



(TEIL-) AUTOMATISIERTE SCHUBVERBÄNDE

Kurzgutachten zu den Potenzialen
auf dem Elbe-Lübeck-Kanal

Herr Jonathan Weisheit, M.Sc.

Herr Dipl.-Ing. [FH]. Robert Grundmann

Herr Dipl.-Ing. Ralf Fiedler

Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Univ. Hans-Christoph Burmeister

Fraunhofer Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML
in Hamburg.

Angebotsnummer: 3570-150-2024-96370
Hamburg, im Juli 2025
Projektpartner: Industrie- und Handelskammer Lübeck

Kurzfassung

Der Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) ist eine historische Verkehrsachse in Norddeutschland. Seit 1900 verbindet er die Elbe bei Lauenburg mit der Trave bei Lübeck. Der Kanal stellt den einzigen Anschluss eines deutschen Ostseehafens (den Lübecker Seehäfen) an das mitteleuropäische Binnenwasserstraßennetz dar. Er erstreckt sich über circa 62 km. Im Jahr 2023 verkehrten 594 Güterschiffe auf dem ELK und es wurden circa 270.000 Tonnen Güter transportiert - vor allem Schüttgut.

Welcher Transportbedarf besteht für den ELK? In den letzten zwei Jahrzehnten ist die Transportmenge auf dem ELK kontinuierlich gesunken, stärker als im Bundesgebiet insgesamt. Im Jahr 2024 wurden lediglich ca. 167.000 Tonnen transportiert, hauptsächlich aufgrund einer Sperrung wegen einer defekten Schleuse. Die transportierten Mengen in den Jahren 2022 und 2023 betrugen 279.303 Tonnen bzw. 244.841 Tonnen. Der Bundesverkehrswegeplan 2030 setzt ein Ziel von 600.000 Tonnen Transportvolumen für den Kanal fest. Im geplanten Ausbau soll eine Verlagerung von 16.000 Tonnen von der Straße auf den Kanal erfolgen, und die durchschnittliche Beladung pro Schiff soll von 618 auf 1.094 Tonnen steigen. Die wichtigsten Gütergruppen auf dem Kanal sind Erze, Steine und Erden sowie landwirtschaftliche Erzeugnisse und Sekundärrohstoffe.

Wie ist die zukünftige Entwicklung der Transportvolumina einzuschätzen? Die Nachfrage nach Transportkapazitäten auf dem ELK von regionalen Unternehmen bleibt zwar auf niedrigem Niveau, könnte jedoch steigen, insbesondere für Sekundärrohstoffe, die aufgrund der Sperrung des Kanals in den Jahren 2024 und 2025 auf die Schiene ausweichen mussten. Der Markt für Metallschrott wächst, da Stahlhersteller zunehmend auf Schrott angewiesen sind, um Vorgaben zu Emissionsziele zu erreichen. Zukünftige Infrastrukturprojekte in Norddeutschland, wie die Sanierung der Bahnstrecken Hamburg-Lübeck, könnten den ELK begünstigen, indem diese temporär bestehende Transportkapazitäten reduzieren. Die Eröffnung der Fehmarn-Belt-Route im Jahr 2029 wird voraussichtlich Verkehr von der Jütland-Route auf die Verbindungen über Lübeck verlagern, was logistische Dienstleistungen in Lübeck und somit auch den ELK stärken könnte. Die Autoren des Kurzgutachtens vermuten, dass eine vorsichtige Trendumkehr der transportierten Volumina möglich ist, wenn das bisherige Volumen nach der Wiedereröffnung des ELK zurückkehren und durch eine (Teil-) Automatisierung der Binnenschifffahrt die Transportkosten im Vergleich zu Straße und Schiene sinken.

Welche kurzfristigen technischen Optionen ergeben sich aus der Entwicklung Autonomer Maritimer Systeme (AMS) zur Überbrückung bis zum Ausbau? Die Automatisierung in der Binnenschifffahrt unterscheidet sich deutlich von der in der Seeschifffahrt und ist stärker an die spezifischen Anforderungen und Bedingungen der Binnenwasserstraßen angepasst. Wichtige Aspekte der Automatisierung in diesem Bereich sind die Definition und Zielsetzung, die auf Aspekte wie Kollisionsvermeidung, dynamische Schifffahrtsaufgaben und die Rolle des Schiffsführers fokussiert ist. Während die internationale Schifffahrtsorganisation (IMO) in der Hochseeschifffahrt auf vollständige Autonomie abzielt, ist die Binnenschifffahrt pragmatischer ausgerichtet.

Die Automatisierungsgrade beschreiben, welche Aufgaben vom System und welche weiterhin vom Menschen übernommen werden. Fernsteuerung wird hierbei von Automatisierung unterschieden: Fernsteuerung erfordert menschliches Eingreifen, während Automatisierung bedeutet, dass das Schiff selbstständig Aufgaben übernimmt. Zudem kann der Automatisierungsgrad je nach Abschnitt der Wasserstraße variieren. Beispielsweise kann ein Schiff hochautomatisiert fahren, benötigt jedoch beim Schleusengang menschliche Unterstützung. Im Masterplan Binnenschifffahrt des Bundesministeriums für

Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) von 2019 werden Maßnahmen zur Förderung einer umweltfreundlicheren Flotte und zur Bewältigung digitaler Herausforderungen beschrieben. Zu den wichtigen Punkten gehören die Optimierung der Prozesse an Schleusen, die Implementierung neuer Technologien, die Einrichtung digitaler Plattformen und die Verbesserung der Netzabdeckung sowie die Weiterentwicklung des Melde- und Informationssystems für die Binnenschifffahrt.

Als Ergebnis des vorliegenden Kurzgutachten wird ein Konzept empfohlen, dass auf einer Nachrüstung bestehender Schubverbände basiert. In diesem Retrofit-Konzept sollen bestehende Einheiten genutzt und sensorisch aufgerüstet werden. Das Konzept eignet sich sowohl für die kurzfristige Umsetzung als auch für die längerfristige Automatisierung, ohne den Anschluss an künftige Infrastrukturmaßnahmen oder größere Wasserstraßen zu verlieren. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, den Leichter für nachgelagerte Transporte an stärkere oder größere Einheiten zu übergeben. Ausgehend von einem klassischen Schubverband, bestehend aus einem zentralen Schubboot und einem großen Leichter mit maximal 80 Metern Länge, 8,20 Metern Breite und 2,00 Metern Tiefgang. Die Einheit ist starr gekoppelt, wobei die Steuerungs- und Navigationsaufgaben im Schubboot angesiedelt sind.

Zur Unterstützung des Schubboots werden Multisensorsysteme integriert, die Radar, LiDAR, Kameras, GNSS und AIS umfassen. Zudem kommen Sensoren am Bug des Leichters zur Fahrwasser- und Hinderniserkennung zum Einsatz. Für Schleusenpassagen ist eine Sensorfusion zur präzisen Querabstandsmessung vorgesehen. Die Kommunikation zwischen dem Verband und dem Land erfolgt über 5G/4G, Satellit oder WLAN.

Die technische Weiterentwicklung sieht vor, diese Systeme über Automatisierungsgrad „Teilautomatisierung“ schrittweise zu hochautomatisierten Betriebsformen zu entwickeln. Zunächst werden bestimmte Manöver wie Fahrwasserüberwachung und Kursregelung durch das System übernommen. Perspektivisch können alle Funktionen des Verbands, von der Navigation bis zur Kopplung und dem Manövrieren in engen Bereichen, weitgehend automatisiert ablaufen. Die zentrale Steuerung bleibt im Schubboot, jedoch werden Fernüberwachungssysteme integriert, um eine Notfallintervention durch ein Fernüberwachungszentrum zu ermöglichen.

Inwieweit sind diese rechtlich in Deutschland umsetzbar? Die rechtliche Umsetzbarkeit von AMS in Deutschland ist derzeit eingeschränkt, da es keine spezifischen behördlichen Regelungen für den Betrieb solcher Systeme gibt.

Die Verordnung über die Schiffssicherheit in der Binnenschifffahrt (BinSchUO) erlaubt die zeitlich begrenzte Nutzung neuer Technologien zu Versuchszwecken. Aktuell zeigt der Testbetrieb in Niedersachsen, dass (teil-)automatisierte Binnenschiffe prinzipiell betrieben werden können. Um den Einsatz von AMS auf deutschen Wasserstraßen zu ermöglichen, ist nach Einschätzung der Autoren eine detaillierte technische Beschreibung des angestrebten Systems erforderlich, um den Behörden das Vorhaben im Detail vorzustellen. Zudem ist eine eingehende Auseinandersetzung mit der bestehenden Rechtsgrundlage sowie die direkte Kommunikation mit den zuständigen Behörden notwendig, um eine Ausnahmegenehmigung zu erwirken. Darüber hinaus regelt die Binnenschiffspersonalverordnung (BinSchPersV), welche Personen an Bord eines Binnenschiffes welche Aufgaben übernehmen dürfen und welche Berechtigungen dafür erforderlich sind. Der Fortschritt in der Digitalisierung und Automatisierung könnte langfristig dazu beitragen, die rechtlichen Rahmenbedingungen an die Anforderungen der modernen Binnenschifffahrt anzupassen. Die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) kann nach erfolgreicher Prüfung eine Fahrtauglichkeitsbescheinigung ausstellen und den Testbetrieb erlauben.

Management Summary

The Elbe-Lübeck Canal (ELK) is a historic transport axis in Northern Germany. Since 1900, it has connected the Elbe at Lauenburg with the Trave at Lübeck. The canal represents the only connection of a German Baltic Sea port (the Lübeck seaport) to the Central European inland waterway network. With a length of approximately 62 km. In 2023, 594 cargo ships were active on the ELK, transporting around 270,000 tonnes of goods, primarily bulk materials.

What is the transport demand for the ELK? In the last two decades, the transport volume on the ELK has continuously decreased, more than the national average. In 2024, only about 167,000 tonnes were transported, mainly due to a closure caused by a defective lock. The transported volumes in 2022 and 2023 were 279,303 tonnes and 244,841 tonnes, respectively. The Federal Transport Infrastructure Plan 2030 sets a target of 600,000 tonnes of transport volume for the canal. The planned expansion aims to shift 16,000 tonnes from road to canal transport, and the average loading per ship is expected to increase from 618 to 1,094 tonnes. The main cargo groups on the canal are ores, stones, earths, agricultural products, and secondary raw materials.

How can the future development of transport volumes be assessed? Although the demand for transport capacities on the ELK from regional companies remains low, it could increase, especially for secondary raw materials that had to shift to rail due to the canal's closure in 2024 and 2025. The market for metal scrap is growing as steel manufacturers increasingly rely on scrap to meet emission targets. Future infrastructure projects in Northern Germany, such as the renovation of the Hamburg-Lübeck rail line, could benefit the ELK by temporarily reducing existing transport capacities. The opening of the Fehmarn Belt Route in 2029 is expected to shift traffic from the Jutland route to connections via Lübeck, potentially strengthening logistical services in Lübeck and thus the ELK. The authors of this report assume that a cautious trend reversal in transported volumes is possible if the previous volume returns after the reopening of the ELK, and if (partial) automation in inland navigation reduces transport costs compared to road and rail.

What short-term technical options arise from the development of Autonomous Maritime Systems (AMS) until further expansion? Automation in inland navigation differs significantly from that in maritime shipping and is more adapted to the specific requirements and conditions of inland waterways. Important aspects of automation in this area include defining objectives focused on aspects such as collision avoidance, dynamic shipping tasks, and the role of the captain. While the International Maritime Organization (IMO) aims for complete autonomy in deep-sea shipping, inland navigation is more pragmatically oriented.

The levels of automation describe which tasks are performed by the system and which are still handled by humans. Remote control is distinguished from automation. Remote control requires human intervention, while automation means that the ship independently takes over tasks. Moreover, the degree of automation may vary depending on a particular section of waterway. For example, a ship may operate highly automated during voyage but requires human assistance during lock passages. The Master Plan for Inland Navigation from the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) from 2019 outlines measures to promote a more environmentally friendly fleet and address digital challenges. Key points include optimising processes at locks, implementing new technologies, establishing digital platforms, improving network coverage, and further developing the reporting and information system for inland navigation.

