitsintensive Angebot an Festmacher- und Unterstützungsdiensten, die betriebsnotwendig, aber wertschöpfungsschwach bleiben. Einigen Häfen gelingt es darüber hinaus, sich als Koordinationspunkte zwischen Flottenbetreibern, Werften und Technologiedienstleistern zu etablieren.
Verankerung von Innovationskultur in Binnenhäfen	Innovation entsteht vor allem unter Zwang und zur Sicherung der Betriebsfähigkeit, rührt aber weniger aus strategischem Gestaltungswillen. Fördermittel und Projekte führen zu einzelnen Leuchtturmprojekten, welche nur geringe Anschlussfähigkeit oder Skalierbarkeit besitzen. Auch der regulatorische Rahmen dämpft das Innovationsverhalten der Branche.

Vorgutachten Projekt RAIN - Rechtliche Rahmenbedingungen und Standards

Rechtsanwalt *Martin Hoffmann*¹

A. Einleitung

Der Einsatz von Automatisierungstechnologien in der Binnenschifffahrt und im Binnenhafenumfeld, vor allem während des Umschlags von Schiffen und insbesondere den nach- und vorgelagerten logistischen nautischen Abläufen, wird viele Prozesse und deren Komponenten verändern. Die Realisierung automatisierter Binnenschiffe fordert das nationale und internationale Gefüge der Gesetze und Normen. Um Anforderungen zu skizzieren und eine Technologiefolgenabschätzung für juristische sowie technische Regulierung und Normierung zu erarbeiten, werden nachfolgend verschiedene Szenarien im Hafenumfeld einer schwerpunktbezogenen, rechtlichen Prüfung unterzogen.

Binnenschifffahrtsrecht und Binnenhafenrecht sind ein weites Feld unterschiedlichster juristischer Aspekte, denen sich die verschiedenen Adressaten zudem aus unterschiedlichsten Perspektiven annähern. Hafenbetreiber, Schiffer und Flottenbetreiber sind nur wenige der vielen Akteure, die im Hafenumfeld adressiert sind. Nachstehend werden daher zunächst Definitionen eingeführt und Sachverhalte sowie Rechtsgebiete dargestellt, bevor der Einsatz von Automatisierungstechnologien rechtlich untersucht wird.

I. Terminologie und Beschreibung des Untersuchungsgegenstands

In Anbetracht des weiten Felds an Aspekten, welche die Automatisierung tradierter Verkehrsträger mit sich bringt, ist die Standardisierung des Sprachgebrauchs und die Beschreibung von Untersuchungsgegenständen (auch als „Sachverhalt“ bezeichnet) von besonderer – und zu oft unterschätzter – Bedeutung, da soziale Medien, das Nebeneinander vieler innovativer Konzepte und die Allgegenwärtigkeit der Thematisierung der „Künstlichen Intelligenz“ zu Missverständnissen führt und dabei Vorbehalte sowie Trugschlüsse fördert.

1. Hafen, Hafenrecht und Binnenschifffahrtsrecht

Nach allgemeinem Sprachgebrauch ist ein Hafen ein natürlicher oder künstlich angelegter Anker- und Liegeplatz für Schiffe, der mit Einrichtungen zum Abfertigen von Passagieren und Frachtgut ausgestattet ist.² Das in Häfen anwendbare Recht, kurz Hafenrecht, ist vielgestaltiger Natur, was dem tatsächlichen Umstand der multimodalen Verkehre und mannigfaltigen Tätigkeiten, die in einem Hafen stattfinden, Rechnung trägt. Wie das Binnenschifffahrtsrecht ist des Hafenrecht eine Sammlung aller Rechtsmaterien, die Sachverhalte im Hafen betreffen. Insofern

bestehen weitreichende Überschneidungen, da auf Hafengewässern Schifffahrt stattfindet und Binnenhäfen notwendige Teile der Beförderungen zu Binnenschiff sind.

2. Themensetzung und -führung

Somit entspringen rechtliche Folgen der Anwendung innovativer Automationstechnologien verschiedensten Rechtsmaterien und lassen sich entlang des Lebenszyklus einer solchen Technologie nachvollziehen. Rechtliche Fragestellungen, die die Einführung von Automatisierungstechnologien in der Binnenschifffahrt und im Binnenhafenumfeld auf Binnenschiffen und in Hafenanlagen betreffen, treten bereits ab der Erstellung bzw. der Inverkehrgabe der Technologie auf. Letztere Sachverhalte werden regelmäßig im Rahmen einer Zulassung oder Genehmigung und damit durch eine regulative Entscheidung der Exekutive zur Regelung im Einzelfall (i.d.R. durch Verwaltungsakt im Sinne des § 35 S. 1 VwVfG) relevant. Nach (erlaubter) Inverkehrgabe wandelt sich die Perspektive und die mit der Verwendung der Automationstechnologie verbundenen rechtlichen Fragestellungen hin zu Fragen der Haftung für die Verwendung der Technologie.

Automatisierungstechnologien können auch als automatisierte Systeme oder automatisierte Funktionen bezeichnet werden. Je nach Anwendungsbereich kann die Technologie auf dem Schiff, an Land oder an beiden Orten installiert werden. Aus rechtlicher Sicht gilt es daher, die rechtlichen Rahmenbedingungen für beide Umgebungen zu beleuchten, um einzeln und im Vergleich Empfehlung zu ergründen.

Entsprechend der vorgenannten Erwägungen wird die Untersuchung nachfolgend zunächst öffentlich-rechtliche Zulassungs- und Genehmigungsanforderungen bzgl. Automatisierungstechnologien beleuchten. Beispielsweise wird der Hafenbetreiber zukünftig wie bereits heute die Frage beantworten müssen, ob ein mit automatisierten Funktion ausgestattetes Schiff überhaupt das Hafengewässer befahren und eine bestimmte Umschlagsstelle nutzen darf, wobei daneben bereits die zuständige Wasser- bzw. Baubehörde mit der Frage der Genehmigung des Umschlagplatzes konfrontiert sein wird. Erst anschließend werden Auswirkungen der im Verkehr befindlichen Automatisierungstechnologien auf das Haftungssystem der Schifffahrt im Hafen zu untersuchen sein.

3. Automationsstufen

Die Automation von technischen Systemen wird regelmäßig im jeweiligen Kontext in Stufen eingeteilt. Für die Binnenschifffahrt wurde durch die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR)³ ein gestuftes Definitionssystem etabliert.⁴

¹ Rechtsanwalt Martin Hoffmann, ist selbständiger Rechtsanwalt in eigener Kanzlei in Mannheim und übernimmt ausschließlich Mandate und Beratungsaufträge, die Häfen und Binnenschiffe bzw. deren Betrieb betreffen. Zusammen mit Herrn Fink von Waldstein, bildet er eine auf das Binnenschifffahrtrecht spezialisierte Bürogemeinschaft. Besonderer Dank richtet sich an Frau Sophie Staron LL.B., wiss. Mitarbeiterin der Kanzlei und an der Universität Mannheim für die Unterstützung bei der Gutachtenerstellung.

² https://www.duden.de/rechtschreibung/Hafen_Anlegestelle; Vgl. Heinz, in: Friessecke, WaStrG, 7. Auflage 2020, § 45 Rn. a.

³ Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) gewährleistet als internationale Organisation seit 1815 die Freiheit und Sicherheit der Schifffahrt auf dem Rhein. Da der Rhein das Kernstück des europäischen Verkehrsnetzes bildet, unterhält die ZKR privilegierte Beziehungen zur Europäischen Kommission und arbeitet eng mit der UNECE, mit anderen Flusskommissionen - insbesondere der Donau-, der Mosel- und der Savekommission - sowie mit der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins und der Internationalen Kommission zur Hydrologie des Rheingebiets zusammen. (vgl. https://www.ccr-zkr.org/files/communication/flyerCCNR2023_de.pdf). Rechtsgrundlage der ZKR ist die Revidierte Rheinschifffahrtsakte vom 17.10.1868 [Mannheimer Akte] – abrufbar unter: <https://www.ccr-zkr.org/11020200-de.html>.

⁴ Internationale Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt (Ausgabe 2022); abrufbar unter: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/AutomatisationNav/DefinitionAutomatisation_de.pdf.

Die Automation eines Schiffs bzw. eines Fahrzeugs erfolgt regelmäßig durch den Einsatz technischer Systeme, die das menschliche Handeln ersetzen. Insofern ordnet auch das Stufensystem die Stufen danach zu, ob dynamische Schifffahrtsaufgabe vom Schiffsführer oder durch „das System“ – womit die Automatisierungstechnologie gemeint ist – ausgeführt werden. Als dynamische Schiffsaufgaben wird die Gesamtheit der navigatorischen Schiffsoperationen wie z. B. die Bedienung von Ruderanlagen, Antrieben, Ankerwinden oder höhenverstellbaren Steuerhäusern bezeichnet. Die Komplexität dieser Aufgaben ist vom betrachteten Kontext abhängig (z. B. kann das Festmachen des Fahrzeugs in einem Kontext ausgeschlossen werden).⁵

Nach dem Stufensystem bedeutet Stufe 0 „keine Automatisierung“, dass die „*permanente Ausführung aller Aspekte der dynamischen Schifffahrtsaufgaben durch den Schiffsführer* [erfolgt], *auch wenn diese durch Warn- oder Interventionssysteme unterstützt werden*“.

Die Darstellung der ZKR offenbart daneben, dass auf den Stufen 0-2 der Schiffsführer einige oder alle dynamischen Schifffahrtsaufgaben ausführt, während ab der Stufe 3 „bedingte Automatisierung“ das System (für den jeweiligen Anwendungsbereich) die dynamischen Schifffahrtsaufgaben ausführt, wenn es eingeschaltet ist.

Innerhalb der Automationsstufen wird zudem davon ausgegangen, dass auf Stufe 3 „bedingte Automatisierung“ der Schiffsführer auf Aufforderung eingreifen kann und auf Systemausfälle angemessen reagiert. Ab dieser Stufe ist der Schiffsführer somit nicht mehr zur tatsächlichen Schiffsführung verpflichtet und hat auch im Stufenkontext nur eingeschränkte Überwachungsfunktion. Auf Stufe 4 „hohe Automatisierung“ und 5 „Vollautomatisierung“ besteht sodann kein Bedarf an einer menschlichen Rückfallebene mehr.

Das in den Definitionen angegebene technische Leistungsvermögen, Verhaltenspflichten und die Pflichten des Schiffsführers entfalten jedoch weder formelle noch materielle Gesetzesqualität und haben somit keinerlei rechtliche Bindungswirkung. Sie lassen sich vielmehr nur als technische Beschreibung derjenigen Voraussetzungen begreifen, unter denen ein Fahrsystem bestimmten Automatisierungsgrades im Zusammenwirken mit seinem – menschlichen – Nutzer als verkehrssicher betrieben werden könnte. Nur unter diesem Blickwinkel sind sie für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung von Belang. Im Übrigen kommt es vielmehr darauf an, welche Verhaltenspflichten das geltende Recht den Nutzern automatisierter Fahrsysteme auferlegt und wie es deren Verletzung haftungsrechtlich sanktioniert.⁶

4. Szenarien

Das Projekt RAIN untersucht nicht die Automationsstufen, sondern stellt verschiedene Zukunftsszenarien in Aussicht, um nach Untersuchung der Szenarien Empfehlungen zu generieren. Gleichwohl lohnt die Zuordnung der Szenarien zu Automationsstufen, um Ergebnisse der Untersuchung in späteren Diskursen übertragbar zu gestalten.

Entsprechend der Projektdefinitionen sind die Szenarien 1 und 2 lediglich den Stufen 0-2 zuzuordnen. Szenarien 3 – 5 finden jedoch unmittelbar auf den Stufen 4 oder 5 statt. Der nachfolgende Beitrag untersucht anhand der aktuellen Gesetzeslage daher lediglich vereinfacht

konventionelle durch Menschen gesteuerte Binnenschiffe einerseits und durch Automatisierungstechnologien – ohne Menschen – gesteuerte Binnenschiffe andererseits.

B. Zulassung von automatisierten Schiffen und Anlagen zu Wasser und zu Land

Damit es zum Anlegen, Umschlag und anderen hafentypischen Vorgängen eines Binnenschiffs kommen kann, ist der erlaubte Betrieb eines Binnenschiffes auf einem Hafengewässer notwendige Voraussetzung.