As a result of the present report, a concept is recommended that is based on retrofitting existing towage units combined with lighters. In this retrofit concept, existing units will be used and upgraded with sensors. The concept is suitable for both short-term implementation and long-term automation, without losing connection to future infrastructure measures or larger waterways. Another advantage is the ability to transfer the lighter for downstream transport to stronger or larger units. This is based on a classic towage unit consisting of a central push boat and a large lighter with a maximum length of 80 meters, a width of 8.20 meters, and a draught of 2.00 meters. The unit is rigidly coupled, with control and navigation tasks located in the push boat.

To support the push boat, multi-sensor systems will be integrated, including radar, LiDAR, cameras, GNSS, and AIS. Additionally, sensors will be employed at the bow of the lighter for waterway and obstacle detection. Sensor fusion is planned for precise cross-distance measurement during lock passages. Communication between the unit and the shore will occur via 5G/4G, satellite, or Wi-Fi.

The technical development aims to gradually advance these systems from "partial automation" to "highly automated" operating forms. Initially, specific manoeuvres such as waterway monitoring and course regulation will be taken over by the system. In the long run, all functions of the unit, from navigation to coupling and manoeuvring in tight areas, could be largely automated. Central control will remain in the push boat, but remote monitoring systems will be integrated to allow for emergency intervention by a remote monitoring centre.

To what extent are these legally implementable in Germany? The legal feasibility of AMS in Germany is currently limited, as there are no specific regulatory provisions for the operation of such systems. The regulation on ship safety in inland navigation (BinSchUO) permits the temporary use of new technologies for experimental purposes. Current test operations in Lower Saxony show that (partial) automated inland ships can generally be operated. To enable the use of AMS on German waterways, the authors believe that a detailed technical description of the proposed system is necessary to present the project to the authorities in detail. Furthermore, an in-depth examination of the existing legal framework and direct communication with the relevant authorities is essential to obtain an exemption permit. Additionally, the Inland Waterway Personnel Regulation (BinSchPersV) governs which individuals on board an inland ship can perform which tasks and what qualifications are required for them. Progress in digitalisation and automation could contribute in long term to adapting the legal framework to the needs of modern inland navigation. After successful examination, the General Directorate for Waterways and Shipping (GDWS) can issue a seaworthiness certificate and permit the test operation.

Inhalt

1	Hintergrund und Zielsetzung	1
1.1	Hintergrund	1
2	Ökonomische Potenziale	3
2.1	Transport Nachfrage auf dem Elbe-Lübeck-Kanal	3
2.1.1	Entwicklungstrend der Binnenschifffahrt in Deutschland	3
2.1.2	Entwicklungstrend der Binnenschifffahrt auf dem Elbe-Lübeck-Kanal	3
2.1.3	Transport-Nachfrage auf dem Elbe-Lübeck-Kanal	4
2.2	Transportkosten-Abschätzung	5
2.2.1	Referenzkosten	6
2.2.2	Betriebskosteneffekt der Automatisierung	6
3	Technische Machbarkeit	8
3.1	Stand der Technik	8
3.1.1	Darstellung der Schubverbände	8
3.1.2	Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt	9
3.2	Darstellung und Bewertung bestehender Infrastruktur	11
3.3	Technische Umsetzung (teil-) automatisierter Schubverbände auf dem ELK	12
3.3.1	Definition eines Einsatzgebietes für den (teil-) autonomen Betrieb	14
3.3.2	Sensoriksysteme	14
3.3.3	Antriebssysteme	15
3.4	Konzeptideen für die Umsetzung auf dem ELK	16
3.4.1	Schubverband mit großem Leichter (Konzept 1A)	17
3.4.2	Schubverband mit maximal zwei kleinen Leichtern (Konzept 1B)	19
3.4.3	Hochautomatisierte Leichter (Konzept 2)	20
3.4.4	Schubboote Push&Pull (Konzept 3)	23
3.4.5	Modulare Mini-Pusher-Systeme (Konzept 4A/4B)	25
3.5	Potenzieller Ausbau bestehender Infrastruktur	27
3.6	Machbarkeit (teil-) automatisierten Schubverbände	29
3.6.1	Bewertung und Roadmap: Stufenweise Einführung	29
4	Genehmigungsprozess	31
4.1	Behörden- und Zuständigkeitsrecherche	31
4.2	Seafar Testbetrieb auf deutschen Gewässern	33
4.3	Analyse des ‚belgischen Prozess‘	34
4.3.1	Die vier Hauptpfeiler für Smart Shipping	35
4.3.2	Artikel 70 des Schifffahrtsdekrets	36
4.3.3	Prozessablauf	37
4.4	Automatisierte Schleusen in Flandern	38
5	Zentrale Fragen und Herausforderungen	40
5.1	Ausarbeitung offener Fragestellungen	40
5.2	Definition weiterer Untersuchungsschritte	41
6	Zusammenfassung	42
7	Verweise	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Gütergruppen und jeweilige Transportmengen auf dem ELK 2023	4
Abbildung 3.1: Schubverband auf dem Rhein	8
Abbildung 3.2: Definition der Automatisierungsgrade	10
Abbildung 3.3: Schematische Darstellung des ELK mit den Schleusen	12
Abbildung 3.4: links - Radar- und laserbasierte Sensoren aus dem Projekt A-SWARM	13
Abbildung 3.5: Nutzeroberfläche des argoTrackPilot	13
Abbildung 3.6: Konzeptbild einer großen und einer kleinen Barge	15
Abbildung 3.7: Visualisierung Konzept 1A	17
Abbildung 3.8: ELEKTRA II - Realisierung eines Versuchsträgers	18
Abbildung 3.9: Visualisierung Konzept 1B	19
Abbildung 3.10: Visualisierung Konzept 2	21
Abbildung 3.11: Watertruck+ während der Kanalfahrt	22
Abbildung 3.12: Visualisierung Konzept 3	23
Abbildung 3.13: Watertruck+ mit Schubboot an der Pier	26
Abbildung 3.14: Visualisierung Konzept 4	27
Abbildung 3.15: Remote Operation Center der Firma SEAFAR	28
Abbildung 4.1: Hierarchie der Behörden in Deutschland	31
Abbildung 4.2: Karte der Wasserwege in Flandern [41]	35
Abbildung 4.3: Teilstück auf dem Leuven-Dijle Kanal mit automatisierten Schleusen	38

Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
5G	fünfte Generation eines Mobilfunkstandards
AIS	Automatisches Identifikationssystem
AMS	Autonome Maritime Systeme
BeNeLux	Belgien, Niederlande und Belgien
BinSchStrO	Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMV	Bundesministerium für Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CEMT	Conférence Européenne des Ministres des Transports / Europäische Verkehrsministerkonferenz
destatis	Statistisches Bundesamt
DVW	De Vlaamse Waterweg
ELK	Elbe-Lübeck-Kanal
ES-TRIN	Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
IMO	Internationale Schifffahrtsorganisation
Lidar	Light imaging, detection and ranging
LTE / 4G	vierte Generation eines Mobilfunkstandards
MASS	Maritime Autonomous Surface Ship
Radar	Radio Detection and Ranging
ROC	Remote Operation Center (dt. Fernüberwachungszentren)
SatCom	Satellitenkommunikation
V2V	Vehicle-to-Vehicle (dt. Fahrzeug zu Fahrzeug)
ZKR	Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

Hintergrund und Zielsetzung

Der Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) ist eine historische Verkehrsachse in Norddeutschland. Seit 1900 verbindet er die Elbe bei Lauenburg mit der Trave bei Lübeck. Der Kanal stellt den einzigen Anschluss eines deutschen Ostseehafens (den Lübecker Seehäfen) an das mitteleuropäische Binnenwasserstraßennetz dar. Er erstreckt sich über circa 62 km. Im Jahr 2023 verkehrten 594 Güterschiffe auf dem ELK und es wurden circa 270.000 Tonnen Güter transportiert - vor allem Schüttgut.

1.1 Hintergrund

Das Transportvolumen sowie die Anzahl an Güterschiffen auf dem ELK ist über die letzten Jahre stetig gesunken und hat sich seit 2010 ungefähr halbiert. Der ELK verliert zunehmend an Relevanz für den Gütertransport, vor allem durch infrastrukturelle Beschränkungen. Aktuell kann er von Schiffen mit einer Breite von 8,20 m, einer Länge von 80 m und einem Tiefgang von 2 m befahren werden. Dies entspricht Schiffen der Wasserklasse IV nach der Europäischen Verkehrsministerkonferenz (CEMT), speziell dem Schiffstyp Johann-Welker-Schiff. Die weit verbreiteten Großgütermotorschiffe, welche typischerweise auf Wasserwegen ab CEMT Klasse V verkehren, haben hingegen eine Breite von 11,40 m, eine Länge von 110 m, und einen Tiefgang von 2,80 m. Die infrastrukturelle Beschränkungen wie Schleusen und Brücken entlang des ELK machen den Betrieb unmöglich. Sechs der sieben Schleusen sind mit einer nutzbaren Länge von 80 m, einem Tiefgang von 2,50 m und einer Breite von 12 m zu klein für Großgütermotorschiffe. Sieben der insgesamt 24 Brücken, welche den Kanal überqueren, liegen unterhalb der erforderlichen Durchfahrthöhe von 5,25 m. [1]

Neben dem für Großgütermotorschiffe benötigtem Ausbau sind viele der Schleusen und Brücken weithin sanierungsbedürftig. Die sieben Schleusen wurden ca. 1900 als Holtopp-Schleusen gebaut, die keine Elektrizität benötigen, dafür aber von Hand bedient werden müssen. Sie sind seitdem kernsaniert worden, allerdings entsprechen sie nicht den Anforderungen der modernen Binnenschifffahrt. Ein weiteres Hindernis bei der Durchfahrt des ELK war die zwischen Okt. 2024 und Mai 2025 gesperrte Donnerschleuse. Zum 24.05.2025 wurde der Betrieb nach Reparaturarbeiten wieder aufgenommen. [2]

Der ELK hat nach wie vor das Potenzial eine wichtige Verkehrsachse in Norddeutschland zu sein. Bereits seit mehreren Jahren wird von wirtschaftlichen und politischen Vertreterinnen aus der Region ein Ausbau des ELK gefordert. Im Bundesverkehrswegeplan (BVWP) wurde der Ausbau 2016 initial mit vordringlichem Bedarf aufgenommen, aufgrund seiner Relevanz als Hinterlandanbindung. Das Projekt wurde mit benötigten Investitionskosten in Höhe von 838 Millionen € für den Hafen- und Wirtschaftsstandort Lübeck angesetzt. Allerdings hatte das Projekt unter allen Projekten im BVWP das schlechteste Nutzen-Kosten-Verhältnis. Deshalb und aufgrund der hohen Investitionskosten wurde der Ausbau 2020 bis auf Weiteres zurückgestuft. [3] [4]

Bisher sind sämtliche Ausbauintiativen an hohen Kosten gescheitert.

Vor diesem Hintergrund schlägt das Fraunhofer CML ein (teil-) automatisiertes Schubverbandsystem als innovative und kosteneffiziente Lösung vor, um die Nutzbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit des Kanals bereits kurzfristig mit der Bestandsinfrastruktur zu verbessern, bis der Ausbau realisiert wird.

Das fertige Kurzgutachten ist eine Analyse der Machbarkeit und Potenziale eines (teil-) automatisierten Schubverbandsystems auf dem ELK. Um dies zu erreichen, wird zunächst das Waren- und Transportpotential des ELK untersucht, um festzustellen, welche Güter und Transportvolumina für ein solches Konzept geeignet wären. Dies beinhaltet die Identifizierung relevanter Warenströme sowie die Analyse der aktuellen und zukünftigen Transportbedarfe.

Darauf aufbauend werden technischen Optionen zur Machbarkeit (teil-) automatisierter Schubverbände evaluiert und verglichen. Hierbei werden bestehende Technologien sowie innovative Ansätze kombiniert und analysiert, die für die Implementierung eines (teil-) automatisierten Systems notwendig sind. Dazu gehören unter anderem Sensorik, Navigationssysteme und die Integration von Künstlicher Intelligenz zur Steuerung der Schubverbände.

Abschließend wird der wichtige Aspekt der Genehmigung und die angestrebte rechtliche Zulassung betrachtet. Es wird erörtert, durch welche Institutionen die Zulassung eines (teil-) autonomen Schubverbandsystems erfolgen könnte und welche regulatorischen Anforderungen zu erfüllen sind. Dies umfasst die Identifikation relevanter Behörden und die Darstellung der notwendigen Schritte zur Erlangung einer Betriebserlaubnis am Beispiel vom Prozess im Nachbarland Belgien.

Durch diese Analyse soll das Kurzgutachten den Interessensvertreter*innen eine Entscheidungsgrundlage bieten, um die Umsetzung und den potenziellen Nutzen des (teil-) automatisierten Schubverbandsystems realistisch zu bewerten. Zusätzlich werden zentrale Herausforderungen und offene Fragen identifiziert, die für weiterführende Planungen und Diskussionen mit Interessensvertreter*innen von Bedeutung sind.

Das Kurzgutachten beantwortet die Fragen:

1. Welcher Transportbedarf besteht für den ELK?
2. Welche kurzfristigen technischen Optionen ergeben sich aus der Entwicklung Autonomer Maritimer Systeme (AMS) zur Überbrückung bis zum Ausbau?
3. Inwieweit ist der Betrieb von AMS in Deutschland rechtlich umsetzbar?

Zunächst werden die ökonomischen Potenziale des Einsatzes (teil-) autonomer Schubverbände analysiert. Nur wenn ökonomische Potenziale vorliegen, ist eine Untersuchung der technischen Machbarkeit sinnvoll.

Die Analyse der ökonomischen Potenziale umschließt die Betrachtung zweier Faktoren: (i) die Abschätzung der zu erwartenden Volumen, die über den ELK transportiert werden könnten, gegeben dem Einsatz der automatisierten Schubverbände, und (ii) die Abschätzung der Transportkosten, welche beim Einsatz (teil-) autonomer Einheiten zu erwarten sind. Mit dieser Herangehensweise wird dargestellt, ob es eine Nachfrage an der zukünftigen Nutzung des Kanals gibt und ob die Nutzbarkeit außerdem durch eine Anpassung der Transportkosten attraktiver wird.

2.1 Transport Nachfrage auf dem Elbe-Lübeck-Kanal

2.1.1 Entwicklungstrend der Binnenschifffahrt in Deutschland

Die Binnenschifffahrt in Deutschland hat in den letzten zwei Jahrzehnten einen Rückgang beim Güterumschlag und bei der Verkehrsleistung erfahren. Dieser Trend wird durch mehrere Faktoren verursacht, darunter der Rückgang der Massengüter Kohle und Erdöl, Hochwasser- und Niedrigwasserstände, Gewässerschutzmaßnahmen sowie Überalterung der Tonnage und Fachkräftemangel. Laut dem Statistischen Bundesamt (destatis) und dem Bundesministerium für Verkehr (BMV) wurden im Jahr 2023 insgesamt etwa 182 Millionen Tonnen Güter auf deutschen Binnenwasserstraßen transportiert. Dies entspricht einem Rückgang von 6,4 % gegenüber dem Jahr 2021 (195 Millionen Tonnen). Im Jahr 2019 lag der Güterumschlag noch bei 205,1 Millionen Tonnen. [5]

Bei dieser Entwicklung gibt es starke regionale Unterschiede im Bundesgebiet. Auch das Elbegebiet und andere Regionen wie die Berliner Wasserstraßen verzeichneten Rückgänge. Im Elbegebiet lag der Güterumschlag 2023 bei etwa 16,8 Millionen Tonnen [5], ein Rückgang gegenüber früheren Jahren (2015 23,6 Mio. Tonnen), bedingt durch Niedrigwasserstände und infrastrukturelle Einschränkungen besonders in kritischen Bereichen der Oberelbe wie Hitzacker oder dem Magdeburger Hafen. Ein Bereich mit infrastrukturellen Einschränkungen ist auch der Elbe-Lübeck-Kanal.

2.1.2 Entwicklungstrend der Binnenschifffahrt auf dem Elbe-Lübeck-Kanal

In den letzten zwei Jahrzehnten hat die Transportmenge auf dem Elbe-Lübeck-Kanal einen kontinuierlichen Rückgang verzeichnet. Dieser Rückgang ist stärker als der Rückgang im Vergleich zum gesamten Bundesgebiet. Laut Daten des Statistischen Bundesamts (destatis) [6], ergänzt durch Berichte wie die Lübecker Hafenrundschau [7], zeigt sich folgender Status: Im Jahr 2024 wurden lediglich 167.000 Tonnen¹ über den Elbe-Lübeck-Kanal transportiert, bedingt durch die notwendige Sperrung der Schleuse und damit verbundenen Einschränkungen bei der Kanalfahrt. Die Jahre 2022 und 2023 bieten belastbarere Zahlen zur Beurteilung des aktuellen Potenzials des Elbe-Lübeck-Kanals. So wurden 279.303 Tonnen 2022 und 244.841 Tonnen 2023 auf dem Elbe-Lübeck-Kanal transportiert. [6].

¹ Vorläufige Zahlen

Der Bundesverkehrswegeplan 2030 hat das Transportvolumen auf dem ELK mit 600.000 Tonnen im Bezugsfall festgesetzt. Im Planfall des Ausbaus sollen 16.000 Tonnen von der Straße auf den Kanal verlagert werden. Die Beladung pro Schiff soll von 618 Tonnen auf 1094 Tonnen im Durchschnitt steigen.

Ökonomische Potenziale

2.1.3 Transport-Nachfrage auf dem Elbe-Lübeck-Kanal

Die Daten von destatis schlüsseln die Gütergruppen des Transports auf dem Elbe-Lübeck-Kanal auf. Dominant waren Erze, Steine und Erden, Landwirtschaftliche Erzeugnisse und Sekundärrohstoffe, siehe auch Abbildung 2.1.

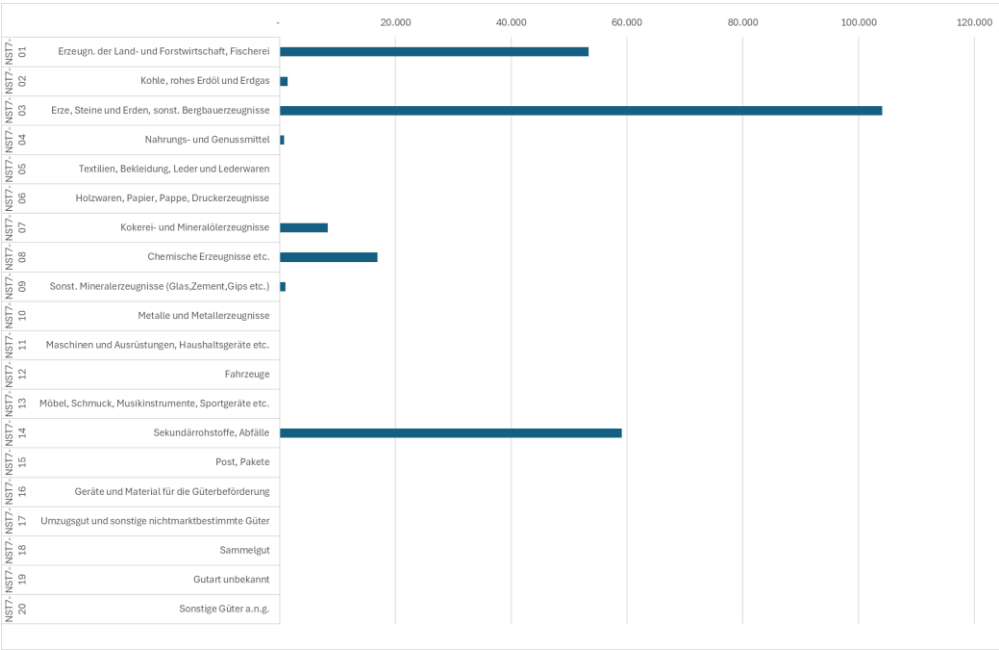


Abbildung 2.1: Gütergruppen und jeweilige Transportmengen auf dem ELK 2023 in Tonnen [6]

Welche Quellen, Senken oder Nutzer hinter diesen Transporten stehen, ist nicht bekannt. Es lässt sich jedoch teilweise ableiten. Als mögliche Akteure werden hier einige Beispiele genannt, deren Aktivität hier zu vermuten ist: Die Zementwerke Lübeck beziehen für ihr Mischwerk Sekundärrohstoffe aus den Stahlwerken Salzgitter. Die Agrarprodukte stammen voraussichtlich u. a. von der BAT GmbH. Ein weiterer potenzieller Nutzer des Elbe-Lübeck-Kanals ist die Lübecker Schrotthandel GmbH. Lübeck hat ein starkes Cluster in der Nahrungsmittelindustrie. Dazu sind auch die Hafenbetriebe Lübecks an der Hinterlandanbindung ELK sehr wahrscheinlich interessiert.

Es gibt ebenfalls eine Nachfrage nach der Transportkapazität des Kanals von regionalen Unternehmen, wenn auch auf niedrigem Niveau. Die Sekundärrohstoffe, die in den Jahren 2024 und 2025 wegen der Sperrung des ELK auf die Schiene ausweichen mussten, werden höchstwahrscheinlich wieder auf die Binnenwasserstraße zurückkehren.

Nach Einschätzung der Autoren ist es nicht zutreffend, dass sich alle Massengüter, ähnlich wie die fossilen Energieträger Kohle oder Erdöl, weiter reduzieren werden. Gerade der Markt für Sekundärrohstoffe, insbesondere Metallschrott, erlebt derzeit eine steigende Nachfrage. So sind Stahlhersteller zunehmend auf Schrott angewiesen, um die Vorgaben zu ihren Emissionszielen zu erreichen. Der Transport von Sekundärrohstoffen ist ein Wachstumsmarkt und bietet auch für die Binnenschifffahrt auf dem ELK Potenziale, da in dieser Gruppe eine wachsende Menge an Massengütern zwischen Erzeugern, Sammelpunkten und Verarbeitern transportiert werden wird. Dazu gehören die

Stoffgruppen Abfälle und Schrott aus Eisen, Stahl und NE-Metallen, Schlacken und Aschen, Papierabfälle (z.B. Zellulose), Kunststoffabfälle und Textilabfälle. [8]
 Laufende und zukünftige Infrastrukturprojekte in Norddeutschland werden die Nachfrage auf dem Kanal beeinflussen. So wird temporär die Lübecker Wirtschaft und der Hafen von der Komplettsanierung und damit verbundenen sechs-monatigen Sperrung der Bahnstrecke Hamburg-Lübeck 2028 stark betroffen sein. Auch wenn die Bahn Ausweichrouten über Büchen oder Bad Kleinen in Aussicht stellt, könnte dieser temporäre Mangel an Transportkapazität auf der Schiene dem ELK neue Volumen bringen.

Die Fehmarn-Belt-Route soll im Jahr 2029 eröffnet werden. Damit verlagern sich etliche Verkehre von der Jütland-Route auf die Verbindungen über Lübeck. Neben der sich verändernden Konkurrenzsituation durch die durchgehende Straßen- und Schienenverbindung könnten somit logistische Dienstleistungen in Lübeck als Drehscheibe verstärkt nachgefragt werden. Davon könnte auch der ELK profitieren, da er die Trimodalität des Standorts sicherstellt und den nördlichsten Zugang zum mitteleuropäischen Binnenwasserstraßennetz bietet.

Die Hypothese der Autoren dieses Gutachten ist, dass wenn die bisherigen Volumen nach dessen Wiedereröffnung zurück auf den ELK finden, dass eine vorsichtige Trendumkehr der transportierten Volumina möglich ist, wenn durch eine (teil-) Automatisierung der Binnenschifffahrt die Transportkosten auf dem Elbe-Lübeck-Kanal relativ zu den Wettbewerbs-Transportmodi Straße und Schiene sinken.

2.2 Transportkosten-Abschätzung

Die Transportkosten per Binnenschiff werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Sie hängen unter anderem von der Entfernung, der Auslastung, dem Schiffstyp, den Kraftstoff- und Personalkosten, den Infrastrukturgebühren, dem Angebot und der Nachfrage sowie der Art des Transportguts ab. Da der ELK oftmals als Teil einer längeren Verbindung genutzt wird, sollten die Kosten nicht allein anhand seiner Länge abgeschätzt werden. Analog zu anderen Transportmodi sinken in der Binnenschifffahrt die Transportkosten je Tonnenkilometer mit zunehmender Transportentfernung.