I. Kompetenz für die Binnenschifffahrt auf Hafengewässern und an Hafenanlagen bzw. Umschlagsplätzen – Schifffahrtsprivileg und HafenVO BW

In der Praxis werden Schiffsführer im Zweifel die jeweilige Hafenordnung einsehen, um die Einfahrterlaubnis zu prüfen. Für die hier in Rede stehenden Schiffe besteht in der Regel lediglich eine Anmeldepflicht und kein Genehmigungsvorbehalt in den Hafenverordnungen (Vgl. § 8 Abs. 1 Hafenverordnung Baden-Württemberg [nachfolgend HafenVO BW]⁷ bzgl. Anmeldung und in Abgrenzung hierzu Erlaubnis zum Einlaufen nach § 6 HafenVO BW in Ausnahmefällen). Dieser Umstand ist Ausdruck der wasserrechtlichen Privilegierung der Schifffahrt nach § 39 Abs. 1 Wassergesetz BW, welche Gewässer, die für die Schifffahrt bestimmt sind, für jedermann zur Schifffahrt freigibt. Hafengewässer sind regelmäßig zu Nutzung durch die Schifffahrt gewidmet. Damit wird jedoch keine technische Zulassung eines Binnenschiffs normiert.

Vielmehr wird in den Hafenverordnungen regelmäßig die Anwendbarkeit der Binnenschifffahrtsuntersuchungsordnung (nachfolgend: BinSchUO) angeordnet, welche die Zulassung der für die Hafenschifffahrt relevanten Binnenschiffe reguliert (§ 2 Abs. 2 HafenVO BW). Ordnungsgeber ist in der Regel die zuständige Wasserbehörde. Aufgrund einer landesrechtlichen Ermächtigungsgrundlage im jeweiligen Landeswassergesetz (§ 39 Abs. 2 iVm § 14 Abs. 1 Nr. und 2 Landeswassergesetz BW) erlassen Landesbehörden die jeweilige Hafenverordnung, um die Hafennutzung für die Schifffahrt zu normieren.

Der Blick in die jeweiligen Verweisungen der Landeshafenordnungen offenbart ein unterschiedliches Ausmaß an Normverweisungen auf verschiedene Verordnungen und Gesetze, sodass trotz Verweisung klärungsbedürftig ist, ob der Verweis auf die BinSchUO deklaratorisch oder konstitutiv ist. Für Hafenbetreiber und Landesgesetzgeber entscheidet sich an dieser Einordnung, ob Abweichungsbefugnisse – oder bzgl. der Freiheit der Schifffahrt – Umsetzungszwänge bestehen.

II. Gesetzgebungskompetenz für technische Zulassung der Schiffe auf Hafengewässern

Grundsätzlich weist das Grundgesetz als konkurrierende Gesetzgebungskompetenz Bund die Kompetenz für die Hochsee- und Küstenschifffahrt sowie die Seezeichen, die Binnenschifffahrt, den Wetterdienst, die Seewasserstraßen und die dem allgemeinen Verkehr dienenden Binnenwasserstraßen (Art. 74 Abs. 1 Nr. 21 GG) zu. Soweit der Bund die Kompetenz ausübt wird Landesrecht verdrängt.

⁵ Wie zuvor.

⁶ Vgl. Ferner zur Kritik an der Stufeneinteilung: von Bodungen/Hoffmann, NZV 2016, 449 (450)

⁷ Andere Hafenverordnungen sehen ähnliche Regelungen vor, weswegen für diesen Beitrag exemplarisch jeweils auf Regelungen des Landes Baden-Württemberg verwiesen wird, soweit Landesrecht behandelt wird.

„Der Begriff der Binnenschifffahrt meint den Verkehr auf Flüssen, Kanälen und sonstigen Binnengewässern. Erfasst wird der Verkehr mit sämtlichen Wasserfahrzeugen, ohne dass es auf deren Bauart ankäme.[...] Die Zuständigkeit für die Binnenschifffahrt ist als umfassende Gesetzgebungskompetenz ausgestaltet, die die Binnenschifffahrt in ihrer Gesamtheit – ungeachtet der Verkehrszwecke, Erscheinungsformen und Auswirkungen – erfasst. [...]“⁸ Damit könnte der Bundesgesetzgeber im Rahmen internationaler und supranationaler Regulierung für das Bundesgebiet einheitliche Anordnungen treffen. Diese Kompetenz hat der Bundesgesetzgeber jedoch nach dem Wortlaut von § 1 Abs 1 Nr.4 Binnenschifffahrtaufgabengesetz (im Folgenden: BinSchAufG) lediglich für den Bereich der Bundeswasserstraßen ausgeübt und zugleich entsprechende Verordnungsmächtigungen auf das Verkehrsministerium delegiert (Vgl. § 3 BinSchAufG).

Der Bundeskompetenz für den Binnenschiffsverkehr und damit auch für die technische Zulassung steht jedoch nur scheinbar der Entstehungsprozess des Art. 74 Abs. 1 Nr. 21 GG und eine frühe Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts entgegen.⁹ So soll für die Landeskompetenz die der parlamentarischen Beratungen des Grundgesetzes sprechen, in denen der Begriff „Seehafen“ bereits in den Beratungen aus dem Titel gestrichen wurde.¹⁰ Weiterhin soll der Staatsvertrag, betreffend den Übergang der Wasserstraßen von den Ländern auf das Reich vom 29. Juli 1921 die Landeskompetenz stützen. Nach § 1 Abs. 1 S. 3 des Vertrags sind lediglich Schutz- und Sicherheitshäfen in den Übergang auf das Reich inbegriffen, alle anderen Häfen und Umschlagsplätze sind somit von der Regelung nicht erfasst. Stellvertretend für die Rheinhäfen wurde bzgl. des Hafens Kehl durch das Bundesverfassungsgericht festgehalten, dass die Verwaltung des badischen Staats erbauten Hafens Kehl ausschließlich Landessache war und dass die Rheinhäfen weder der Bundesverwaltung nach Art. 89 GG noch der konkurrierenden Gesetzgebung des Bundes nach Art. 74 Ziff. 21 GG unterstehen.¹¹

Jedoch hat das Bundesverfassungsgericht an dieser Stelle lediglich Aussagen zur Verwaltung der Landeshafengewässer getroffen. In einer späteren Entscheidung wird zur Regelungskompetenz der Schifffahrt ausgeführt, dass die auf Verkehrsangelegenheiten beschränkte Kompetenz bezüglich der Wasserstraßen [...] *die Regelungsbefugnis für die Schifffahrt keineswegs überflüssig [macht], weil insoweit an Regelungen über die technische Beschaffenheit, die Ausrüstung und die Bemannung der Schiffe, die Festsetzung des Entgeltes, die Sorge für die Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs, das Signalwesen usw. zu denken ist.*¹² Der Kompetenztitel Binnenschifffahrt wird somit nicht durch den Titel bzgl. der Bundeswasserstraßen eingeschränkt, sondern die Titel stehen eigenständig nebeneinander, sodass der Bund allein durch Regelung des Verkehrs und der Zulassung zum Verkehr die Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs regeln kann.¹³

⁸ Uhle, in: Dürig/Herzog/Scholz, Werkstand: 108. EL (August 2025), GG Art. 74, Rn. 506-508.

⁹ BVerfG, 30.06.1953 - 2 BvE 1/52, BVerfGE 2, 347 (376) – Kehler Hafen.

¹⁰ Uhle, in: Dürig/Herzog/Scholz, Werkstand: 108. EL August 2025, GG Art. 74 Rn. 504

¹¹ BVerfG, 30.06.1953 - 2 BvE 1/52, BVerfGE 2, 347 (376) – Kehler Hafen; vgl. ausführlich hierzu: Heinz, in: Friesecke, WaStrG, 7. Auflage 2020, § 45 Rn. 6.

¹² BVerfGE 15 1, (12); vgl. Heinz, in: Friesecke, WaStrG, 7. Auflage 2020, § 45 Rn. 5 f., der sich ebenso lediglich auf die Verwaltungskompetenz für das Gewässer bezieht und nicht auf die Schifffahrt.

¹³ OVG Berlin-Brandenburg, 17.9.2015 - OVG 1 B 48.14, NVwZ-RR 2016, 36 (37).

Festgehalten ist damit, dass der Bund die Binnenschifffahrt auch für den Bereich der Hafengewässer regulieren könnte, jedoch nur für die Bundeswasserstraßen Regelungen im BinSchAufG getroffen hat. Dabei umfasst der Begriff Binnenschifffahrt u.a. auch Maßnahmen gegen schiffsbedingte Gewässerverschmutzungen, die technische Beschaffenheit der Fahrzeuge, sowie Ausbildung und Arbeitsbedingungen der Besatzungsmitglieder.¹⁴

III. Europäische und Völkerrechtliche Überlagerung

Bezüglich der Zulassung von Binnenschiffen kommt es in der Praxis für die Rechtsanwender dennoch nicht zur Fragmentierung der Zulassungsanforderungen. Letztlich wurde durch supranationale und internationale Regelungen in einheitliches Rahmenwerk mit Zulassungsvorschriften für Binnenschiffe geschaffen.

Durch Richtlinie (EU) 2016/1629 vom 14. September 2016 zur Festlegung technischer Vorschriften für Binnenschiffe werden harmonisierte Bedingungen für die Erteilung von Schiffszeugnissen für Binnenschiffe auf sämtlichen Binnenwasserstraßen der Union festgelegt.¹⁵ Die Richtlinie impliziert, dass Häfen für Binnenschiffe grundsätzlich keine abweichenden Zulassungsregeln festlegen können und damit einem nach europäischem Recht zulässigen Fahrzeug die Einfahrt nicht verwehren können. Diese Wertung ergibt sich aus den Ausnahmenvorschriften der Richtlinie und dem Sinn und Zweck des europäischen Sekundärrechts.

Entsprechend Erwägungsgrund 10 Richtlinie (EU) 2016/1629 sollten die Mitgliedstaaten - unter Wahrung eines angemessenen Sicherheitsniveaus - die Möglichkeit haben, von der Richtlinie in bestimmten Fällen im Zusammenhang mit schiffbaren Wasserstraßen, die nicht mit Binnenwasserstraßen anderer Mitgliedstaaten verbunden sind, oder mit bestimmten Fahrzeugen, die ausschließlich auf nationalen Wasserstraßen verkehren, abzuweichen. Die Umsetzung dieser Absicht ist in Art. 24 Abs. 2 Richtlinie (EU) 2016/1629 auffindbar, welche eine Ausnahme genehmigung u.a. für Schiffe vorsieht, die im Hafengebiet verkehren. Im Umkehrschluss und nach dem Sinn und Zweck der Richtlinie entsprechend Art. 26 Abs. 2 AEUV den gemeinsamen Binnenmarkt der EU zu verwirklichen, steht Häfen und damit dem Landesgesetzgeber nicht das Recht zu, die Schiffszulassung durch eigene Regelungen zu konterkarieren.

Nach der Richtlinie müssen die technischen Mindestvorschriften für Fahrzeuge auf Binnenwasserstraßen der Zonen 1, 2, 3 und 4 eingehalten werden, da andernfalls kein Unionszeugnis erteilt werden kann (Art. 6 Abs. 2 und 4 iVm Anhang II Richtlinie (EU) 2016/1629). Kann für ein Fahrzeug kein Zeugnis erteilt werden, darf der Mitgliedstaat nach Art. 5 Abs. 1 Richtlinie (EU) 2016/1629 den Verkehr mit dem Fahrzeug nicht zulassen. Die Ausarbeitung der konkreten Standards obliegt unter Rückgriff auf die Expertise der ZKR, dem unter Federführung der ZKR arbeitenden und Experten aller Mitgliedstaaten offenstehenden Europäischen Ausschuss für die Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt (CESNI).¹⁶ Der CESNI wurde eingesetzt, um die Harmonisierung der technischen Standards im Binnenschifffahrtssektor in ganz Europa zu erleichtern. Um ein hohes Maß an Sicherheit und Effizienz der

¹⁴ Degenhart, in: Sachs, 10. Auflage 2024, GG Art. 74, Rn. 93 f.; Kment, in: Jarass/Pieroth, 18. Auflage 2024, GG Art. 74 Rn. 57, wobei wiederum missverständlich auf die Entscheidung „Hafen-Kehl“ bzgl. der Hafengewässer verwiesen wird.

¹⁵ Richtlinie (EU) 2016/1629, Erwägungsgrund 1.