Die spezifischen Transportkosten liegen bei der Binnenschifffahrt durchschnittlich zwischen 2 und 4 Euro-Cent pro Tonnenkilometer für trockene Massengüter wie Kies, Kohle, Erz, Getreide und Metall. Wobei die Kosten auf kleineren Einheiten eher bei 4 Euro-Cent liegen. Dies ist ein deutlicher Kostenvorteil der Binnenschifffahrt bei Massengütern gegenüber der Straße, wo die Kosten mit knapp 40 Euro-Cent pro Tonnenkilometer beim ungefähr Zehnfachen liegen. Auf der Schiene bieten Vollzüge hingegen wirtschaftlich konkurrenzfähige Kosten, welche bei unter 2 Euro-Cent liegen. Insbesondere kleinere Binnenschiffe und geringere Abladetiefen, wie sie auf dem ELK üblich sind und die in höheren Kosten der Binnenschifffahrt resultieren haben demgegenüber also Kostennachteile [9] [10].

Die Kosten sind allerdings nicht grundsätzlich mit dem aufgerufenen Preis gleichzusetzen. Dieser wird durch die augenblicklichen Marktbedingungen von Angebot und Nachfrage bestimmt (z.B. ist die Tonnage überhaupt verfügbar?). Wie bei LKW und Bahn ist auch hier die Frage nach einer Rückfracht essenziell für die individuelle Preisfindung eines Transports. Allerdings zeigen die Kosten, was langfristig auf einer nachhaltigen wirtschaftlichen Relation möglich wäre.

2.2.1 Referenzkosten

Eine Studie aus den Niederlanden hat die Transportkosten für Binnenschiffe gegenübergestellt, welche allgemein für das westeuropäische Binnenwasserstraßennetz als repräsentativ angesehen werden kann [10]. In Bezug auf den ELK mit den identifizierten Massengutladungen sind die Kostenschätzungen für das analysierte CEMT II Referenzschiff Kempenaar und das CEMT IVa Rhein-Herne-Referenzschiff relevant. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst:

Tabelle 2-1: Kostenvergleich von Massenguttransport für CEMT II und CEMT IV Binnenschiffe, basierend auf [10]

	CEMT II – Massengut	CEMT IV – Massengut
Zuladung	401-650 t	1.251-1.750 t
Fixe Kosten	21.965 €	68.314 €
Variable Kosten	27.317 €	66.357 €
Personalkosten	115.219 €	155.047 €
Spezielle Kosten	4.402 €	10.084 €
Allgemein Betriebskosten	8.860 €	13.000 €
Gesamtkosten pro Jahr	177.763 €	312.802 €
Spezifische Transportkosten	0,034 €	0,021 €

Ersichtlich ist die Personalkostenintensivität der kleinen Binnenschiffe, welche ungefähr die Hälfte der Jahresgesamtkosten bei CEMT IV ausmacht, trotz minimalen Crewgrößen im Solo- oder A1-Navigationsmodus. Auch wenn es sich beim ELK offiziell um eine Binnenwasserstraße der Klasse IV handelt und das Rhein-Herne-Schiff theoretisch fahren könnte, so ist die Abladetiefe doch geringer und realistische Zuladungen bewegen sich meist unter 1.000 Tonnen. Wie ersichtlich verschärft dies die Personalkostenthematik zunehmend. Bei geringeren Zuladungen wie einem CEMT II Schiff liegen diese fast bei Zweidrittel, da durch die geringe Besatzungsstärke keine weitere Rationalisierung möglich ist. Im Vergleich liegt deren Anteil im Bahnverkehr beispielsweise bei unter 10%.

2.2.2 Betriebskosteneffekt der Automatisierung

Bezogen auf die Betriebskosten entfällt bei einem (teil-) autonomen Betrieb das Personal an Bord und damit ein Großteil der Gesamtkosten pro Jahr. Dem muss jedoch zum einen der Unterhalt und Wartung der Automatisierungssysteme als auch die Personal- und Kommunikationskosten für eine notwendige Fernüberwachungszentrum gegenübergestellt werden. Im Bereich der Seeschifffahrt sind hierzu 2017 und 2023 Untersuchungen zur Schätzung der Betriebskosten durchgeführt worden [11] [12]. Im Bereich der Reparaturkosten wurde dabei eine Steigerung um 50% angenommen, da die Wartung und Reparatur bei (teil-) autonomen Systemen nicht mehr durch die eigene Crew, sondern vorrangig durch Systemanbieter erfolgen wird.

Das größte Kostenelement stellt jedoch die notwendige Land- und Kontrollstation dar. Übertragen auf den ELK wird für einen automatisierten Betrieb ohne dauerhafte Steuerung Kosten je Einheit von 45.000 Euro entsprechend der verwendeten Methodik einer am Fraunhofer-CML erstellten Studie „Study on the Economic Implications of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)“ antizipiert [12]. Diese unterstellt bei einem täglichen 10-stündigen Betrieb mit fünf Schiffen mit Automatisierungsgrad ≥ 3 Personalkosten je Schiff i.H.v. 39.262 Euro. Angenommen wird ein Landoperator der Qualifikation

„Kapitän“ entsprechend der Lohntabelle der niederländischen Binnenschifffahrt sowie eine administrative Teilzeitkraft [13].

Ökonomische Potenziale

Die weiteren Betriebskosten liegen bei ca. 3.500 Euro je Schiff, abgeleitet aus ca. 20.000 Euro angenommen Softwarelizenzkosten für die Landkontrollstation und 7.000 Euro Hardware- und Materialkosten und den daraus resultierenden Abschreibungen. Zusammen mit weiteren Kosten i.H.v. 10.000 Euro pro Jahr für Wartung etc. sowie einem Gewinnzuschlag liegen die Landkontrollstationskosten je Schiffseinheit bei ungefähr 61.000 Euro pro Jahr.

Im Bereich des CEMT II Fahrzeugs beträgt das geschätzte Kostenreduktionspotenzial somit gut 33%, beim CEMT IV immerhin noch ca. 20%. Das Ganze skaliert mit der Anzahl an überwachten Schiffen je Operateur. Hochgerechnet ist durch diese Verschiebung eine Verbesserung der transportspezifischen Transportkosten aus Tabelle 2-1 auf bis zu 1,7 bis 2,3 Euro-Cent je Tonnenkilometer möglich. Dies liegt im Intermodalvergleich wieder in der Größenordnung von Rheinschiffen bzw. Zugtransporten im Raum Deutschland-BeNeLux liegt, sodass ein kompetitives Transportangebot unterbreitet werden kann. Dies setzt eine verlässliche Verfügbarkeit der ELK-Infrastruktur für den Schiffsverkehr voraus.

Die zukünftigen Konzepte in der Binnenschifffahrt sind auf beschränkten Kanalsystemen wie dem Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) durch infrastrukturelle, betriebliche und regulatorische Herausforderungen geprägt. Schleusen und begrenzte Fahrwassergeometrien (CEMT-III/IV)² engen die maximalen Abmessungen und den operativen Handlungsspielraum ein. Die Weiterentwicklung der Binnenschifffahrt auf dem ELK erfolgt nicht als Ersatz für einen Kanalausbau, sondern ergänzt und beschleunigt die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur durch gezielte Digitalisierung, Automatisierung und organisatorische Innovationen. Ziel ist es, bestehende betriebliche und regulatorische Restriktionen effizient zu überwinden, ohne einen auf absehbare Zeit kostenintensiven Ausbau abzuwarten. Gleichzeitig bleibt die Anschlussfähigkeit der Konzepte an eine künftige Infrastrukturerweiterung jederzeit erhalten. Angestrebt ist daher ein durchgehender, (teil-) autonomer Betrieb von Lauenburg durch den ELK bis zu den Verladeplätzen in Lübeck und an der Trave.

Zudem ist der Fachkräftemangel im Verkehrszweig Binnenschifffahrt [14] bereits jetzt spürbar, was Automatisierung in vielen Bereichen als strategische Antwort nahelegt. Im Folgenden wird analysiert, ob und wie ein schrittweiser, technisch tragfähiger Umgang mit (teil-) automatisierten Schubverbänden unter Berücksichtigung der notwendigen Infrastrukturen möglich ist.



Abbildung 3.1: Schubverband auf dem Rhein bei Duisburg [15]

3.1 Stand der Technik

3.1.1 Darstellung der Schubverbände

Die Binnenschifffahrt kennt als Grundformen das Motorschiff, den Schubverband (mit Schubleichtern) und den Schleppverband. Schubverbände setzen sich aus einem

² CEMT bezeichnet die Klassifizierung der europäischen Binnenwasserstraßen zur Förderung eines einheitlichen Binnenwasserstraßennetzes. Das Klassifizierungssystem ist von der Europäischen Verkehrsministerkonferenz (CEMT) übernommen worden. [45]

Schubschiff und einem oder mehreren antriebslosen Schubleichtern oder Kähnen zusammen. Wird anstelle des Schubschiffs ein Motorgüterschiff verwendet, spricht man von Koppel- oder Schub-Koppelverbänden. Ein Koppelverband hat ein Motorgüterschiff mit seitlich angekoppelten Leichtern oder Kähnen, während im Schub-Koppelverband zusätzlich mehrere Leichter oder Kähne vorangestellt sind [16]. Die Wahl der Verbandart hängt von Fahrwasserbedingungen, Ladungsart und wirtschaftlichen Faktoren ab. Klassische Schubverbände sind der Blockverband, Spargelform (Längsverband) und Gelenkverband. Diese werden je nach Fahrwassersituation oder für Spezialanforderungen eingesetzt.

Klassischer Schubverband (Blockverband)

- Ein Schubboot schiebt einen oder mehrere Schubleichter, die direkt vor dem Schubboot zu einem festen „Block“ (meist rechteckige Formation) gekuppelt sind.

Spargelform (Reihenverband, Längsverband)

- Die Schubleichter sind in einer Linie hintereinander – also längs – vor dem Schubboot angeordnet (wie „Spargelstangen“).

Gelenkverband (Knickverband, Spezialform Längsverband)

- Der Verband ist über Gelenke (bewegliche Kuppelstellen) verbunden, was einen flexibleren Bewegungsradius insbesondere in engen Kurven oder beim Passieren von Schleusen ermöglicht.

Auf einem Schubboot + 1 Schubleichter mit $L \leq 86$ m müssen bei einer ständigen Fahrt von höchstens 24 Stunden innerhalb eines Zeitraums von 24 Stunden folgende Besatzungsgrößen gemäß § 106 Mindestbesatzung auf Schubverbänden (BinSchPersV) [17] eingehalten werden:

- 2 Schiffsführer
- 1 Matrose
- 1 Leichtmatrose

3.1.2 Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt

Die Diskussion um automatisierte und autonome Schiffe unterscheidet sich in der Binnenschifffahrt klar von der Seeschifffahrt. Während die Internationale Schifffahrtsorganisation (IMO) [18] für die Hochseeschifffahrt mit „Maritime Autonomous Surface Ships“ (MASS) auf durchgängige Autonomie abzielt, ist die Definition in der Binnenschifffahrt stärker kontextbezogen und an den Schiffsbetrieb auf Binnenwasserstraßen angepasst.

In der Binnenschifffahrt stehen Begriffe wie Kollisionsvermeidung, dynamische Schifffahrtsaufgaben und Schiffsführer im Mittelpunkt. Die Automatisierungsgrade (0 bis 5) definieren klar, welche Aufgaben das System und welche weiterhin der Mensch übernimmt, siehe Abbildung 3.2. Anders als in der Seeschifffahrt wird auch Fernsteuerung ausdrücklich von Automatisierung unterschieden: Fernsteuerung bedeutet immer Eingreifen des Menschen von außen, Automatisierung meint die Übernahme von Aufgaben durch das System Schiff selbst. [19]

Der Automatisierungsgrad kann sich darüber hinaus je nach Abschnitt der befahrenen Wasserstraße ändern –beispielsweise kann ein Schiff hochautomatisiert fahren, benötigt aber beim Schleusengang weiterhin menschliche Unterstützung.