¹⁶ Richtlinie (EU) 2016/1629, Erwägungsgrund 6.

Binnenschifffahrt zu gewährleisten, die Gleichwertigkeit der Binnenschifffahrtszeugnisse beizubehalten und den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt sowie andere Entwicklungen in dem Bereich zu berücksichtigen, sollte die Bezugnahme auf den gemäß dieser Richtlinie geltenden Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (im Folgenden „ES-TRIN-Standard“) laufend aktualisiert werden.¹⁷ Als Anhang II der Richtlinie (EU) 2016/1629 wurde der damalige ES-TRIN-Standard zum Inhalt der Richtlinie und wird seitdem aktualisiert und als europäischer Standard beibehalten (Art. 31, 32 Richtlinie (EU) 2016/1629).

Diese Regelungen der EU und vergleichbare des Völkerrechts sind von Bund und Ländern umzusetzen (Art. 23 Abs. 1-2 GG). Somit haben die Länder und deren Behörden bei der Gesetzgebung, soweit es die Schifffahrt betrifft, supranationale Vorgaben zu beachten.

IV. Anforderungen der Zulassung eines Binnenschiffs im Hafengewässer – BinSchUO

Ausgehend von voranstehendem Befund ist somit zunächst von Bedeutung, welche zulassungsrechtlichen Hürden automatisierten Systemen zur Verwirklichung der Szenarien im Wege stehen.

Die BinSchUO dient unter anderem auch der Umsetzung der von der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt am 07. Dezember 2017 geänderten Fassung der Rheinschiffsuntersuchungsordnung auf der Bundeswasserstraße Rhein.¹⁸ Aufgrund der einheitlichen Umsetzung durch die BinSchUO besteht zwischen dem Rhein und anderen Bundeswasserstraßen, für die keine gesondertes Abkommen besteht, keine weiterer Vereinheitlichungsaufwand.

1. Genehmigungserfordernis

Die Zulassung von Binnenschiffen wird zentral durch die BinSchUO normiert. § 1 Abs 1 BinSchUO begrenzt den Anwendungsbereich der Verordnung auf Fahrzeuge, schwimmende Anlagen und Schwimmkörper auf den in Anhang I bezeichneten Wasserstraßen des Bundes (beispielsweise: Donau, Main und Rhein). Die BinSchUO unterwirft die Nutzung eines Binnenschiffs einem sogenannten Verbot mit Erlaubnisvorbehalt.

Ein Schiff darf am Verkehr nur teilnehmen, wenn es zum Verkehr technisch zugelassen worden ist und den Voraussetzungen der technischen Zulassung entspricht (§ 5 BinSchUO). Die BinSchUO gilt nach § 1 Abs.5 BinSchUO für alle (1.) Schiffe mit einer Länge von 20 m und mehr, (2.) Schiffe, deren Produkt aus Länge (L), Breite (B) und Tiefgang (T) ein Volumen von 100 m³ oder mehr ergibt, (unter anderem) und somit für jedes in Frage kommende Szenario der Untersuchung. Weiterhin wird die technische Zulassung zum Verkehr durch die Erteilung einer Fahrtauglichkeitsbescheinigung nachgewiesen (§ 6 Abs. 1 BinSchUO). Welche Dokumente als Fahrtauglichkeitsbescheinigung anerkannt werden, reglementiert daraufhin § 7 BinSchUO, wobei zuvorderst auf Abs. 1 S. 2 Nr. 1 zu verweisen ist, welcher das Unionszeugnis für Binnenschiffe aufführt.

¹⁷ Richtlinie (EU) 2016/1629, Erwägungsgrund 21.

¹⁸ <https://www.elwis.de/DE/Untersuchung-Eichung/Untersuchung/BinSchUO/BinSchUO-node.html>

In Verbindung mit § 6 Abs. 2 BinSchUO ergibt sich, dass für die Erteilung eines Unionszeugnisses alle Anforderungen des ES-TRIN-Standards¹⁹ an Bau, Ausrüstung und Einrichtung entsprochen werden muss, soweit in der Verordnung nicht etwas anderes bestimmt oder zugelassen ist.²⁰ In den Regelungen der BinSchUO sind zudem bereits die Umsetzung der Richtlinie (EU) 2016/1629 zu erkennen.²¹

2. Keine Regelzulassung für automatisierte und autonome Schiffe nach ES-TRIN 2025

Der Blick in den ES-TRIN-Standard offenbart allerdings das Fehlen expliziter Regelungen bzgl. automatisierter Funktionen auf Binnenschiffen bzw. automatisiert und autonom fahrender Binnenschiffe. Somit steht die Frage im Raum, ob zusätzliche Systeme in einem Schiff zulassungsrechtliche Relevanz haben und welche Folgen ein Verstoß hat.

Bereits der Wortlaut des § 5 BinSchUO zeigt ausdrücklich auf, dass die Teilnahme am Verkehr eines Fahrzeugs nur erlaubt ist, wenn es zum Verkehr technisch zugelassen worden ist und den Voraussetzungen der technischen Zulassung entspricht. Somit sind die Normen des ES-TRIN zwingend einzuhalten.

Gleichwohl war den Urhebern des ES-TRIN die Innovationsfeindlichkeit eines starren Regelwerks bewusst, die explizit nicht gewünscht war. Bereits der Rechtsrahmen, auf dem ES-TRIN basiert, lässt Abweichungen von den Anforderungen des ES-TRIN zu.²² Es sollen Techniken zugelassen werden, die der Förderung von Innovation und dem Einsatz neuer Technologien in der Binnenschifffahrt dienen.²³

3. Ausnahmegenehmigungen

Ausnahmevorschriften des ES-TRIN wurden durch Umsetzungsvorschriften in das deutsche Recht bereits übernommen. Entsprechend lautet 29 Abs. 3 BinSchUO:

„(3) Die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt kann bei Fahrzeugen, die innerhalb eines abgegrenzten Gebiets fahren, von den Bestimmungen des ES-TRIN abweichen, wenn ein gleichwertiges Sicherheitsniveau gewährleistet ist. Die Ausnahmen dürfen nur für den Geltungsbereich dieser Rechtsverordnung und außerhalb des Rheins erteilt werden.“

Für automatisierte Fahrsysteme wird zudem § 30 BinSchUO relevant sein, welcher für neue Technologien Versuchsgenehmigungen ermöglicht:

„Zu Versuchszwecken und für einen begrenzten Zeitraum kann die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt für ein Fahrzeug mit technischen Neuerungen, die von den

¹⁹ Der Begriff ES-TRIN wird in § 2 BinSchUO wie folgt legaldefiniert: Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe in der Ausgabe 2019/1, der vom Europäischen Ausschuss für die Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt (CESNI) angenommen wurde (Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur vom 9. Dezember 2019, BAAnz AT 09.12.2019 B2); bei der Anwendung des ES-TRIN ist unter Mitgliedstaat ein Mitgliedstaat der Europäischen Union oder der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt zu verstehen.

²⁰ Vgl. Hoffmann, LogR 02/2025, 68 (72).

²¹ Richtlinie (EU) 2016/1629 siehe oben.

²² Vgl. Artikel 2.20 RVIR, siehe Artikel 25 und 26 der Richtlinie (EU) 2016/1629.

²³ CESNI, Broschüre zur Beratung über Ausnahmen und Gleichwertigkeiten der technischen Anforderungen des ES-TRIN für bestimmte Wasserfahrzeuge, abrufbar unter: https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2019/04/Guide_Sp_craft_de.pdf.

Bestimmungen des Teils II ES-TRIN abweichen, eine Fahrtauglichkeitsbescheinigung ausstellen, sofern diese Neuerungen eine hinreichende Sicherheit bieten. Die Bestimmungen des § 29 Absatz 4, 5 und 6 gelten entsprechend.“

4. Wahrung eines gleichwertigen oder hinreichenden Sicherheitsniveaus

Für alle Automationstechnologien besteht somit die Problematik, dass ein gleichwertiges Sicherheitsniveau oder für Testzwecke ein hinreichendes Sicherheitsniveau gewährleistet werden muss.

Um unbestimmte Rechtsbegriffe wie „hinreichend“ oder „gleichwertig“ mit Inhalt zu füllen, sind verschiedene Akteure gefragt. Wissenschaft und Forschung können beispielsweise dabei behilflich sein, das aktuelle Sicherheitsniveau zu messen. Dabei kann die Verwaltung fördernd, aber auch aktiv beschreibend tätig werden, indem beispielsweise die aktuelle Regulierung, technische Anforderungen sowie Verkehrsdaten zusammengestellt und zur Verfügung gestellt werden.

5. Der Mensch als zentraler Sicherheitsgarant

Die Bestimmung eines Sicherheitsniveaus sollte als fachübergreifende Aufgabe begriffen werden. Indem der Gesetzgeber in den Ausnahmenvorschriften die unbestimmten Rechtsbegriffe „gleichwertiges“ und „hinreichendes Sicherheitsniveau“ vorsieht, gibt er den eigentlich starren Zulassungsregelungen Flexibilität, um innovative Entwicklungen abzubilden.

Aus juristischer Sicht kann beigesteuert werden, dass Sicherheit im Verkehr mit Binnenschiffen im Wesentlichen durch zwei primäre Regulierungen erreicht wird. Zum einen wird durch technische Vorgaben das technische Sicherheitsniveau vorgegeben. Neben Vorgaben an die Schiffssysteme ist das Schiff zum anderen so zu gestalten, dass der menschliche Schiffsführer die sichere Fahrzeugführung jederzeit gewährleisten kann.

Kapitel 7 ES-TRIN sieht entsprechende Regelungen vor: Nach Artikel 7.01 Nr. 1 ES-TRIN müssen Steuerhäuser so eingerichtet sein, dass der Rudergänger seine Aufgaben während der Fahrt jederzeit erfüllen kann. Nach Artikel 7.02 Nr. 1. ES-TRIN muss vom Steuerstand aus nach allen Seiten genügend freie Sicht vorhanden sein. Weiterhin gibt Art. 7.03 Nr. 1 ES-TRIN vor, dass die zur Führung des Schiffes notwendige Bedienungseinrichtungen leicht in ihre Betriebsstellung gebracht werden können. Diese Stellung muss eindeutig erkennbar sein. Ergänzend müssen nach Art. 7.03 Nr. 2 ES-TRIN Überwachungsinstrumente leicht abzulesen sein.

Somit zeigt sich, dass das ES-TRIN deutlich von der Schiffsführung bzw. Steuerung durch den Menschen ausgeht.

Auf die technischen Möglichkeiten aufbauend wird durch die Vergabe von Schifferpatenten geprüft, ob der jeweilige menschliche Schiffsführer geeignet ist ein Schiff nach den Regelungen der Straßenverkehrsordnungen wie der BinSchStrO oder der RheinSchPolVO durch den durch Verkehrsregeln geordneten Verkehrsraum zu bewegen.

Ausgehend von diesem grundlegenden System kann das aktuelle Sicherheitsniveau durch Verkehrsdaten und deren Analyse bewertet werden und den Konstruktionen der technischen Systeme zugeordnet werden.

6. Ersetzung des Menschen als Schiffsführer – Einheits- bzw. Doppelwirkung der Verhaltensvorschriften

Eine Automationstechnologie, welche den Menschen zumindest teilweise ersetzt, muss denkiologisch zumindest – auf dem Niveau eines Menschen oder besser – die Leistungen des menschlichen Schiffsführers und damit die Einhaltung der Verhaltensvorschriften abbilden können, um das Sicherheitsniveau der bestehen Fahrzeug-Mensch-Kombination zu erreichen. Letztere Erwägung gilt insbesondere im Falle des Mischbetriebs von automatisiert fahrenden Binnenschiffen und herkömmlich von Schiffsführern gesteuerten Fahrzeugen.

Unabhängig davon, ob Mensch oder Automat für die konkrete Fahrbewegung des Schiffes ursächlich sein wird, ist für jeden Verkehrsteilnehmer von größter Bedeutung, dass Verkehrsregeln einheitlich beachtet werden, was besonders das Beispiel der Schiffsbegegnung verdeutlicht: Die Vorgaben des § 6.04 BinSchStrO über das Begegnen von Berg und Talfahrer sowie das sog. Weisungsrecht des Bergfahrers müssen stets beachtet werden, sollen Kollisionen ausbleiben.

7. Ergänzende ungeschriebene nautische Standards

Bezogen auf Hafenmanöver sind geschriebene Verkehrsregeln ebenso einheitlich zu beachten. § 7.01 Nr. 1 BinSchStrO hält beispielweise fest:

„Unbeschadet anderer Bestimmungen dieser Verordnung muss ein Fahrzeug oder ein Schwimmkörper seinen Liegeplatz so nahe am Ufer wählen, wie es sein Tiefgang und die örtlichen Verhältnisse gestatten. Ein Fahrzeug oder ein Schwimmkörper darf keinesfalls die Schifffahrt behindern. An eine Böschung ist vorsichtig heranzufahren.“

Zudem reguliert Nr. 3 der gleichen Vorschrift:

„Ein stillliegendes Fahrzeug, ein stillliegender Schwimmkörper oder eine stillliegende schwimmende Anlage muss so verankert oder festgemacht werden, dass seine oder ihre Lage nicht in einer Weise verändert werden kann, die ein anderes Fahrzeug, oder einen anderen Schwimmkörper gefährdet oder behindert. Dabei sind insbesondere Wind- und Wasserstandsschwankungen sowie Sog und Wellenschlag zu berücksichtigen.“

Auffällig ist hierbei, dass die Vorschriften nicht die konkrete Form der geforderten Handlung vorgeben. Es wird somit nicht das exakte „wie“ der Umsetzung festgelegt. An diesen Stellen entsteht Raum für den zumeist nicht regulierten Schifffahrtsbrauch bzw. in der Praxis gelehrt, ungeschriebene nautische Standards. Für eine technische Umsetzung wird beispielsweise normiert werden müssen, wie ein Schiff an einem Ufer vertäut liegen soll, indem Anzahl der Tauer und Lagerung ausdrücklich normiert werden. Auch der Einsatz von Ankerpfählen hat in der Rechtsprechung und Regulierung bisher kein Feedback gefunden.

8. Rechtliche Grundlage – Einheitstheorie

Ausgehend von den Erkenntnissen aus dem Bereich der Automatisierung von Straßenfahrzeugen sind mit der sogenannten Einheitstheorie²⁴ verhaltensrechtliche Vorgaben bereits bei der

²⁴ Berz/Dedy/Granich, DAR 2000, 545 (547); Albrecht, DAR 2005, 186 (196); Gasser, VKU 2009, 224 (229); Fenz/Casimir-van den Broek, NZV 2009, 529 (530); Lutz, NZV 2014, 67 (68); Lutz/Hilgendorf, DAR 2014, 446

Frage, ob ein Fahrzeug zugelassen werden darf, zu beachten.²⁵ Verhaltensvorschriften entfalten somit doppelte Wirkung, da nicht nur der Mensch die Verwaltungsvorschriften beachten muss, sondern auch die technischen Einrichtungen so gestaltet sein müssen, dass die Anforderung an das Verhalten im Verkehr umgesetzt werden. Auf diesem Weg lässt sich ein einheitliches Sicherheitsniveau im Verkehr mit Binnenschiffen erreichen.

Der entsprechende Schutzzweck der BinSchStrO lässt sich in Ihrer Ermächtigungsgrundlage § 3 Abs.1 Nr. 2 iVm § 1 BinSchAufG ablesen. In Anlehnung an die Rechtsprechung zur Straßenverkehrsordnung dient die BinSchStrO auf Basis deren Ermächtigungsgrundlage als sachlich begrenztes Ordnungsrecht der Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs sowie die Verhütung von der Schifffahrt ausgehender Gefahren.²⁶ Geschützt wird also namentlich die allgemeine Verkehrssicherheit.²⁷

9. Keine internationale Vereinheitlichung von Verkehrsvorschriften

Im Gegensatz zu den technischen Regelungen der Schiffszulassung, besteht kein verbindliches inter- oder supranationales Regelwerk, welches die Verkehrsregeln der Binnenschifffahrt reglementiert. Der Europäische Kodex für die Binnenschifffahrt (CEVNI) enthält die grundlegenden Vorschriften für den Verkehr auf Binnenwasserstraßen im UNECE-Raum. CEVNI wurde von der Arbeitsgruppe für Binnenschifffahrt (SC.3) der UNECE im November 2021 angenommen.²⁸ Es handelt sich hierbei jedoch um eine völkerrechtliche Resolution, sodass es den Vertragsstaaten offensteht von den Regelungen abzuweichen. Daher können zwischen den Verkehrsordnungen wie beispielsweise Rheinschifffahrtspolizeiverordnung und BinSchStrO grundsätzlich Abweichungen bestehen.

So zeigt sich bereits bzgl. Assistenzsystemen wie TGAIN, dass es durch die unterschiedlichen zeitlichen Abläufe der Gesetzgebung durch die unterschiedlichen Normgeber zum Auseinanderdriften von Zulassungsstandards kommen kann. So wurden TGAIN Standards (§ 4.08 BinSchStrO) bereits mit Wirkung zum 01.11.2025 in die BinSchStrO eingefügt. Für den Rhein ist eine Ergänzung der Rheinschifffahrtspolizeiverordnung erst am 1. Juni 2026 wirksam. Wünschenswert wäre ein einheitlicher Standard, der bereits Anforderungen an die technische Seite auf Ebene des ES-TRIN fundiert, welcher jedoch noch in Arbeit ist.

V. Genehmigungserfordernis für landgestützte „nautische“ Automatisierungstechnologien

Für Landanlagen gelten ebenso eine Vielzahl von Genehmigungserfordernissen. Hierbei wird nachfolgend davon ausgegangen, dass der jeweilige Hafen durch die Aufrüstung mit der jeweiligen Automatisierungstechnologie keine grundsätzlich neuartige oder intensivere Nutzung erfährt. Die Automatisierung betrifft somit die Verkehrsteilnahme des Schiffs und nicht die Automatisierung des Umschlagprozesses und Umschlagguts an sich.

(447); Lutz, NJW 2015, 119 (122); A.A. Bewersdorf, NZV 2003, 266 (269); dies., Zulassung und Haftung bei Fahrassistentensystemen im Straßenverkehr, 2004, S. 53.

²⁵ v. Bodungen/Hoffmann, SVR 2016, 41 (44).

²⁶ Vgl. BGH, 9.12.2014 - VI ZR 155/14, DAR 2015, 137 (138).

²⁷ Hühnermann, in: Burmann/Heß/Hühnermann/Jahnke, 29. Auflage 2026, StVO, Vor § 1 Rn. 3, 4.

²⁸ <https://unece.org/transport/publications/cevni-european-code-inland-waterways-rev6>.

Insofern wird nicht davon ausgegangen, dass die Änderung im Sinne des Planungsrechts Abwägungsrelevanz erreicht und damit kein Plan(änderungs)verfahren nach § 76 VwVfG erforderlich ist. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass durch umfassende Änderungen eines Ufers oder eines Hafenbereichs die Schwelle der Abwägungsrelevanz erreicht wird, insbesondere wenn ein Hafen durch innovative Technologie mit neuen Güterrisiken und erhöhter Nutzung ausgelastet würde, welche kein Teil der ursprünglichen Hafenplanung waren. Diesbezüglich spielen jedoch individuelle Faktoren des Hafens eine Rolle, wie Art und Umfang des Hafens, Umfang der Planung udgl.

1. Genehmigungserfordernisse

Zunächst werden vermutlich einzelne Umschlagsanlagen und zugehörige Ufer mit Automatisierungstechnologien nachgerüstet. Somit könnte in der Praxis das Genehmigungsverfahren ausreichen. Entfaltet kein Genehmigungstatbestand Konzentrationswirkung, ist zumindest an die erforderliche wasserrechtliche Genehmigung und Baugenehmigung zu denken. Oft wird zudem übersehen, dass in der Regel zudem eine verkehrspolizeiliche Genehmigung erforderlich ist, die je nach Lage des Ufers dem Bundeswasserstraßenrecht oder der Hafenverordnung unterliegt.²⁹

Beispielweise bedarf es für die Einrichtung eines Anlegeroboters auf dem Ufer eines Hafens einer Baugenehmigung im Sinne der jeweiligen Landesbauordnung (z.B. § 58 Landesbauordnung Baden-Württemberg, nachfolgend: LBO BW), da ein solcher regelmäßig unmittelbar mit dem Erdboden verbunden und aus Bauprodukten hergestellte werden wird (vgl. § 2 S. 1 LBO BW) und somit in den Anwendungsbereich der LBO BW nach § 1 Abs. 1 fällt.

Zudem bedürfen Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern einer eigenständigen wasserrechtlichen Genehmigung, sobald sie errichtet, wesentlich geändert oder beseitigt werden, wobei dieses grundsätzliche Erfordernis nach § 36 WHG in den Landesgesetzen in der Regel in das Genehmigungserfordernis überführt wird (vgl. 36 WG BW). Das Genehmigungserfordernis wird bereits dann relevant, wenn eine wesentliche Änderung stattfindet.

Der Begriff der „wesentlichen Änderung“ ist materiell zu verstehen und erfasst solche baulichen oder betrieblichen Veränderungen, die Konstruktion, Dimensionierung, Lage oder Nutzung der Anlage und damit ihre Einwirkungsweise auf das Gewässer in relevanter Weise verändern.

Die Rechtsprechung hat diesen Maßstab insbesondere bei Anlagen mit Dalben- oder Stegcharakter konkretisiert. Bzgl. der Errichtung von Bootsanbindepfählen (Dalben) in der Flachwasserzone des Bodensees wurde entschieden, dass es sich um eine Gewässerbenutzung im Sinne des § 9 Abs. 2 Nr. 2 WHG (Einbringen und Einleiten von Stoffen in ein Gewässer) handelt und es einer wasserrechtlichen Erlaubnis bedarf.³⁰ Das Gericht hebt hervor, dass die Dalben bestimmungsgemäß als Anlegestellen genutzt werden sollen und damit geeignet sind, die ökologisch besonders sensible Flachwasserzone durch zusätzliche Bootsnutzung erheblich zu belasten; die Maßnahme wird folglich nicht als bloße Unterhaltung oder geringfügige Änderung, sondern als eigenständige, erlaubnispflichtige Gewässerbenutzung qualifiziert. Bereits aus dieser

²⁹ Vgl. Heinz, in: Friesecke, WaStrG, 7. Auflage 2020, zu § 45 Abs. 6.

³⁰ VGH Baden-Württemberg, 20.5.2010 – 3 S 1253/08, BeckRS 2010, 50413.

Entscheidung lässt sich ableiten, dass punktuelle, aber technisch und funktional eigenständige Eingriffe wie Dalbenanlagen aufgrund ihrer Einwirkung auf Gewässerkörper und -grund typischerweise eine erneute wasserrechtliche Bewertung erforderlich machen.

In den Bundesländern wurde insbesondere unter Berücksichtigung von Bestandsschutzgesichtspunkten bereits intensiv die Frage erörtert, ab wann schon der Ersatz einer ursprünglich genehmigten Anlage durch vermeintliche Reparaturen oder Instandsetzungen eine erneute Genehmigungspflicht auslöst und zudem auf aktuellen Stand von Sicherheit und Technik zu heben ist. Nach der Rechtsprechung kann von lediglich bestandserhaltenden Maßnahmen nur dann ausgegangen werden, wenn die Identität des Bauwerks gewahrt bleibt. Kennzeichen dieser Identität ist es, dass das ursprüngliche Bauwerk nach wie vor als die Hauptsache erscheint. Hieran fehlt es dann, wenn der mit der Instandsetzung verbundene Eingriff in den vorhandenen Bestand so intensiv ist, dass er die Standfestigkeit des gesamten Bauwerks berührt und eine statische Nachberechnung des gesamten Gebäudes erforderlich macht, oder wenn die für die Instandsetzung notwendigen Arbeiten den Aufwand für einen Neubau erreichen oder gar übersteigen, oder wenn die Bausubstanz ausgetauscht oder das Bauvolumen wesentlich erweitert wird.³¹

Überträgt man diese Maßstäbe auf den Ersatz herkömmlicher Festmacherpoller durch einen Anlegeroboter kann somit festgehalten werden: Klassische Poller sind typischerweise passive Anlagenteile, die die beim Festmachen entstehenden Kräfte auf eine bestehende Ufer- oder Kaikonstruktion übertragen, ohne selbst komplexe Bewegungs- oder Steuerungsfunktionen auszuüben. Ein Anlegeroboter dagegen stellt eine funktional und technisch andersartige Anlage dar. Es wird aktiv der Anlegevorgang übernommen. Das System kann Schiffe führen oder fixieren, es verfügt regelmäßig über eigene Antriebs-, Sensor- und Regelungstechnik und greift damit in anderer Intensität und Qualität in den Wasser- und Uferraum ein. Ausgehend von der bestehenden Rechtsprechung ist somit zumindest von einem wasserrechtlichen Genehmigungserfordernis auszugehen.