	Automatisierungsgrad ¹	Bezeichnung	Schiffsführung (Manövrieren, Antrieb, Steuerhaus usw.)	Überwachung und Reaktion auf Schiffahrts- umgebung	Rückfall- ebene dynamischer Schiffahrts- aufgaben
DER SCHIFFSFÜHRER FÜHRT EINIGE ODER ALLE DYNAMISCHEN SCHIFFFAHRTS- AUFGABEN AUS	0	KEINE AUTOMATISIERUNG permanente Ausführung aller Aspekte der dynamischen Schiffahrtsaufgaben durch den Schiffsführer, auch wenn diese durch Warn- oder Interventionssysteme unterstützt werden			
	1	STEUERUNGSUNTERSTÜTZUNG kontextspezifische Ausführung durch ein automatisiertes Steuerungssystem unter Verwendung bestimmter Informationen über die Schiffahrtsumgebung, wobei davon ausgegangen wird, dass der Schiffsführer alle übrigen Aspekte der dynamischen Schiffahrtsaufgaben ausführt			
	2	TEILAUTOMATISIERUNG kontextspezifische Ausführung durch ein automatisiertes Schiffahrtssystem <u>sowohl der Steuerung als auch des Antriebs</u> unter Verwendung bestimmter Informationen über die Schiffahrtsumgebung, wobei davon ausgegangen wird, dass der Schiffsführer alle übrigen Aspekte der dynamischen Schiffahrtsaufgaben ausführt			
DAS SYSTEM FÜHRT ALLE DYNAMISCHEN SCHIFFFAHRTS- AUFGABEN AUS (WENN ES EINGESCHALTET IST)	3	BEDINGTE AUTOMATISIERUNG kontinuierliche kontextspezifische Ausführung <u>aller</u> dynamischen Schiffahrtsaufgaben durch ein automatisiertes Schiffahrtssystem, <u>einschließlich Kollisionsvermeidung</u> , wobei davon ausgegangen wird, dass der Schiffsführer auf Aufforderungen zum Eingreifen und Systemausfälle angemessen reagiert			
	4	HOHE AUTOMATISIERUNG kontinuierliche kontextspezifische Ausführung und <u>Rückfallebene</u> aller dynamischen Schiffahrtsaufgaben durch ein automatisiertes Schiffahrtssystem, <u>ohne dass davon ausgegangen wird, dass ein Schiffsführer auf eine Aufforderung zum Eingreifen reagiert</u> ²			
	5	AUTONOM = VOLLAUTOMATISIERUNG kontinuierliche <u>bedingungslose</u> Ausführung und Rückfallebene aller dynamischen Schiffahrtsaufgaben durch ein automatisiertes Schiffahrtssystem, ohne dass davon ausgegangen wird, dass ein Schiffsführer auf eine Aufforderung zum Eingreifen reagiert			
¹ Fernsteuerung kann bei verschiedenen Automatisierungsgraden eingesetzt werden, wobei jedoch unterschiedliche, von den zuständigen Behörden festzulegende Bedingungen gelten können, um ein den derzeit verkehrenden Fahrzeugen gleichwertiges Sicherheitsniveau zu gewährleisten.					
² Dieser Grad sieht zwei verschiedene Funktionalitäten vor: Fähigkeit zum „normalen“ Betrieb ohne menschliches Eingreifen und vollständige Rückfallebene. Zwei Untergrade sind denkbar.					

Technische Machbarkeit

Abbildung 3.2: Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt [20]

Im „Masterplan Binnenschifffahrt“ des BMVI von 2019 [21] werden neben den Maßnahmen für eine umweltfreundlichere und wettbewerbsfähige Flotte wichtige Punkte für die Maßnahmen zur Bewältigung der digitalen Herausforderungen beschrieben. Neben der Feststellung weiterer Digitalisierungsbedarfe sind es vor allem:

- Optimierung von Prozessen an Schleusen.
- Implementierung neuer Technologien
- Einrichtung digitaler Plattformen bzw. Weiterentwicklung
- Verbesserung der Netzabdeckung
- Weiterentwicklung des Melde- und Informationssystems Binnenschifffahrt
- Automatisiertes und vernetztes Fahren, einschließlich autonomen Fahrens

Als eine kurzfristige Maßnahme zur Adressierung dieser Punkte wird die Umsetzung von „technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Machbarkeit sowie des nötigen Umfangs einer Förderung für kleinere und für konstruktiv optimierte Binnenschiffe“ [21] gesehen.

3.2 Darstellung und Bewertung bestehender Infrastruktur

Tabelle 3-1 beinhaltet allgemeine Informationen und Daten zum ELK.

Tabelle 3-1: Allgemeine Informationen zum ELK [22]

Inbetriebnahme	16.06.1900
Länge	61,55 Kilometer
Anfang	Lauenburg/Elbe
Ende	Lübeck/Trave
Wasserstraßenverbindung	Elbe-Trave
Europäische Wasserstraßen- klasse	Als Klasse CEMT IV eingestuft, aber erfüllt nicht überall die entsprechenden Maße
Reale Belastungslimit auf gan- zer Länge lt. WNA Hannover [22]	Länge: 80 m Breite: 8,2 m Tiefgang: 2 m
Schleusen und Brücken	7 Schleusen 24 Brücken, davon erfüllen 17 Brücken die erforderliche Durchfahrtshöhe von 5,25 m

Innerhalb des Elbe-Lübeck-Kanals sind Schubverbände zulässig. Diese dürfen aufgrund der Abmessungen der Schleusen folgende Abmaße nicht überschreiten. [23]

- Länge: 80,00 m
- Breite: 8,30 m
- Abladetiefe / Tiefgang: 2,00 m

Diese Rahmenbedingungen entsprechen Binnenschiffen der CEMT III Klasse, mit Ausnahme des Tiefgangs, dieser liegt bei CEMT III bei 2,50m. Die offizielle Einstufung des ELK ist CEMT IV. Dies entspricht einem Schiff oder Schubverband Länge 80 – 85 m, Breite 9,5 m, Tiefe 2,5 m, Tonnage 1000-1500 Tonnen.

Bedingt durch diese Restriktionen wird in den weiteren Analysen von einem Konzept mit den maximalen Abmaßen Länge 80,00 m, Breite 8,20 m, Abladetiefe / Tiefgang 2,00 m ausgegangen. Die damit zu erzielenden Lademengen sind demnach auch geringer, je nach Art der Ladung. Nach WNA Hannover geht man von ca. 1000 Tonnen Ladung aus.

Gemäß Kapitel 19 § 19.02 und § 19.03 Binnenschiffverkehrsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) [24] dürfen auf dem ELK Schubverbände betrieben werden, wenn diese mit „so vielen Fahrzeugen eingestellt werden, dass diese nicht mehr als zwei Schleusungen benötigen.“

Nach Kapitel 19 § 19.04 Binnenschiffverkehrsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) haben sich Fahrzeuge mindestens mit 5 km/h und maximal, bei einer Abladetiefe größer 1,20 m und einer Breite über 8,30 m, mit 8 km/h zu bewegen. Weiterhin ist nach Kapitel 19 § 19.20 Binnenschiffverkehrsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) das Segeln auf dem ELK verboten, dies ist insbesondere für die Vorfahrtsregeln relevant sowie nach Kapitel 19 § 19.07 Binnenschiffverkehrsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) das Überholen bei Nacht verboten. Es dürfen aber Kleinfahrzeuge überholen und überholt werden.



Abbildung 3.3: Schematische Darstellung des ELK mit den Schleusen [25]

3.3 Technische Umsetzung (teil-) automatisierter Schubverbände auf dem ELK

Neben den oben ausgeführten infrastrukturellen Eckdaten des ELK sind als Rahmenbedingungen die betriebstechnischen Restriktionen und der rechtliche Rahmen vor der technischen Konzeption entscheidend.

Der rechtliche Rahmen ergibt sich aus der Binnenschifffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO), der Binnenschiffsuntersuchungsordnung (BinSchUO) allgemein für Deutschland und für das jeweilige Fahrtgebiet, sowie aus dem Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) [26]. Für ein automatisiertes System ergibt sich zusätzlicher Abstimmungsbedarf mit der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) sowie dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), insbesondere in Bezug auf die Betriebserlaubnis für die Einheit, die bordseitige Sensorik, die Kommunikation mit Landstellen und Schleusen sowie die Einhaltung von Kollisionsverhütungsvorschriften (KVR, BinSchStrO).

Neben dem rechtlichen Rahmen bestehen betriebstechnische Restriktionen für zukünftige automatisierte Konzepte. Die Kombination aus engem Kanalprofil, begrenztem Kurvenradius und vielen Querungsbauwerken limitiert Sichtlinien und Reaktionsräume für manuelle wie automatische Navigationssysteme. Darüber hinaus erfordern die kurzen Abstände zwischen Schleusen und Kurven präzise Manöver und zuverlässige Kommunikation mit Landinfrastruktur.



Abbildung 3.4: links - Radar- und laserbasierte Sensoren aus dem Projekt A-SWARM (Copyright Felix Noak) [27]; rechts – A-SWARM Probefahrt im Berliner Westhafen (Copyright Tim Holzki) [28].

Moderne Binnenschiffe, die mit Wendegeschwindigkeitsreglern oder Spurhaltesystemen entlang festgelegter Linien (Trackpilot) ausgestattet sind, operieren gemäß der Definition der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) auf Automatisierungsgrad 1 [29]. Unten im Bild der Trackpilot der Firma Argonics welches „das weltweit erste System zur automatischen Bahnführung von Binnenschiffen entlang vorgegebener Leitlinien“ ist [30].



Abbildung 3.5: Nutzeroberfläche des argoTrackPilot (ein System zur automatischen Bahnführung von Binnenschiffen) [30]

In den letzten Jahren entstanden europaweit gerade in urbanen Gebieten verschiedene Konzepte mit Hinblick auf einer Verlagerung der Güterströme von Land auf die Binnenstraße. In Deutschland werden hierbei beispielhaft der Prototyp „A-SWARM:

Autonome elektrische Schifffahrt auf Wasserstraßen in Metropolregionen“ [27] und das Konzept WaCaBa genannt [31].

Technische Machbarkeit

Im Mai 2025 wurde das Forschungsschiff „NOVA“ getauft. Das Forschungsschiff ist darauf ausgelegt, das Potenzial automatisierter Systeme, innovativer Lösungen und emissionsfreier Antriebe für Effizienz und Nachhaltigkeit in der Binnenschifffahrt unter realen Bedingungen zu untersuchen. Ziel ist es, durch den praktischen Einsatz nachzuweisen, wie diese Technologien zur Reduktion von Energieverbrauch und Emissionen beitragen und somit einen messbaren Mehrwert für die Schifffahrt der Zukunft bieten können. [32]

3.3.1 Definition eines Einsatzgebietes für den (teil-) autonomen Betrieb

Der ELK fließt im Norden kurz vor der Hansestadt Lübeck in die Trave. Die Trave ist nicht nur für die Schifffahrt von Bedeutung, sondern auch als Erholungsgebiet und Lebensraum für verschiedene Tierarten.

Die präzise Definition des Testgebiets für (teil-)autonome Schubverbände ist entscheidend, um einen Transport von Lauenburg bis zum Port of Lübeck zu gewährleisten. Ein klar abgegrenztes Testgebiet sorgt dafür, dass (teil-) autonomen Schubverbände ohne Risiko für andere Schiffe, die vorhandene Infrastruktur und sich selbst operieren können.

Zudem ist es wichtig, um die bestehenden Betriebsabläufe zu respektieren und die Zuständigkeiten festzulegen, insbesondere an Übergabepunkten im Hafen. Eine klare Definition ermöglicht es den Betreibern auch, den Einsatz der (teil-)automatisierten Schubboote zu optimieren und schnellere Umschläge zwischen den verschiedenen Wasserstraßen zu gewährleisten.