2. Fehlende technische Standards

Eine sodann praktische Problematik wird darin bestehen, dass für einen Anlegeroboter bisher noch kein bautechnischer Standard bestehen, sodass es Schwierigkeiten bereiten dürfte, Genehmigung für die Anlage zu erhalten, soweit kein konstruktiver Sicherheitsnachweis für die Anlage geführt werden kann.

So sind die fachlichen Anforderungen an den Wasserbau in Häfen in technischen Regelwerken konkretisiert. Diese können in DIN-Normen, Eurocodes, Richtlinien der Verwaltungen oder hafenspezifisch in den EAU, den Empfehlungen für Ufereinfassungen des Fachausschusses der Hafentechnischen Gesellschaft e. V.³² zu finden sein. Aus praktischer Sicht besteht dabei bereits heute die Erschwernis, dass für Binnenhäfen keine gesonderten Empfehlungen bestehen und aufgrund örtlicher Verhältnisse bautechnische Erfordernisse der Seehäfen nicht notwendig sein könnten, da Seehäfen mit Blick auf Schiffsgrößen und Gezeiten der Gewässer sowie den unterschiedlichen Auswirkungen von Salz- und Süßwasser auf ein Bauteil an nicht vergleichbares

Anforderungsprofil der Technik entgegenbringen. Es besteht folglich mehrfach Handlungsbedarf, um durch Erarbeitung entsprechender Standards der innovativen Technik den Weg zu ebnen.

VI. Zwischenergebnis

1. Um die Zuständigkeit für die Zulässigkeit eines automatisierten Systems zu bestimmen, muss zunächst der konkrete Sachverhalt ermittelt werden, um Verortung und Funktion der Automatisierungstechnologie zutreffend zu beschreiben.

2. Verkehrs- und Umschlagsanlagen unterliegen in der Regel der Gesetzgebungskompetenz der Länder, die auch bereits für die örtlichen Baugenehmigungen und damit verbundene Rechtsakte zuständig sind. Landanlagen unterliegen damit in der Regel den ordnungsrechtlichen Anforderungen der Länder, die beispielsweise durch das Baurecht, das Naturschutzrecht und das Wasserrecht, aber auch das Straßenrecht reguliert werden. Zudem können bundesrechtliche Anforderungen des Wasserstraßenrechts danebentreten. Die Aufzählung ist nicht abschließend, da je nach konkreter Anlage und bei Kombination von Automatisierungstechnologien, welche Nautik und Umschlagtechnik kombiniert, auch das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und sonstige Umweltrechte beachtlich sein können.

3. Auf Grundlage des jeweiligen Wassergesetzes wird oftmals die Einschläge Hafenverordnung des Landes erlassen.

4. Regelungen des Bundes über die Schiffszulassung oder Verkehrsregeln betreffen dem gegenüber in der Regel nur Bundeswasserstraßen.

5. Der Bund könnte – ggf. sollte – seine Gesetzgebungskompetenz nutzen und klarstellend bundeseinheitliche Zulassungsregel für die Schifffahrt erlassen, um der technologischen Innovation des Schiffs den Weg zu ebnen. Insbesondere bundeseinheitliche Ausnahmenvorschriften erhielten so gesicherte Geltung.

6. Obwohl der Bundesgesetzgeber von seiner Gesetzgebungskompetenz keinen umfassenden Gebrauch gemacht hat, können die die Länder vor dem Hintergrund der völkerrechtlichen Abkommen, wie der Mannheimer Akte und der Richtlinie (EU) 2016/1629 der Schifffahrt, und damit einem nach ES-TRIN zugelassenen Schiff die Einfahrt in einen Hafen nicht verwehren.

Im Ergebnis werden durch regulatorische Entwicklungen, an denen der Bund beteiligt ist oder die durch den Bund initiativ betrieben werden, eine einheitliche Fortentwicklung des Rechtsrahmens bewirkt, soweit Regelungen des Schiffsverkehrs und der Schiffszulassung betroffen sind.

³¹ OVG Berlin-Brandenburg (Senat), Beschluss vom 13.12.2013 - OVG 11 N 34.12 BeckRS 2014, 45018; vgl. BVerwG, Urteil vom 17. Januar 1986 - 4 C 80/82.

³² <https://www.htg-online.de/fachgremien/fachausschuesse/ufereinfassungen/>.

C. Deliktische Haftung in der Binnenschifffahrt und Auswirkung der Realisierung von Automatisierungstechnologien

Sobald Binnenschiffe mit Automatisierungstechnologien (nachfolgend auch automatisierten oder autonomen Fahrfunktion) ausgestattet werden, ist die Verwirklichung eines Schiffsunfalls bzw. einer Havarie unter Beteiligung der vorgenannten Fahrfunktion möglich. War die Fahrfunktion für das Unfallereignis zumindest mitursächlich, ist für alle Beteiligten relevant, welches Haftungssubjekt unter welchen Voraussetzungen für die Ursächlichkeit Verantwortung und in der Folge Haftung zu tragen hat.

Nachfolgend liegt das Augenmerk auf der deliktischen Haftung der Beteiligten. Ausgehend von der derzeitigen Rechtslage sind typische Haftungssubjekte regelmäßig Schiffseigner, Schiffsausrüster und Schiffer im Sinne des Binnenschiffahrtsgesetz (im Folgenden: BinSchG).

I. Grundsätzliche Haftung des Schiffseigners und Schiffsausrüster

Die Besonderheit des BinSchG ist, dass es die sogenannte adjektizische Haftung des Schiffseigners vorsieht.³³ Ausgangspunkt der Haftung des Eigners aus § 3 Abs. 1 BinSchG ist ein Schadensersatzanspruch gegen eine Person der Schiffsbesatzung, welche in Ausführung von Verrichtungen begründet wurde.³⁴ Aufgrund internationaler Übereinkommen vom 15. März 1960 zur Vereinheitlichung einzelner Regeln über den Zusammenstoß von Binnenschiffen, sind die Regelungen der Haftung für den Fall der Schiffskollision gesondert in den §§ 92a ff. BinSchG normiert worden und als speziellere Regelung vorrangig anwendbar.

Eigner ist nach § 1 BinSchG der Eigentümer eines zur Schifffahrt auf Flüssen oder sonstigen Binnengewässern bestimmten und hierzu von ihm verwendeten Schiffes. Wer ein ihm nicht gehöriges Schiff zur Binnenschifffahrt verwendet und es entweder selbst führt oder die Führung einem Schiffer anvertraut, wird Dritten gegenüber als Schiffseigner im Sinne dieses Gesetzes angesehen (§ 2 Abs. 1 BinSchG) und als Ausrüster bezeichnet.

Anknüpfungspunkt der adjektizischen Haftung ist die Haftung einer Person der Schiffsbesatzung.³⁵ im Regelfall wird es daher im üblichen Schiffsverkehr auf dem Umgang der Schiffsbesatzung mit einer automatisierten oder autonomen Fahrfunktion ankommen, wenn die Frage nach Verantwortung und Haftung beurteilt werden soll.

II. Haftung des Schiffsführers

Zentraler Anknüpfungspunkt für die Haftung im Umgang mit automatisierten bzw. autonomen Fahrsystemen wird daher regelmäßig die Person des Schiffers, auch Schiffsführer genannt, sein. Der Schiffer ist gemäß § 7 BinSchG der Führer eines Schiffes. Er wird in der Regel als Schiffsführer bezeichnet. An den Schiffsführer werden beispielsweise durch die Verkehrsvorschriften (z.B. BinSchStrO), aber auch Vorgaben der Umschlagstechnik zahlreiche Sorgfaltspflichten und Verkehrssicherungspflichten gestellt. Insbesondere zur Betriebssicherheit des Schiffs ergeben sich bzgl. des Hafenverkehrs und des dortigen Umschlags relevante Pflichten aus § 8 Abs.

1 und 2 BinSchG. Insbesondere die Pflicht während des Umschlags auf die Stauung im Schiff und auf die Stabilität des Schiffs zu achten, hat in der Vergangenheit Relevanz erlangt und es wurde in der Rechtsprechung aufgezeigt, dass der Schiffsführer seine Pflichten während des Umschlags nur schwer delegieren kann.³⁶

Kommt es zur schuldhaften Pflichtverletzung steht die deliktische Haftung § 823 Abs. 1 und ggf. 2 BGB grundsätzlich im Raum, wobei freilich der Einzelfall zu würdigen wäre. Ausgehend von den Untersuchungsszenarien kommt es bei der Nutzung von Automatisierungstechnologien zu dem Umstand, dass während der Nutzung der Schiffsführer vollständig aus seiner Rolle entlassen wird und im Anwendungsbereich der Funktion keine Pflichten zu erfüllen hat. Bewusst wird nachfolgend nicht die Rückgabe der Schiffsführung an den menschlichen Schiffsführer beleuchtet. Vielmehr sollen die Auswirkungen auf das tradierte Haftungssystem sichtbar werden, die das Fehlen der menschlichen Handlungs- und Verantwortungskomponente auf dem Schiff verursacht.

III. Keine deliktische Haftung des Schiffsführers und des Eigners nach § 823 Abs. 1 BGB bzw. nach den Grundsätzen des BinSchG

Fehlt es an Schiffspersonal oder wurde es aus der Schiffsführung entlassen, kann für eine deliktische Haftung nicht mehr an eine menschliche Handlung des Schiffsführers angeknüpft werden. Insofern scheidet auch die adjektizische Haftung des Eigners aus.

Freilich ist der Haftung des Eigners als Betreiber des Binnenschiffs Raum eröffnet, wenn er seine Verkehrssicherungspflicht im Sinne des § 823 Abs. 1 BGB bereits durch die Inverkehrgabe eines unsicheren oder unzulässigen Fahrsystems verletzt.

Fehlerhafte Schiffssteuerung durch die Automatisierungstechnologien stellen jedoch keine Handlung dar und können auch kein Verschulden aufweisen, sodass keine deliktische Haftung an menschliches Handeln angeknüpft werden kann.

IV. Verlagerung auf die Verantwortung des Herstellers

Als Anbieter und Entwickler automatisierter Fahrsysteme rücken haftungsrechtlich zunehmend und verkehrsträgerübergreifend die Hersteller in den Fokus. Ihrer Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz sowie der deliktischen Produzentenhaftung wird ein starker Bedeutungszuwachs prognostiziert.³⁷

1. Haftung des Herstellers als Schiffer im Sinne des § 7 BinSchG

Ein automatisiertes System wird zukünftig die Schiffsführung teilweise oder vollständig übernehmen. Soweit für den Systembetrieb keine Person oder Fernsteuerung bzw. Überwachung vorgeschrieben ist, kommen diese Adressaten auch nicht als Haftungssubjekte in Betracht.

Zumindest sprachlich kann in der Folge die automatisierte Fahrfunktion (die Automatisierungstechnologien) als Schiffsführer bezeichnet werden, sodass es naheliegend erscheint, den

³³ Ramming, Handbuch zum Binnenschiffahrtsrecht, 2009, Rn. 23 ff.

³⁴ Ramming, Handbuch zum Binnenschiffahrtsrecht, 2009, Rn. 26.

³⁵ Ramming, Handbuch zum Binnenschiffahrtsrecht, 2009, Rn. 26.

³⁶ Vgl. Urteil AG Hamburg, RdTW 2020, 470; MoselSchiffG St. Goar, Urteil vom 13.01.2022 – 4 C 2/21 BSchMo - BeckRS 2022, 15810.

³⁷ v. Bodungen/Hoffmann, NZV 2016, 503 (503); Fleck/Thomas, NJOZ 2015, 1393 (1396); Schubert, PHI 2015, 46 (48); Gomille, JZ 2016, 76 (76).

Hersteller des Systems als Schiffsführer zu identifizieren und entsprechende Haftungsmaßstäbe anzusetzen.

Diese Handhabung des Rechts hielt die Systematik des durch das BinSchG angeordneten Haftungssystems aufrecht. Fehlt es an einem Schiffsführer liefe auch die adjektivische Haftung des Eigners bzw. Ausrüsters leer, da der Schiffseigner nur für den Schaden verantwortlich ist, den eine Person der Schiffsbesatzung oder ein an Bord tätiger Lotse einem Dritten in Ausführung von Dienstverrichtungen schuldhaft zufügt.