3.3.2 Sensoriksysteme

Für (teil-) automatisierte Schubverbände auf dem ELK soll die installierte Sensorik folgende Aufgaben erfüllen:

- Fahrwassererkennung (inkl. Kurven, Uferlinie, Bauwerke)
- Objekt- und Hinderniswahrnehmung bei typischen Sichtverhältnissen (auch bei Nebel oder anderer schlechter Sicht)
- Positionsbestimmung zur Lagebeurteilung und Steuerung
- Navigationsunterstützung in Schleusen und beim Anlegen
- Sichere Koppelvorgänge bei modularen Einheiten (optional)

Insbesondere für kleinere Einheiten und Pilotanwendungen, wird auf kostenintensive Sensorik (z. B. RTK, Ultraschall oder hochauflösende Lidar-Systeme) bewusst verzichtet, sofern sie nicht zwingend erforderlich ist. (Teil-) automatisierte Schifffahrtssysteme basieren gegenwärtig auf einer Kombination aus:

- GNSS für präzise Positionierung
- LiDAR und Radar zur Hinderniserkennung
- Kamerasystemen zur visuellen Umgebungserfassung
- Inland-AIS zur Fahrzeuginformation und Koordination
- 5G/LTE, SatCom für bidirektionale Kommunikation und Remote Access

Diese Systeme sind technisch erprobt, jedoch bislang überwiegend in Pilotprojekten oder als Teilkonzepte implementiert.



Abbildung 3.6: Konzeptbild einer großen und einer kleinen Barge (WaCaBa) [31]

3.3.3 Antriebssysteme

Der Antrieb muss auf Anforderungen wie eine hohe Manövrierfähigkeit auf engem Raum, die Anpassungsfähigkeit an wechselnde Wasserstände sowie die Verfügbarkeit auch bei teilweiser Automatisierung ausgelegt sein. Zudem sind langfristig ein geringer Energieverbrauch und ein minimaler Wartungsaufwand zu gewährleisten.

Antriebsform	Vorteile	Einschränkungen / Bemerkung
Diesel-Konventionell	Höchste Verfügbarkeit, Retrofit-fähig	Hohe Emissionen, mittelfristig begrenzt tragfähig
Diesel-Hybrid	Effizienzsteigerung, Lärmreduktion	Moderate Zusatzkosten, Ladeinfrastruktur erforderlich
Vollelektrisch	Emissionsfrei, zukunftsicher	Reichweitenbegrenzung, nur mit Ladeinfrastruktur

Mögliche Antriebskomponenten:

- Ruderpropeller oder Azimutantriebe (ermöglichen eine höhere Manövrierbarkeit)
- Gemantelter Propeller (von einer festen Düse umgeben, bietet er hohen Schub bei niedriger Geschwindigkeit sowie Schutz vor Sedimenteinzug)
- Flex-Tunnel-System (ein verformbarer Tunnel rund um den Propeller ermöglicht den Betrieb bei sehr geringem Tiefgang durch gezielte Strömungslenkung)
- Jet-basierter 360°-Antrieb [33] (ein kompakter, vollständig eingebauter Antrieb, der den Schub über steuerbare Umlenklappen in alle Richtungen lenken kann, eignet sich besonders für enge Manöver)

Unter Berücksichtigung aller Restriktionen, bereits bestehenden Konzepten und Projekten sowie kommerziell eingesetzten Einzelsystemen wurden sechs technisch unterscheidbare und realistisch umsetzbare Varianten abgeleitet. Diese decken das Spektrum von konventionellen (klassische Schubverbände mit Automatisierungsintegration) bis hin zu disruptiven Lösungen (modulare Mini-Pusher-Systeme) ab. Jede der sechs Varianten wird einheitlich entlang folgender technischer Teilaspekte beschrieben:

- Technisches Grundprinzip: Aufbau und Kopplungslogik des Verbandes, zentrale Idee
- Sensorik: Positionserfassung, Hinderniserkennung, Schleusennavigation
- Kommunikation & Steuerung: Art und Ort der Steuerungslogik, Kommunikation zwischen Einheiten und mit Land
- Energieversorgung & Antrieb: Antriebssysteme, Energiequelle, Ladeinfrastruktur
- Integration in ELK-Infrastruktur: Anpassungsfähigkeit an Schleusen, Brücken, Fahrdynamik
- Technologische Bewertung: Reifegrad, Innovationspotenzial, operative Risiken

Technische Machbarkeit

Ein nicht zu unterschätzender Aspekt ist die Standardisierung der Kopplungssysteme zwischen Leichter und Schubboot. Zur Realisierung höherer Automatisierungsgrade und modularer Konzepte müssen physische Kopplungsmechanismen, automatisiert und redundant sicher funktionieren.

3.4 Konzeptideen für die Umsetzung auf dem ELK

Unter Berücksichtigung der bestehenden Infrastruktur, dem Stand der Technik und aktuellen Rechtsprechung in Deutschland, werden im Folgenden verschiedene Konzepte vorgestellt. Alle Konzepte sind hinsichtlich des Einsatzes von (teil-) autonomen Schiffen auf dem ELK angepasst und der Annahme verschiedener zeitlicher Horizonte technisch umsetzbar. Tabelle 3-2 zeigt einen Kurzüberblick der Konzepte.

Tabelle 3-2: Kurzüberblick der (teil-) autonomen Schubverbände für den ELK

Konzept	Name	Einsatzbar auf dem ELK
1A	Schubverband mit großem Leichter	Kurzfristig geeignet (Retro-Fit Option)
1B	Schubverband mit maximal zwei kleinen	Generell kurzfristig geeignet, unter der Voraussetzung, dass die Integrität der Schleusen gewährleistet bleibt
2	Hochautomatisierte Leichter	Einsatzbereit, sobald die Schleusen-kommunikation digitalisiert und automatisiert ist.
3	Schubboote Push & Pull	Einsatzbereit, sobald Schubboote vollständig ferngesteuert operieren können und komplexe Kopplungsvorgänge automatisiert umgesetzt werden können.
4 A / B	Modulare Mini-Pusher	Einsatzbereit, sobald der Kopplungsvorgang automatisiert umgesetzt werden kann.

3.4.1 Schubverband mit großem Leichter (Konzept 1A)

Technische Machbarkeit

Dieses Konzept beschreibt den klassischen Schubverband, bestehend aus einem zentralen Schubboot und einem großen Leichter (maximal 80 m Länge, 8,20 m Breite, 2,00 m Tiefgang). Die Einheit ist starr gekoppelt, wobei die Steuerungs- und Navigationsaufgaben im Schubboot angesiedelt sind, siehe Darstellung in Abbildung 3.7.

Zur Unterstützung werden Multisensorsysteme am Schubboot integriert (Radar, Lidar, Kameras, GNSS, AIS), ergänzt durch Sensorik am Bug des Leichters zur Fahrwasser- und Hinderniserkennung. Für Schleusenpassagen erfolgt eine Sensorfusion zur präzisen Querabstandsmessung. Die Kommunikation zwischen Verband und Land wird über 5G/4G, Satellit oder WLAN gewährleistet. Die Energieversorgung erfolgt zentral im Schubboot, mit Diesel-hybridem oder vollelektrischem Antrieb, unterstützt durch Ladeinfrastruktur an Anlegern. Die Bauweise ist an Schleusen- und Brückenmaße des ELK angepasst, die Manövrierfähigkeit wird durch Ruderpropeller sichergestellt.



Abbildung 3.7: Visualisierung Konzept 1A (Bild KI-generiert mit ChatGPT von OpenAI (2025))

Technisches Grundprinzip

- Ein zentrales Schubboot schiebt einen großen Leichter (maximal Länge 80,00 m, Breite 8,20 m, Abladetiefe / Tiefgang 2,00 m für kompletten Schubverband)
- Starr gekoppelte Einheit; optimale Raumausnutzung für Standardfracht
- Zentralisierte Steuerung für gesamten Verband

Sensorik

- Multisensorplattform am Schubboot (Radar, Lidar, Kameras, GNSS, AIS)
- Ergänzende Sensorik am Bug des Leichters für Fahrwasser- und Hinderniserkennung
- Schleusenpassagen durch lokale Sensorfusion (Querabstände, Positionsmarken)

- Steuerungslogik im Schubboot, Backup-Systeme im Remote Operation Center (ROC)
- Kommunikation zwischen Boot und Land via 5G/4G, redundantes Satellitensystem oder WiFi Verbindung
- Interne Verbindung zu Leichter für zusätzliche Status- und Sensordaten

Energieversorgung & Antrieb

- Zukünftig Diesel-hybrid oder vollelektrisch, zentrale Energieversorgung im Schubboot
- Landseitige Schnellladeinfrastruktur / Bunkern (z. B. an Anlegern)
- Ruderpropeller, Querstrahlruder für Feinmanöver

Integration in ELK-Infrastruktur

- Volle Anpassung an Schleusen- und Brückenmaße
- Optimierte Rumpfform für geringe Wasserverdrängung
- Gute Manövrierbarkeit trotz großer Länge, geringe Überhänge

Technologische Bewertung

- Höchster Reifegrad unter den Varianten (Referenzprojekte vorhanden)
- Operative Risiken: Notfallkopplung, Schleusenengpässe, Lastverteilung bei einseitiger Beladung

In diesem Retrofit Konzept sollen bestehende Einheiten genutzt und sensorisch aufgerüstet werden. Es gibt bestehende Schubboote mit einer Länge von 20 – 40 m und einer Breite von 7 – 11 m (Antrieb: Diesel oder Diesel-elektrisch). Diese können mit bestehenden Leichtern kombiniert für dieses Konzept nutzbar gemacht werden.



Abbildung 3.8: ELEKTRA II - Realisierung eines Versuchsträgers mit einem hybriden Energie- und Antriebskonzept (Copyright EBMS) [34]

Im Rahmen der technischen Weiterentwicklung ist vorgesehen, diese Systeme über Automatisierungsgrad 2 („Teilautomatisierung“) – bei dem bestimmte Manöver, wie Fahrwasserüberwachung oder Kursregelung durch das System übernommen werden – schrittweise zu hochautomatisierten Betriebsformen zu entwickeln

(Automatisierungsgrad 3 – 4). Perspektivisch können alle Funktionen des Verbands, von der Navigation bis zur Kopplung und dem Manövrieren in engen Bereichen, weitgehend automatisiert ablaufen. Die zentrale Steuerung bleibt zunächst im Schubboot, zunehmend werden jedoch Backup- und Fernüberwachungssysteme integriert, um eine Notfallintervention durch das ROC zu ermöglichen. Damit eignet sich dieses Konzept sowohl für die kurzfristige Umsetzung als auch für die längerfristige Automatisierung, ohne den Anschluss an künftige Infrastrukturmaßnahmen oder größere Wasserstraßen zu verlieren. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, den Leichter für nachgelagerte Transporte an stärkere bzw. größere Einheiten zu übergeben.

Technische Machbarkeit

3.4.2 Schubverband mit maximal zwei kleinen Leichtern (Konzept 1B)

Bei diesem Konzept besteht der Verband aus einem Schubboot und maximal zwei kleinen, flexibel koppelbaren Leichtern. Die Zusammensetzung kann je nach Frachtbedarf angepasst werden. Der Verband kann starr oder als Gelenkverband ausgeführt sein, wobei Sensorik am Schubboot sowie an jedem Leichter verbaut ist, ergänzt durch spezielle Abstandssensorik an Kopplungspunkten. Die Steuerung erfolgt zentral im Schubboot; zusätzliche lokale Steuerungsfunktionen und Sensorik sind in jedem Leichter integriert. Eine vernetzte Kommunikation zwischen den Einheiten (V2V) sowie eine Datenbündelung zum Remote Operation Center ist vorgesehen. Die Energieversorgung kann zentral oder dezentral (z. B. mit Akkupuffern in den Leichtern) gestaltet werden. Die Bauweise ermöglicht eine Anpassung an verschiedene Schleusen- und Anlegergrößen, eine Entkopplung an Umschlagstellen ist möglich.

Konzept 1B erweitert das Basiskonzept 1A durch den modularen Einsatz von maximal zwei kleineren Leichtern, die flexibel gekoppelt und entkoppelt werden können. Die Grundsysteme entsprechen zunächst Automatisierungsgrad 1, können aber ebenso stufenweise auf höhere Automatisierungsgrade gebracht werden. Insbesondere die Kopplungsprozesse und die Koordination zwischen den Einheiten profitieren von Automatisierung: Intelligente Kupplungssysteme, Sensorintegration an den Kopplungspunkten und digitale Kommunikation (Vehicle-to-Vehicle, V2V) ermöglichen automatisierte An- und Abkopplungen, Fahrdynamikregelung und Positionsmanagement.