Mangels Person der Schiffsbesatzung fehlt es jedoch am Anknüpfungssubjekt. Unter Schiffer im Sinne des § 7 BinSchG versteht das Gesetz den verantwortlichen Führer, dem die Leitung und Befehlsgewalt über ein Binnenschiff iSv § 1 obliegt.³⁸

Als Schiffsführer kommt nur in Betracht, wer zur Führung eines Binnenschiffes, sowie jedes Schwimmkörpers zur Verwendung auf Binnenwasserstraßen geeignet ist. Diese Eignung gilt als vorhanden, wenn der Schiffsführer „ein Schifferpatent für die Fahrzeugart und für die zu befahrende Strecke besitzt“ (§ 1.02 Nr 1 BinSchStrO sowie die entsprechenden Vorschriften von RheinSchPV, MoselSchPV und DonauSchPV).³⁹

Der Schiffsführer muss zwar während der Fahrt ständig an Bord sein (§ 1.02 Nr 4 BinSchStrO), nicht zwingend erforderlich ist indes, dass er unmittelbar die Steuerung des Schiffes ausübt. Dazu kann er sich eines Rudergängers bedienen, einer Person, „die hierfür fachlich geistig und körperlich geeignet und mindestens 16 Jahre alt ist“ (§ 1.09 BinSchStrO). Ein solches Überlassen des Ruders ändert jedoch nichts daran, dass die Befehlsgewalt über und die vollständige Verantwortung für das Schiff bei dem Schiffsführer verbleibt.⁴⁰

Demnach erscheint es nicht fernliegend, dass ein Hersteller, durch das entwickelte und verbaute System dazu geeignet ist, das Schiff wie ein Patentinhaber zu führen. Schließlich muss das System auf dem gleichen Sicherheitsniveau funktionieren, wie der herkömmliche Schiffsführer. Zudem kann auch ohne weiteres dargestellt werden, dass der Hersteller das Fahrzeug zwar nicht eigenhändig führt, jedoch über ein System, welches die Fähigkeiten des Rudergängers sogar übersteigen sollte.

Auch wenn man diesen Argumenten folgen wollte, scheidet der Hersteller spätestens am Erfordernis der persönlichen Anwesenheit auf dem Schiff aus. Zudem unterliegt das gesetzliche Leitbild der Annahme, dass eine Person, sei es der Schiffsführer selbst oder ein Rudergänger, für ihn die tatsächliche Beherrschung und Steuerung des Fahrzeugs ausübt.

Eine solche Beherrschung übt der Hersteller indes nicht aus. Das System an Bord ist darauf angewiesen, dass konkrete Umgebungsdaten zugeliefert bzw. ermittelt werden. Diese Daten erlauben es der Navigationssoftware, die im Einzelfall angebrachte Fahrbewegung algorithmisch zu berechnen. Insofern setzt die einzelfallbezogene Steuerungsentscheidung zwar auf der Programmierung durch den Hersteller auf. Ihre Konkretisierung im Einzelfall ist aber nicht dergestalt durch den Hersteller vorherbestimmt, dass dieser tatsächlich Herrschaft über das Schiff

und dessen Fahrt erlangt.⁴¹ Insbesondere, wenn KI-Komponenten hinzutreten, lässt sich nicht einmal darlegen, dass die Navigationsentscheidung im Vorhinein determiniert wurde.

2. Produkt- und Produzentenhaftung

Personen- oder Sachschäden auf Grund fehlerhafter maschineller Steuerungsentscheidungen automatisierter Fahrfunktionen stellen die Frage nach der verschuldensabhängigen Produzentenhaftung nach § 823 Abs. 1 BGB als auch der verschuldensunabhängigen Produkthaftung des Herstellers nach § 1 Abs. 1 Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG).⁴²

Für einen Anspruch aus verschuldensabhängiger, deliktischer Produzentenhaftung bedarf es zunächst eines Anknüpfungspunktes für das Verschulden, welche für automatisierte Fahrfunktionen grundsätzlich in der Verletzung von Verkehrssicherungspflichten durch den Hersteller begründet sind.⁴³ Der Hersteller ist verpflichtet, die von seinem Produkt ausgehenden Gefahren im Rahmen des technisch Möglichen und wirtschaftlich Zumutbaren gering zu halten.⁴⁴ Daneben ist an die Verletzung einer der deliktischen Produzentenhaftung derzeit noch exklusiv vorbehaltenen Produktbeobachtungspflicht zu denken.⁴⁵

Im Schadensumfang sind neben etwaigen Drittschäden auch Schäden am Fahrzeug selbst zu beachten. Ein derartiger Eigentumsschaden durch die Fehlerhaftigkeit der automatisierten Fahrfunktion lässt sich im System der deliktischen Produzentenhaftung nur liquidieren, wenn keine „Stoffgleichheit“ zwischen der Eigentumsverletzung und dem das Äquivalenzinteresse auf ordnungsgemäße Vertragserfüllung tangierenden Mangelunwert des Fahrsystems vorliegt.⁴⁶ In diesem Kriterium zeigt sich gerade die Grenze zum kaufrechtlichen Mängelgewährleistungsrecht.⁴⁷

Bei Schäden am Eigentum zieht auch das Haftungsregime des ProdHaftG eine Grenze. Grundlegend für einen Anspruch nach dem ProdHaftG ist zunächst ein schadensverursachender Produktfehler i. S. v. § 3 ProdHaftG. Nach § 1 Abs. 1 S. 2 ProdHaftG sind allerdings nur Schadenersatzansprüche gegen den Hersteller umfasst, die an anderen Sachen als dem fehlerhaften Produkt entstehen. Unabhängig davon, dass die Produkthaftung gem. § 1 Abs. 1 S. 2 ProdHaftG nur an Sachschäden im Privatbereich besteht, würde es an der Voraussetzung fehlen, wenn eine funktionale Abgrenzung zwischen der Gesamtsache und der automatisierten Fahrfunktion auf Grund technischer Gegebenheiten unsachgemäß erscheint.⁴⁸

Im Ergebnis lassen sich zwischen den beiden Anspruchsregimen der Produkthaftung nach ProdHaftG und der Produzentenhaftung nach § 823 Abs. 1 BGB unumstößlich Parallelen

³⁸ v. Waldstein/Holland, 5. Aufl. 2007, S. 127 § 7 Rn 1.

³⁹ v. Waldstein/Holland, 5. Aufl. 2007, S. 128 § 7 Rn. 2

⁴⁰ v. Waldstein/Holland, 5. Aufl. 2007, S. 128 § 7 Rn. 3

⁴¹ Vgl. v. Bodungen/Hoffmann, NZV 2016, 503 (503).

⁴² Grundlegend prägt die ProdHaftRL der EU das Recht von Produzenten und Produkthaftung. Die Richtlinien Jahr 2024 reformiert. Bis zum 9.12.2026 sind die Anpassungen in das deutsche Recht zu übernehmen. Da die Produzentenhaftung jedoch bereits weitreichendere Bestimmungen vorsieht, bleibt abzuwarten, ob mit Blick auf Automationen in der gewerblichen Binnenschifffahrt Änderungen relevant werden.

⁴³ Wagner, in: MüKo BGB, 9. Auflage 2024, § 823 Rn. 888; Wagner, VersR 717 (724 f.).

⁴⁴ Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 1. Februar 2026), § 823 Rn. 702, 735f.; Hager, in: Staudinger, BGB (Neubearb. 2021), § 823 F 11; Teichmann, in: Jauernig, BGB, 19. Aufl. (2023), § 823 Rn. 35.

⁴⁵ Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 1. Februar 2026), § 823 Rn. 735; vgl. Hager, in: Staudinger, BGB (Neubearb. 2021), § 823 F 20.

⁴⁶ Förster in BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 01.02.2026), Rn. 686; BGH, NJW 1985, 2420 (2420).

⁴⁷ BGH, NJW 1977, 379 (380 f.); NJW 1983, 810 (811 f.); NJW 1985, 2420 (2420); NJW 1992, 1225 (1226 f.).]

⁴⁸ Berz/Dedy/Granich, DAR 2000, 545 (550); Vogt, NZV 2003, 153 (158); Spindler, CR 2015, 766 (768 u. 773).

ziehen, wenn die produktbezogene Konstruktion, Fabrikation oder Instruktion den berechtigten Sicherheitserwartungen des betroffenen Verkehrskreises nicht genügt.⁴⁹ Insofern erfolgt nachstehend die überlagerte Darstellung, auch wenn für den Bereich der Binnenschifffahrt für den bedeutenden Fall der Sachschäden stets der Ausschluss gem. § 1 Abs. 1 S. 2 ProdHaftG greifen wird, sodass in der Praxis die Produzentenhaftung des Herstellers primär relevant sein wird.

a) Anzulegender Sorgfaltsmaßstab

Bringt der Hersteller eine automatisierte Fahrfunktion in Verkehr gilt haftungsrechtlich festzustellen, welchem Sorgfaltsmaßstab genüge getan werden muss. Der Automatisierung ist immanent, dass durch die Übertragung exekutiver Ausführung auf das System, die Betrachtung im Rahmen der Verschuldenshaftung weg von der konkreten Handlung und hin zur Überwachung verlagert werden muss.⁵⁰ Die Gefahr von Leib und Leben anderer findet im Rahmen schiffrechtsrechtlicher Sorgfaltspflichten unter dem Aspekt der Gefährlichkeit von Binnenschiffen – insbesondere im Hinblick auf Ausmaß, Manövrierbarkeit und Einsichtsfähigkeit des Schiffers – Berücksichtigung.⁵¹ Im Sinne eines der Gefahr entsprechenden Sorgfaltsmaßstabs hängt das Sorgfaltsniveau zudem nicht unerheblich von den Erwartungen des Nutzers bzw. Geschädigten ab,⁵² wobei allerdings in der Schifffahrt als auch im Rahmen der allgemeinen Nutzung automatisierter (Fahr)funktionen ein Gebot der Wirtschaftlichkeit der Sorgfaltsanforderungen berücksichtigt werden muss.⁵³

Zudem gilt ein erhöhter Sorgfaltsmaßstab anzusetzen, wenn sich die automatisierte Fahrfunktion im öffentlichen Raum bewegt,⁵⁴ was beim Einsatz auf Hafengewässern und Binnenwasserstraßen regelmäßig der Fall sein wird.

Drohen erhebliche Schäden an Leben und Gesundheit, ist die Sicherheitserwartung bzw. der Sorgfaltsmaßstab besonders ausgeprägt.⁵⁵ Maschinell gesteuerte Binnenschiffe werden jedenfalls anfangs gemeinsam mit herkömmlichen Binnenschiffen am Verkehr teilnehmen.

Im Produkthaftungsrecht ist gem. § 3 Abs. 1 ProdHaftG erforderlich, dass ein Produkt die Sicherheit bietet, die unter Berücksichtigung aller Umstände erwartet werden darf. Zwischen dem produzentenhaftungsrechtlichen Sorgfaltsmaßstab und den Anforderungen an die Sicherheit im Produkthaftungsrecht besteht insoweit Kongruenz.⁵⁶

Automatisierte Schiffe haben sich ebenso wie manuell gesteuerte Fahrzeuge in den Verkehr auf der Wasserstraße zu integrieren. Die übrigen Verkehrsteilnehmer vertrauen auf die Regelkonformität auch automatisierter Schiffe, weshalb die systemseitige Befolgung aller herrschenden

Verkehrsregeln den Sicherheitsstandard festlegt, dem die automatisierte Fahrfunktion jederzeit genügen muss.

Es wird abgeleitet aus den Erkenntnissen zum Straßenverkehr auch für die Schifffahrt unterstellt, dass das frühere Erkennen von Gefahrenstellen, die geringere Reaktionszeit in Notsituationen, das Ausreizen physikalischer Grenzen – insgesamt also grundlegend im Menschen begründetes gefahrerhöhendes Fehlverhalten – von automatisierten Fahrfunktionen in vielfacher Hinsicht besser gemeistert werden wird.⁵⁷ Man könnte also sagen, dass die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit ein Mindestmaß der der an das Automationsprodukt zu stellenden Sicherheitserwartung darstellen werden.⁵⁸ Dennoch stellt der Systemvergleich Mensch-Automationstechnologie keinen Sicherheitsstadar für die Systementwicklung dar. Für den Hersteller wird sich daraus die Konsequenz ergeben, dass ein einfacher Vergleich der automatisierten Fahrfunktion mit einem eigenständig agierenden Verkehrsteilnehmer zum Entzug aus dem Vorwurf einer Sorgfaltspflichtverletzung nicht ausreichen wird. So wird das Erstellen eines technischen Standards in der Art der technischen Norme IEC 61508 und ISO 26262 notwendig sein, um die Anforderungen an den Hersteller messbar zu machen und zu definieren. Die Exkulpation des Herstellers anhand des Vergleichsmaßstabs „Menschlicher Fahrzeugführer“ soll nicht ausreichen.⁵⁹ Die Darlegung eine Automatisierungstechnologie verursache im statistischen Mittel weniger Schadensereignisse als ein menschlicher Schiffsführer wird zu Entlastung somit nicht genügen.

b) Spezifika der Haftung für Konstruktions- und Fabrikationsfehler

Mit der zunehmenden Automatisierung von Fahrfunktionen steigen berechtigterweise auch die Anforderungen der Nutzer an eine fehlerfreie und selbstständige Bewältigung des Verkehrsgeschehens, was durch die Einteilung der Automationsstufen durch die ZKR unterstrichen wird.

Konsequenterweise gilt es zu klären, ob es sich bei entsprechenden Fehlern um Konstruktionsfehler (Fehler im Design/Bauplan) oder um Fabrikationsfehler (Verfehlung der durch den Hersteller definierten der Sicherheitsstandards im Einzelfall) handelt.

In diesem Zusammenhang lässt es sich auf die bekannten Kriterien unter Berücksichtigung der Spezifika softwarebezogener Fehlfunktionen abstellen.⁶⁰

Bei der in Rede stehenden Automatisierungstechnologie handelt es sich zuvörderst um ein Softwareprodukt, das auf Grund von sensorisch gewonnener Dateninterpretation und der daraus ermittelten Fahrbewegung, Aspekte künstlicher Intelligenzsysteme aufweist -⁶¹ insbesondere, wenn das System vorprogrammierte Fahrmanöver interpretiert, optimiert und eigenständig „erlernte“ Manöverooptionen hinzufügt. Allerdings bewegen sich die automatischen Verbesserungen in der Regel stets in den vorab von menschlichen Entwicklern programmierten, vor- und

⁴⁹ Vgl. BGH, NJW 2009, 2952 (2953); Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 1. Februar 2026), § 823 Rn. 685; Wagner, in: MüKo BGB, 9. Aufl. (2024), § 3 ProdHaftG Rn. 3.; Voigt, in: BeckOGK, Stand 01.02.2026, § 823, Rn. 414.

⁵⁰ Vgl. Horner/Kaulartz, CR 2016, S. 7 f.

⁵¹ Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand 01.02.2026), § 823 Rn. 547.

⁵² BGH, 13.07.1989 - III ZR 122/88, NJW 1989, 2808; Horner/Kaulartz, CR 2016, S. 11; Wagner, in: Münchener Kommentar zum BGB, 9. Aufl. (2024), § 823 Rn. 533 f.

⁵³ Horner/Kaulartz, CR 2016, S. 14 f.; vgl. Voigt, in: BeckOGK, Stand 01.02.2026, § 823, Rn. 629; RGZ 124, 49 (52).

⁵⁴ Horner/Kaulartz, CR 2016, S. 11

⁵⁵ BGH, 16. 6. 2009 - VI ZR 107/08, NJW 2009, 2952 (2954).

⁵⁶ BGH, 16. 6. 2009 - VI ZR 107/08, NJW 2009, 2952 (2953); Geissl, BB-Sonderausgabe RAW 2013, 20 (24); Schucht, BB 2016, 456 (456 f.).

⁵⁷ Färber, in: Maurer/Gerdes/Lenz/Winner, Autonomes Fahren, 2015, S. 127 (137); Gomille, JZ 2016, 76 (77).

⁵⁸ Gomille, JZ 2016, 76 (77); Schrader, DAR 2016, 242 (246); ähnlich Lutz, NJW 2015, 119, wonach automatisierte Fahrzeuge mehr Sicherheit gewährleisten müssten als durchschnittliche menschliche Fahrer.

⁵⁹ Voigt, in: BeckOGK, Stand 01.02.2026, § 823 Rn. 791 (mwN).

⁶⁰ Zu Fahrzeugassistentensystemen: Mayer/Harland, CR 2007, 689 (691); zu automatisierten Fahrzeugen Geissl, BB-Sonderausgabe RAW 2013, 20 (24 f.); Gomille, JZ 2016, 76 (77 f.).

⁶¹ Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand 01.02.2026), ProdHaftG § 2, Rn. 24.

festgeschriebenen Regeln.⁶² Daraus ergibt sich, dass wenn ein maschinell entwickeltes Manöver von dem Verhalten abweicht, das menschlich in der jeweiligen Verkehrssituation zu erwarten wäre, ein sicherheitsrelevanter, softwarebasierter Konstruktionsfehler vorliegt, der eine Haftung des Herstellers begründen könnte.⁶³

Neben von der Software ausgehenden Fehlfunktionen müssen auch Einwirkungen Externer (sog. Hackerangriffe oder Cyberattacken) in den Kreis der Konstruktionsfehler mit einbezogen werden.⁶⁴ Weil ein vollständiger, lückenloser Schutz für den Hersteller unzumutbar wäre, muss zumindest der implementierte Stand der Wissenschaft und Technik zur Abwendung solcher Angriffe ausreichend sein.⁶⁵ Eine Haftung des Herstellers der automatisierten Fahrfunktion wegen eines Konstruktionsfehlers kommt in diesem Zusammenhang also dann in Frage, wenn er das automatisierte Fahrsystem unzureichend gegen Sabotagehandlungen Dritter gesichert hat.⁶⁶ Bei der Bewertung des Cyberrisikos und etwaiger Standards sowie erforderlicher Sicherheitsmaßnahmen ist die aktuelle Gesetzgebung der EU zu beachten. Mangels spezieller Regelungen können Automatisierungstechnologien in den Anwendungsbereich Verordnung (EU) 2024/2847 vom 23. Oktober 2024 über horizontale Cybersicherheitsanforderungen für Produkte mit digitalen Elementen fallen. Mit dieser Verordnung sollen die Rahmenbedingungen für die Entwicklung sicherer Produkte mit digitalen Elementen geschaffen werden, damit Hardware- und Softwareprodukte mit weniger Schwachstellen in den Verkehr gebracht werden und damit sich die Hersteller während des gesamten Lebenszyklus eines Produkts konsequent um die Sicherheit kümmern.⁶⁷

Zudem werden an Hersteller nach der als „KI-Verordnung“ bezeichneten Verordnung (EU) 2024/1689 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 über harmonisierte Vorschriften für künstliche Intelligenz Anforderungen an Anbieter von KI-Produkten gestellt. Es ist davon auszugehen, dass auch deren Anforderungen herstellerseitig Beachtung finden müssen.

c) Zunehmende Relevanz von Instruktionspflichten

Die Signifikanz der potenziell gefährdeten Rechtsgüter wie Leben und Gesundheit wirkt sich auch dahingehend aus, dass der Hersteller in Anbetracht der Neuartigkeit von Automatisierungsfunktionen und ihrer unterschiedlichen Leistungsfähigkeit künftig auf die Prävention von Instruktionsfehlern achtzugeben hat. Die Instruktionspflicht muss sich im Rahmen automatisierter Fahrfunktionen unmissverständlich bezüglich des Automatisierungsgrads, der Leistungsfähigkeit und Limitierungen des Systems instruieren, um dem Nutzer (insb. dem Eigner

bzw. Ausrüster des Schiffs) den bestimmungsgemäßen Gebrauch zu ermöglichen (bzw. vorhersehbaren Fehlgebrauch zu verhindern) und die Sicherheit des Verkehrs zu gewährleisten.⁶⁸

Die Haftung des Herstellers ergibt sich im Rahmen des Instruktionsfehlers aus mangelhaften Gebrauchsanweisungen oder unzureichenden Warnungen über Gefahren.⁶⁹

Beim Ausspruch der Instruktion wird den Herstellern zu Realismus geraten: Eine dem Marketing übliche Überzeichnung der Leistungen des automatisierten Fahrsystems kann sich bezüglich der Haftung negativ auswirken.⁷⁰

Der Instruktionspflicht immanent ist mitunter der ordnungsgemäße Hinweis auf Funktionszusammenhänge des Produktes und somit der automatisierten Fahrfunktion.⁷¹ Die Besonderheit automatisierter Fahrfunktionen liegt dabei in der Alternation zwischen der maschinellen und menschlichen Fahrzeugführung, weshalb eine umfassende Aufklärung über die Funktionsweise der Schnittstelle – das sog. Human Machine Interface – insbesondere Berücksichtigung finden sollte.⁷²

Für den Hersteller einer automatisierten Fahrfunktion könnte es angebracht sein, neben der Betriebsanleitung, visuelle, akustische und haptische Signale für die Übermittlung von Warn- und Nutzungshinweisen zu implementieren, um das Sicherheitsniveau zu erhöhen und dem Nutzer – ähnlich wie bei der Sicherheitseinweisung im Flugzeug – gesteigerte Aufklärungsmöglichkeit zu bieten.⁷³

d) Intensivierung der Produktbeobachtungspflichten

Die dem ProdHaftG nur bisher unbekannte Produktbeobachtungspflicht intensiviert auf Seiten der deliktischen Produzentenhaftung die Instruktionspflichten über den Zeitpunkt des Inverkehrbringens des autonomen Fahrsystems hinaus.

Um einem umfassenden Sorgfaltsmaßstab gerecht zu werden, sollen durch die Produktbeobachtungspflicht Sicherheitsmängel reguliert werden, die erst ex post zu Tage treten.⁷⁴ Den Hersteller neuer, noch nicht am Markt etablierter Produkte trifft dabei eine gesteigerte Produktbeobachtungspflicht und vor dem Hintergrund der Neuartigkeit von Automatisierungsfunktionen sowie ihres Gefahrenpotentials für die Verkehrssicherheit ist unumstößlich vom Erfordernis umfassender Produktbeobachtungsmaßnahmen auszugehen.⁷⁵ Die Bekanntheit und

⁶² Wachenfeld/Winner, in: Maurer/Gerdes/Lenz/Winner, Autonomes Fahren, 2015, S. 465 (468); Stiernerling, CR 2015, 762 (765); Spindler, CR 2015, 766 (767).

⁶³ v. Bodungen/Hoffmann, NZV 2016, 503 (505).

⁶⁴ Kleemann/Arzt, vertrauenswürdige IT für autonomes Fahren, FÖPS Digital 11, Mai 2023, S. 83.

⁶⁵ Ebers, Haftung für fehlerhafte Daten beim autonomen Fahren, in: Specht/Riemenschneider/Werry/Werry (Hrsg.), Datenrecht in der Digitalisierung § 9.2 Rn. 50.

⁶⁶ Eine Haftungsprivilegierung des Herstellers gemäß §§ 8-10 TMG lässt sich nur schwerlich annehmen, weil seine Tätigkeiten „nicht rein technischer, automatischer und passiver Art“ sind (so Erwägungsgrund 42 der E-Commerce-Richtlinie). Vielmehr knüpft die Haftung an Sicherheitslücken seiner Konstruktion an (a. A. Hilgendorf, in: Hilgendorf/Hötitzsch/Lutz, Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge, 2015, S. 15 (27 f.)).

⁶⁷ Verordnung (EU) 2024/2847, Erwägungsgrund 2.

⁶⁸ Vgl.: Berz/Dedy/Granich, DAR 2000, 545 (550); Spindler, CR 2015, 766 (769); Schrader, DAR 2016, 242 (243); vgl. Voigt, in: BeckOK BGB, 1.2.2026, § 823, Rn. 756 – in Bezug auf (automatisierte) Fahrassistenzsysteme.

⁶⁹ Vgl. BGH, NJW 1998, 2905 (2907); NJW 1999, 2815 (2816); Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 1. Februar 2026), § 823 Rn. 729.

⁷⁰ Färber, in: Maurer/Gerdes/Lenz/Winner, Autonomes Fahren, 2015, S. 127 (139).

⁷¹ Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 01.02.2026), ProdHaftG § 3 Rn. 36.