Abbildung 3.9: Visualisierung Konzept 1B (Bild KI-generiert mit ChatGPT von OpenAI (2025))

- Ein Schubboot, maximal zwei kleine Leichter, flexibel koppelbar
- Modularer Verband, Zusammensetzung je nach Frachtbedarf
- Variable Längen für optimale Nutzung des Kanalprofils
- Ggf. als Gelenkverband realisierbar, anfangs starr gekoppelt

Sensorik

- Multisensorplattform am Schubboot (Radar, Lidar, Kameras, GNSS, AIS)
- Ergänzende Sensorik an jedem Leichter
- Zusätzliche Abstandssensorik an Kopplungspunkten
- Zentrale Datenfusion im Schubboot

Kommunikation & Steuerung

- Zentrale Steuerungslogik im Schubboot, lokale Sensorik an jedem Leichter
- Vernetzung zwischen Einheiten (V2V), Datenbündelung zum ROC
- Fernüberwachung aller Einheiten

Energieversorgung & Antrieb

- Zentrale Energieversorgung oder dezentrale (Akkupuffer in Leichtern)
- Ladeinfrastruktur modular anpassbar
- Schubboot mit Diesel oder Diesel-elektrischem Antrieb, zukünftig Hybridantrieb, Leichter ggf. mit Hilfsantrieben

Integration in ELK-Infrastruktur

- Flexibel für unterschiedliche Schleusengrößen und Anlegestellen
- Möglichkeit, Leichter unterwegs zu entkoppeln/ankoppeln
- Anpassungsfähig bei niedrigen Wasserständen

Technologische Bewertung

- Gutes Innovationspotenzial für teilautomatisierte Logistik
- Höherer technischer Aufwand für Kopplungsmanagement und Kommunikation
- Operative Risiken: Fehlkopplung, Synchronisationsprobleme, Redundanzbedarf

Mit zunehmender Automatisierung (Grad 2 – 4) wird nicht nur die Bedienung vereinfacht, sondern auch die betriebliche Flexibilität gesteigert – etwa durch Entkopplung einzelner Leichter unterwegs oder gezielte Umläufe. Die Konfiguration bleibt kompatibel mit gängigen Schleusen- und Brückenabmessungen, ist anschlussfähig an bestehende Infrastrukturen und erlaubt zum Weitertransport die Übergabe an stärkere Einheiten. Risiken bestehen insbesondere bei der sicheren Kopplung, dem Management von Redundanzen und der Synchronisation im Betrieb.

3.4.3 Hochautomatisierte Leichter (Konzept 2)

Konzept 2 setzt auf einen eigenständig fahrenden, unbemannten Leichter mit umfassender Navigationsintelligenz, eigenem Antrieb und vollständiger Sensorintegration (Abbildung). Der Einstieg beginnt ab Automatisierungsgrad 3 (bedingte Automatisierung): Alle wesentlichen Aufgaben – Navigation, Hindernisvermeidung, Anlegen, möglicherweise Schleusenmanöver – werden vom System übernommen, menschliches Eingreifen ist auf Ausnahmen beschränkt (z. B. Notfälle, ROC-Intervention). Der Leichter ist auf die

spezifischen Rahmenbedingungen des ELK zugeschnitten und operiert unabhängig von einem Schubboot. Die begrenzte Anschlussfähigkeit resultiert daraus, dass ein direkter Weitertransport oder die flexible Kopplung an andere Systeme außerhalb des ELK eingeschränkt ist, solange dort keine Betriebsgenehmigung vorliegt. Entweder ist also ein Umschlag in Lauenburg notwendig oder es erfolgt eine hohe Kapitalbindung in nicht im System befindlichen Leichtern.

Technische Machbarkeit



Abbildung 3.10: Visualisierung Konzept 2 (Bild KI-generiert mit ChatGPT von OpenAI (2025))

Technisches Grundprinzip:

- Ein selbstfahrender Leichter mit eigenem Antriebssystem und Navigationsintelligenz.
- Der Leichter kann unabhängig jede Strecke befahren, eigenständig anlegen, Schleusen passieren und Fahrmanöver ausführen.
- Keine Notwendigkeit für ein begleitendes Schubboot; hochautomatisiert, aber über das Fernüberwachungszentren bzw. Remote Operation Center (ROC) permanent überwachbar.

Sensorik:

- Multimodale Sensorik zur sicheren Umgebungserfassung:
- GNSS/RTK-GPS für präzise Positionsbestimmung
- Radar und Lidar für Hinderniserkennung, Objektdetektion, Abstandsüberwachung
- Kameras zur optischen Navigation und Erkennung von Schildern, Signallichtern etc.
- Sensoren zur Abstandsmessung beim Anlegen oder in Schleusen
- Interne Sensorik für Lage, Kurs, Antriebsüberwachung
- Sensorfusion ermöglicht robustes, wetterunabhängiges Situationsbewusstsein.

Kommunikation & Steuerung:

- Steuerungslogik vollständig an Bord (dezentrale Steuerung); alle Fahrentscheidungen werden autonom getroffen.

- Permanente Verbindung zum ROC zur Überwachung, Notfallintervention und Updates.
- Kommunikation mit Land- und Wasserinfrastruktur (z. B. Schleusensteuerung, digitale Funkbaken, VDES, 5G/4G, AIS)
- Standardisierte Schnittstellen für Kommunikation mit anderen Schiffen und Hafenanlagen.

Technische Machbarkeit

Energieversorgung & Antrieb:

- Elektrischer oder hybrider Antrieb (je nach Streckenprofil und Infrastruktur)
- Lademöglichkeiten an speziell ausgestatteten Anlegern
- Ruderpropeller oder moderne Steurdüsen für hohe Manövrierfähigkeit
- Energiemanagementsystem zur Optimierung von Reichweite und Betriebszyklen

Integration in ELK-Infrastruktur:

- Dimensionen des Leichters an ELK angepasst
- Hochautomatisierte Steuerung speziell für enge Schleusenmanöver und Anleger vorgesehen
- Kompatibilität mit existierenden Terminaleinrichtungen und Landinfrastruktur
- Software-seitige Integration für digitale Schleusenkommunikation

Technologische Bewertung:

- Innovationspotenzial: vollständige Selbstständigkeit der Ladeinheit; ermöglicht Just-in-Time-Verkehre und flexible Umläufe ohne Schubboot.
- Reifegrad: Technisch anspruchsvoll (hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit, Redundanz, IT-Sicherheit); erste Pilotdemonstratoren im Testbetrieb
- Operative Risiken: Hohe Komplexität der Selbststeuerung, Schnittstellenanforderungen zu Infrastruktur, Risiko bei Ausfall der Primärsysteme, Bedarf an hochsicherer Kommunikation und regelmäßiger Wartung.



Abbildung 3.11: Watertruck+ während der Kanalfahrt [35]

Das Potenzial dieses Konzepts liegt in der maximalen Unabhängigkeit und Flexibilität – insbesondere auf Strecken mit vielen Schleusen oder bei kurzen Umläufen. Die Herausforderung ist jedoch, dass diese Lösung derzeit technisch komplex ist und insbesondere auf den Einsatz auf dem ELK beschränkt ist. Die Anschlussfähigkeit an andere Wasserstraßen oder für den Weitertransport, etwa ab Lauenburg in Richtung Hamburg oder den Elbe-Seitenkanal (ESK), ist durch die Beschränkung auf die Kanalmaße und die fehlende Koppelbarkeit mit klassischen Einheiten limitiert. Somit eignet sich dieses Konzept vor allem für Pilotstrecken mit klar definierten Rahmenbedingungen und als langfristige Vision für vollständig hochautomatisierte Binnenschifffahrt.

Erste Pilotprojekte [35] [36] zeigen die Machbarkeit, jedoch ist für einen breiten Praxiseinsatz noch ein erheblicher Entwicklungs- und Anpassungsaufwand zu leisten, insbesondere hinsichtlich Standardisierung, IT-Sicherheit und langfristiger Betriebssicherheit.

Technische Machbarkeit

3.4.4 Schubboote Push-&Pull (Konzept 3)

Technisches Grundprinzip

- Ein automatisiertes Schubboot schiebt einen großen Leichter in die Schleuse („Push“ – „Schieben“), ein weiteres Schubboot nimmt nach Passieren der Schleuse den Leichter auf und zieht ihn weiter („Pull“ – „Ziehen“).
- Die Aufgaben „Schieben“ und „Ziehen“ werden entlang der Strecke dynamisch verteilt.
- Die Schubboote sind automatisiert und übernehmen wechselnde Rollen.

Beim Push-&-Pull-Konzept ist die Länge des gesamten Verbandes – bestehend aus Schubboot und Leichter – auf maximal 80 Meter begrenzt, um die infrastrukturellen Vorgaben des ELK und insbesondere die Schleusenabmessungen vollständig einzuhalten, siehe Abbildung 3.12.



Abbildung 3.12: Visualisierung Konzept 3 (Bild KI-generiert mit ChatGPT von OpenAI (2025))

Das Betriebsprinzip beruht auf einer sequenziellen Übergabe des Leichters zwischen mehreren automatisierten Schubbooten entlang der Kanalstrecke. Ein Schubboot übernimmt zunächst den Leichter und schiebt diesen in die erste Schleuse. Nach Abschluss des Schleusenvorgangs übernimmt ein weiteres Schubboot, das auf der gegenüberliegenden Seite der Schleuse positioniert ist, den Leichter und zieht diesen aus der Schleusenkammer heraus.

Dieses Schubboot zieht den Leichter in die nächste Schleuse, wo der Übergabeprozess erneut erfolgt. Somit wird nach jeder Schleusung der Leichter durch ein anderes Schubboot übernommen. Nur das Erste Schubboot hat die Rolle des Schiebens („Push“) alle folgenden Boote haben die Rolle des Ziehens („Pull“) und tauschen mit dem nächsten Boot beim Ausfahren aus der Schleuse.

Sensorik

- Jedes Schubboot mit vollem Sensorset (Radar, Lidar, Kamera, GNSS, AIS).
- Besonderes Augenmerk auf Kopplungssensorik zur automatischen An- und Abkopplung.

Kommunikation & Steuerung

- Steuerungslogik verteilt: Jedes Schubboot arbeitet automatisiert, übergeordnetes Fahrplan- und Koordinationssystem (z. B. aus ROC).
- Permanente Kommunikation zwischen Schubbooten und Leichtern; zentrale Synchronisation via ROC.

Energieversorgung & Antrieb

- Jedes Schubboot: elektrischer oder hybrider Antrieb; eigene Energieversorgung.
- Leichter passiv (ohne eigenen Antrieb).

Integration in ELK-Infrastruktur

- Exakt an Schleusenlänge/-breite und Anleger angepasst.

Technologische Bewertung

- Innovativ durch flexible Aufgabenverteilung und Entkopplung des Schubvorgangs.
- Operative Risiken: Synchronisationsfehler beim Rollenwechsel, Präzision der Kopplungs-/Entkopplungsmanöver.

Das Push-&-Pull-Konzept mit automatisiert agierenden Schubbooten und einem großen Leichter stellt einen komplexen Ansatz für die Automatisierung von Schubverbänden auf dem Elbe-Lübeck-Kanal dar. Die Kombination aus Schub- und Zugbetrieb ermöglicht eine flexible und effiziente Bewältigung von Schleusenpassagen und Infrastrukturengpässen, während gleichzeitig die Transportkapazität eines klassischen Schubverbands erhalten bleibt. Die technischen Anforderungen an Sensorik, Kopplungssysteme und Steuerungslogik sind jedoch äußerst hoch, insbesondere im Hinblick auf die präzise Synchronisation der Einheiten und die sichere Übergabe der Verantwortung beim Rollenwechsel zwischen den Schubbooten.

Das Konzept bietet klare Vorteile hinsichtlich Redundanz und Betriebssicherheit, erfordert aber eine robuste Kommunikationstechnik und eine weitgehende Standardisierung der Kopplungs- und Steuerungssysteme. Insgesamt zeigt sich das Push-&-Pull-Prinzip als

technisch schwer umsetzbar, da es neben fehlenden Konzepten im Kopplungsbereich auch eine intensive Erprobungs- und Entwicklungsphase benötigt, um die operativen Risiken zu minimieren und den dauerhaften Praxiseinsatz zu ermöglichen.