⁷² Franke, DAR 2016, 61 (63) identifiziert das Human Machine Interface als „Kristallisationspunkt strafrechtlicher Zurechnung“. Für die zivilrechtliche Zurechnung und Haftung kann nichts anderes gelten.

⁷³ Hierzu bereits Geissl, BB-Sonderausgabe RAW 2013, 20 (25).

⁷⁴ BGH, NJW 1981, 1606 (1607); NJW 2009, 1080 (1081); Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 01.02.2026), § 823 Rn. 735; Spindler, CR 2015, 766 (769 f.).

⁷⁵ Vgl. zur Relevanz der Neuartigkeit und des Schädigungspotentials eines Produktes für die Intensität der flankierenden Beobachtungspflicht des Herstellers Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand: 01.02.2026), § 823 Rn. 738; Wagner, in: MüKo BGB, 9. Aufl. 2024, § 823 Rn. 1110.

Unvermeidbarkeit von Programmierungsfehlern bei softwarebasierten Systemen führt zudem zu einer gesteigerten Produktbeobachtungs- und -kontrollpflicht.⁷⁶

e) Möglichkeiten zur Enthaftung des Herstellers

Im Anbetracht der Ausführungen drängen sich Möglichkeiten der Entlastung für den unter weitreichenden Haftungsfolgen stehenden Hersteller automatisierter Fahrfunktionen bei der Fehlerhaftigkeit ihrer Produkte auf. Insbesondere stellt sich die Frage, inwieweit dieser weitreichenden Haftung im Rahmen von Entwicklungsfehlern und mit Instruktionen gegenüber dem Nutzer der automatisierten Fahrfunktion begegnet werden kann.

aa) Vorliegen eines Entwicklungsfehlers

Technischer Fortschritt ermöglicht eine konsekutive Anpassung und Erhöhung des Sicherheitsniveaus automatisierter Fahrfunktionen.⁷⁷ Retrospektiv ergeben sich daraus allerdings auch Risiken und Haftungslücken für Systeme, deren technisches Niveau zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens diesem weiterentwickelten Standard nicht genüge getan hat. Das Autonomierisiko ist allerdings keine pauschale Entlastung, da sich das Vorliegen eines Entwicklungsfehlers nicht auf ein Verhalten des Systems in einer für den Hersteller unvorhersehbaren Gefahrensituation bezieht, sondern auf die Erkennbarkeit des Autonomierisikos im Allgemeinen.⁷⁸

Ein Entwicklungsfehler im Sinne des § 1 Abs. 2 Nr. 5 ProdHaftG liegt bei sicherheitsrelevanten Defiziten des Produktes nach dem Stand von Wissenschaft und Technik im Zeitpunkt des Inverkehrbringens auf Grund von mangelnder Erkenntnismöglichkeit vor.⁷⁹ Maßgeblich ist die Erkennbarkeit des Fehlers nach dem Stand der Wissenschaft und Technik, worunter der Inbegriff der Sachkunde zu verstehen ist, der im Bereich Wissenschaft und Technik – auch über ländergrenzen hinweg – objektiv besteht und allgemein zur Verfügung steht.⁸⁰ Die Anforderungen an die Erkenntnismöglichkeit und die Sicherheitsrelevanz ergeben sich dabei immer aus dem objektiven Maßstab des betroffenen Rechtskreises,⁸¹ was im Rahmen des Gefährdungspotentials automatisierter Fahrfunktionen in der Binnenschifffahrt ebenfalls Berücksichtigung finden muss. Dies ist für die Bestimmung der Sorgfaltspflicht aus § 823 Abs. 1 BGB als auch aus ProdHaftG gleichermaßen anzunehmen.⁸²

In diesem Zusammenhang können auch technische Normen (z.B. der Internationalen Organisation für Normung (ISO)) herangezogen werden, wenn es um die Sachkunde und die Bestimmung des zur Sicherheit Gebotenen aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik geht.⁸³ Insbesondere beabsichtigt die ISO mit der Arbeitsgruppe ISO/TC 8 einen Standard für die Ausgestaltung von maritimer Technologie inklusive Binnenschiffen unter anderem bezogen auf

Autonome (Smart) Schiffe einzuführen.⁸⁴ Ein Sicherheitsstandard für Produktion und Entwicklung von Automatisierungstechnologien zu Land und zu Wasser existiert derzeit somit nicht.

Um die Anwendbarkeit und die Reichweite des Einflusses technischer Normen auf den Ausschluss nach § 1 Abs. 2 Nr. 5 ProdHaftG deutlich zu machen, lässt sich auch eine Parallele zu ISO 26262, dem Standard für die funktionale Sicherheit sicherheitsrelevanter Systeme in Kraftfahrzeugen ziehen: Im Bereich Technischer Standard für Kfz bildet die darin beschriebene Testmethodik die nach aktuellem Stand der Technik verfügbaren Möglichkeiten zur Entdeckung verborgener Produktfehler ab. Bezüglich der ISO 26262 ist zwar zu beachten, dass deren Risikobewertung auf der Annahme eines das Fahrsystem beherrschenden fahrzeugführenden Menschen fußt,⁸⁵ dennoch lässt sich dadurch aufzeigen, dass sich von Seiten des Herstellers durch Einhaltung dieser Standards der Sicherheitsnachweis für ein System erbringen lässt.⁸⁶ Zwischenzeitlich wurden für bestimmte automatisierte Fahrsysteme in Kfz auch eigene technische Standards erlassen.

Daraus folgt: Für automatisierte Fahrfunktionen in der Binnenschifffahrt gilt es Testmöglichkeiten und Entwicklungsstandards zu etablieren. Die technische Normierung und übergreifende Standardisierung durch Industrie und Wissenschaft wird zukünftig eine immer größer werdende Hürde des Herstellers für die Berufung auf die Haftungsbefreiung nach § 1 Abs. 2 Nr. 5 ProdHaftG darstellen. Kann der Markt wegen des beträchtlichen Größenunterschieds zum Automobilsektor keine Marktstandard begründen, wäre an staatliche Förderung und Entwicklung zu denken.

V. Haftung des Eigentümers aus Schiffsgläubigerecht

Nach §§ 102 ff. haftet der Schiffseigner für Schäden aus dem Schiffsbetrieb über das Schiffsgläubigerrecht. Das Schiffsgläubigerrecht sichert Forderungen wegen Personen- und Sachschäden, die im Zusammenhang mit dem Betrieb des Schiffes entstehen (§ 102 Nr. 4) und begründen ein Pfandrecht am Schiff samt Zubehör (§ 103), sodass sich der Geschädigte unmittelbar hieraus befriedigen kann.

Erfasst ist dabei grds. Schadensersatzforderung aus dem Schadensereignis, zumindest unabhängig davon, ob sich die Forderung gegen den Eigner richtet.⁸⁷ Es sichert somit grds. auch Ansprüche etwa gegen einen Produzenten.

VI. Haftung für Hafenanlagen

Auch im Fall der Hafenanlagen wird schuldhafter Verletzung einer Verkehrssicherungspflicht die Haftung des Betreibers der Anlage nach § 823 Abs. 1 BGB zu einem Schadenersatzanspruch des Geschädigten führen. Daneben ist auch ein Anspruch gegen den Produzenten der Anlage

⁷⁶ Spindler, NJW 2004, 3145 (3147); ders., CR 2015, 766 (769); Redeker, IT-Recht, 8. Aufl. 2023, Rn. 901.

⁷⁷ Wagner, in: MüKo BGB, 9. Aufl. 2024, § 823 Rn. 1082.

⁷⁸ Wagner, in: MüKo BGB, 9. Aufl. 2024, ProdHaftG § 1, Rn. 61.

⁷⁹ Förster, in: BeckOK BGB, 77. Edition (Stand 01.02.2026), § 823, Rn. 704; Lutter, RdTW 2017, S. 281 (285).

⁸⁰ BT-Drs. 11/2447 S. 15.

⁸¹ Oechsler, in: Staudinger, 2021, ProdHaftG, § 1 Rn. 121; Lutter, RdTW 2017, S. 281 (285).

⁸² Oechsler, in: Staudinger, 2021, ProdHaftG, § 1 Rn. 125.

⁸³ So hat BGH, NJW 1988, 2667 (2668); NJW 2004, 1449 (1450) den – den ISO-Normen vergleichbaren – DIN-Vorschriften trotz fehlenden Gesetzescharakters bei der Bestimmung des nach der Verkehrsauffassung zur Sicherheit Gebotenen besondere Eignung zugesprochen.

⁸⁴ ISO/TC 8 Strategic business plan, 28.10.2020 (Version 2020), Rn. 17f., 21, https://committee.iso.org/files/live/users/ef/fg/ca/tc8contributor%40iso.org/files/2020-1113/ISO-TC8_N1445_ISO_TC8_Strategic_Business_Plan_in_2020clean.pdf.

⁸⁵ Wachenfeld/Winner, in: Hilgendorf/Hötitzsch/Lutz, Rechtliche Aspekte automatisierter Fahrzeuge, 2015, S. 53 (55).

⁸⁶ Duisberg/Appt, PHi 2010, 214 (215); Gomille, JZ 2016, 76 (79).

⁸⁷ Czerwenka, TranspR1994, 213 (218).

denkbar. Wesentliche Grundzüge der vorab beschriebenen Verlagerung des Haftungsrisikos auf den Hersteller sind somit übertragbar.

Ist das automatisierte System allein ein Schiffsystem und kommt es mit den gleichen Anlagen aus, wie ein herkömmliches Binnenschiff, ist in der Konsequenz auch kein anderweitiger Sorgfaltsmaßstab zu erwarten. Das Automationsrisiko trifft lediglich die Schiffseite.

Führt allerdings der Betreiber eine Automatisierungstechnologien ein, muss er für die Abwehr der Haftung im Schadensfall darlegen können, dass er die erforderliche Sorgfalt im Umgang mit dem Produkt an den Tag legt. Er müsste darlegen können, dass sich die Fehlfunktion, beispielsweise eines Anlegeroboters, der nach dem Schiff greifen und es fixieren kann, nicht durch einen Fehler oder ein Fehlerprotokoll ankündigte. Weiterhin wäre die Haftung bereits virulent, wenn nicht dargelegt werden könnte, dass es sich um ein nach Stand von Wissenschaft und Technik sicheres und damit erlaubtes System handelt. Es bedürfte hierfür eines entsprechenden Standards.

Soweit dem Betreiber kein Verschuldensvorwurf gemacht werden kann, wird der Hersteller des Systems in das Visier der Geschädigten geraten. Insofern sind die obigen Ausführungen zur Produzentenhaftung auf den Hersteller des Landsystem übertragbar.

VII. Ergebnis

1. Der Nutzer einer Automatisierungsfunktion haftet während der automatisierten Fahrt nicht ohne Hinzutreten einer deliktischen Verkehrssicherungspflicht, welche den Schiffsführer oder eine Person der Schiffsbesatzung adressiert und definiert werden muss.
2. Die adjektivische Haftung des BinSchG läuft durch die Suspendierung des Schiffsführers und der Besatzung leer. Gleiches gilt für die entsprechend regulierten Haftungsgrenzen des BinSchG in § 4 ff. BinSchG. Jedoch verbleibt es bei der Haftung des Schiffs aus dem Schiffsgläubigerecht.
3. Die unfallfreie Bewältigung der Schiffsführung mittels eines autonom agierenden Systems wird zum Produzentenrisiko des Herstellers.
4. Mangels bestehender Entwicklungsstandards wird der Hersteller einen hohen Aufwand betreiben müssen, um das erforderliche Sicherheitsniveau des verbauten Systems darstellen zu können.
5. Dem Hersteller kommen keine Privilegierungen, beispielsweise durch Haftungsgrenzen im BinSchG, zugute.
6. Eine Anpassung des haftungsrechtlichen Rahmens erscheint erforderlich, da im Gegensatz zum Bereich des Straßenverkehrs wesentliche Bestandteile des Haftungssystem leerzulaufen drohen. Daneben ist unklar, ob die wenigen Systemanbieter von den Haftungsrisiken der Automation überfordert sein könnten, da die nautischen Risiken auf den Systemanbieter kumuliert werden.
7. Ein Vakuum im Haftungsrecht, welches beispielsweise den Opferschutz aushöhlt, ist auf Ebene der Haftungsnormen nicht zu erwarten. Vielmehr muss der Gesetzgeber prüfen, ob das

Risiko autonomer Schiffe von den Haftungsadressaten geschultert werden kann und es somit nicht faktisch zum mangelnden Opferschutz kommt.