Technische Machbarkeit

Aufgrund dieser hohen Anforderungen und der Vielzahl von Schnittstellen und Übergabepunkten ist das Konzept im aktuellen Stand der Technik als zu komplex und risikobehaftet einzuschätzen. Es wird daher nicht als vorrangige Option für eine schrittweise Automatisierung empfohlen.

3.4.5 Modulare Mini-Pusher-Systeme (Konzept 4A/4B)

Die Konzepte 4A und 4B setzen Mini-Pusher (ca. 3,5 – 8 m lang, 8,2 m breit) als Antriebs- und Steuerungsmodule ein, die mit einem (4A) oder zwei (4B) Leichtern gekoppelt werden. Der Startpunkt ist Automatisierungsgrad 2 (Teilautomatisierung), etwa für automatisches Koppeln/Entkoppeln und Fahrmanagement. Perspektivisch werden sämtliche Fahr-, Navigations- und Kopplungsprozesse hochautomatisiert (Grad 4). Mini-Pusher können flexibel zwischen Leichtern wechseln, sind auf die Kanalmaße abgestimmt und lassen sich dank standardisierter Schnittstellen in verschiedene logistische Szenarien integrieren. Im Unterschied zu Konzept 2 bleibt die Anschlussfähigkeit für den Weitertransport an andere Systeme erhalten.

Technisches Grundprinzip:

- Ein Mini-Pusher (3,5 – 8 m lang, ca. 8,2 m breit) dient als zentrales Antriebs- und Sensorikmodul für einen großen Leichter.
- Der Mini-Pusher wird vollautomatisch an den Leichter gekoppelt und bleibt während der Fahrt fest verbunden.
- Autonomes Koppeln und Entkoppeln ist spätestens ab Automatisierungsgrad 4 verpflichtend, um z. B. den Wechsel zwischen Leichtern ohne Personal zu ermöglichen.
- Der Mini-Pusher kann eigenständig und stabil auch ohne Leichter fahren.

Sensorik:

- Umfangreiche Sensorsuite im Mini-Pusher: GNSS/RTK-GPS, Radar, Lidar, Kameras für Fahrwasser-, Hindernis- und Umfeldüberwachung.
- Zusätzliche Kopplungssensoren sichern präzise Koppel- und Entkoppelvorgänge.
- Schleusen- und Anlegernavigation über Fusion aus Sensorik und digitalen Infrastrukturdaten.

Kommunikation & Steuerung:

- Steuerungslogik und Navigationsintelligenz vollständig im Mini-Pusher integriert.
- Permanente Kommunikation mit dem ROC, digitaler Austausch mit Landinfrastruktur (Schleusen, Terminals).
- Datenverbindung mit dem Leichter zur Status- und Sicherheitsüberwachung.

Energieversorgung & Antrieb:

- Elektrischer oder hybrider Antrieb im Mini-Pusher, leistungsfähige Akkus oder alternative Energiespeicher.

- Ladeinfrastruktur an Umschlagstellen und Schleusen vorgesehen; automatisiertes Andocken und Ladevorgänge.
- Energiemanagement für optimierte Reichweite und Effizienz.

Technische Machbarkeit

Integration in ELK-Infrastruktur:

- Maße des Mini-Pushers und Leichters an Schleusen, Brücken und Fahrdynamik des ELK angepasst.
- Autonome Steuerung speziell für enge Manöver und sich ändernde Wasserstände.

Technologische Bewertung:

- Reifegrad: Innovative Weiterentwicklung bestehender Systeme; autonomes Kopplein/Entkopplein wird noch erprobt, aber technisch erreichbar.
- Innovationspotenzial: Hohe Flexibilität und Skalierbarkeit, Trennung von Antriebs- und Ladeinheit.
- Operative Risiken: Ausfallrisiko des einzigen Antriebsmoduls, Anforderungen an Kopplungsmechanik und Kommunikationssicherheit, hohe Abhängigkeit von Zuverlässigkeit der Automatisierung.

Das Einsatzkonzept eines modularen Mini-Pushers als zentrales Antriebs- und Sensorik Modul für einen großen Leichter bietet eine innovative, technisch stringente Lösung für den Betrieb auf engen Kanalstrecken wie dem Elbe-Lübeck-Kanal. Die konsequente Trennung von Antriebs- und Ladeinheit ermöglicht hohe Flexibilität im Flottenmanagement, da Mini-Pusher schnell zwischen verschiedenen Leichtern eingesetzt werden können.

Die Stabilität des Mini-Pushers im „Solobetrieb“ und das automatisierte Kopplungs- und Entkopplungsverfahren gewährleisten einen durchgehend hochautomatisierten und sicheren Betrieb. Die technische Realisierung erfordert jedoch eine robuste Kopplungsmechanik, hohe Zuverlässigkeit der Automatisierung sowie eine leistungsfähige Energieversorgung. Insgesamt stellt das Konzept eine zukunftsfähige Option dar, um den Automatisierungsgrad und die Effizienz in der Binnenschifffahrt signifikant zu steigern.



Abbildung 3.13: Watertruck+ mit Schubboot an der Pier [35]

Im Unterschied zu Konzept 4A, bei dem der Mini-Pusher ausschließlich mit einem einzelnen großen Leichter betrieben wird, sieht das Konzept 4B vor, dass der Mini-Pusher als Antriebsmodul für maximal zwei kleinere, miteinander gekoppelte Leichter eingesetzt wird. Während bei 4A der Fokus auf der maximalen Ausnutzung der Schleusenkapazität und einem klassischen Transportprofil liegt, ermöglicht 4B eine flexiblere Gestaltung von Transportverbänden und eine gezielte Anpassung der Transportkapazität an unterschiedliche Anforderungen.

Technische Machbarkeit



Abbildung 3.14: Visualisierung Konzept 4 (Bild KI-generiert mit ChatGPT von OpenAI (2025))

Durch die modulare Koppelung kleiner Leichter kann der Mini-Pusher im Rahmen von 4B verschiedene Ziele oder Frachten parallel bedienen, wodurch sich der Einsatz besonders für Sammel- oder Linienverkehre eignet. Der technische und operative Grundansatz – ein automatisierter Mini-Pusher mit automatisierten Koppel- und Entkoppelvorgängen sowie umfassender Sensorik und Steuerung – bleibt jedoch in beiden Konzepten identisch. Die Unterschiede betreffen vor allem die Variabilität und Skalierbarkeit des Gesamtsystems im laufenden Betrieb.

3.5 Potenzieller Ausbau bestehender Infrastruktur

Für die langfristige Umsetzung höherer Automatisierungsgrade bei den Schubverbandskonzepten auf dem Elbe-Lübeck-Kanal sind gezielte infrastrukturelle Erweiterungen durchzuführen. Diese Erweiterungen steigen in Abhängigkeit des Automatisierungsgrads.

Eine digitale Schleusenintegration ist zielführend um mittels einer automatisierten und digital vernetzten Steuerung der Schleusenanlagen langfristig hochautomatisierte Einheiten reibungslos, sicher und ohne permanente Vor-Ort-Bedienung bedienen zu können. Eng damit verknüpft ist eine leistungsfähige Kommunikationsinfrastruktur entlang der gesamten Strecke, die mindestens auf 4G/5G-Basis, alternativ aber auch auf redundanten Funklösungen beruht. Ohne eine durchgängige, hochverfügbare Datenanbindung ist die Überwachung und Steuerung der Einheiten aus der Ferne, etwa im Störfall, nicht möglich.

Ein weiteres Schlüsselement ist die Ladeinfrastruktur für Elektroantriebe. Da künftige Systeme vermehrt auf elektrische oder hybride Antriebe setzen, müssen standardisierte, dezentrale Ladepunkte an allen relevanten Umschlagstellen und in Schleusenbereichen installiert werden. Diese Ladepunkte sollten auf kurze Ladezeiten und automatisierte Kopplungsprozesse der Ladeinfrastruktur ausgelegt sein, um Betriebsunterbrechungen zu minimieren.



Abbildung 3.15: Remote Operation Center der Firma SEAFAR in Duisburg [37]

Für das Monitoring, die Steuerung und im Bedarfsfall auch das gezielte Eingreifen müssen Fernüberwachungszentren bzw. ROC geschaffen werden. Diese Betriebsleitstände sind mit redundanten Visualisierungssystemen, VHF-Funk, AIS-Integration und Notfall-Interfaces auszustatten, sodass auch in außergewöhnlichen Situationen jederzeit ein sicherer Betrieb gewährleistet werden kann.

Die Bordausstattung (teil-) automatisierter Einheiten wird durch digitale Navigationshilfen und Infrastrukturmarkierungen ergänzt. Dazu zählen beispielsweise elektronische Sichtzeichen oder virtuelle AtoNs, die insbesondere an kritischen Passagen wie Brücken oder Engstellen zusätzliche Sicherheit schaffen und die Leistung der Bord-Sensorik unterstützen.

Nicht zuletzt erfordert der Einsatz (teil-) automatisierter Leichter und Schubverbände angepasste oder erweiterte Platzreserven an Liegestellen. Dies kann etwa durch modulare Pontons oder flexible Festmacheinrichtungen erfolgen, die den Anforderungen variabler Verbandslängen und -konfigurationen gerecht werden.

3.6 Machbarkeit (teil-) automatisierten Schubverbände

Die Umsetzung (teil-) automatisierter Schubverbandsysteme auf dem ELK ist unter strikter Berücksichtigung der existierenden infrastrukturellen Rahmenbedingungen, der zwingenden Nutzung moderner Kommunikationssysteme und dem Aufbau eines zentralen ROC technisch realisierbar.

Die einzelnen Konzeptvarianten wurden so entwickelt, dass sie jeweils auf den Ergebnissen und Erfahrungen bestehender nationaler und internationaler Forschungsprojekte aufbauen. So können Synergie- und Lerneffekte optimal genutzt werden. Die notwendige Infrastruktur – Kommunikation, ROC, Energieversorgung – ist kein optionales „Add-On“, sondern integraler, zwingender Bestandteil einer zukunftsfähigen Automatisierungslösung in der Binnenschifffahrt.

3.6.1 Bewertung und Roadmap: Stufenweise Einführung

Aufgrund der aktuellen technischen Reife, infrastrukturellen Voraussetzungen und betrieblichen Anforderungen stellt das Konzept 1A (Schubverband mit großem Leichter) die robusteste und pragmatischste Lösung für die kurzfristige Einführung eines (teil-)automatisierten Betriebs auf dem ELK dar.

Die vorhandene Infrastruktur, insbesondere die Schleusen- und Brückenanlagen, lässt sich mit geringen Anpassungen für die unteren Automatisierungsstufen (Grad 2 – 3) nutzen. Das Konzept ermöglicht durch den Einsatz etablierter Sensor-, Steuerungs- und Kommunikationssysteme einen risikoarmen Einstieg in den automatisierten Betrieb. Wissenschaftlich betrachtet bieten Systeme, die graduell aufbauend auf bestehenden operativen Abläufen und Technologien eingeführt werden, höhere Erfolgswahrscheinlichkeiten und geringere Implementierungsrisiken. Dabei sind vor allem vorhandene Schiffe und Infrastrukturelemente geeignet, erste Erkenntnisse zu sammeln und den Technologiepfad validiert weiterzuentwickeln.

Mit steigender Akzeptanz der Systeme und zunehmendem Transportvolumen bietet es sich mittelfristig an, die modulare Flexibilität und Kapazitätssteigerung der Konzepte 1B und 2 zu nutzen. Beide Konzepte bauen technologisch auf den Erfahrungen aus der Einführung und dem Betrieb von Konzept 1A auf. Insbesondere der Schritt zu hochautomatisierten Leichtern (Konzept 2) ist plausibel, da die in Konzept 1A etablierte technische Infrastruktur (Sensorfusion, ROC-Integration, Kommunikationssysteme) weiterverwendet werden kann. Die technologische und operationelle Erfahrung aus Konzept 1A reduziert somit die Implementierungsrisiken von Konzept 2 erheblich.

Langfristig bieten die Konzepte 4A und 4B (modulare Mini-Pusher) die Möglichkeit einer flexiblen und effizienten Flottenorganisation. Durch die Etablierung standardisierter und automatisierter Kopplungssysteme, die bereits in früheren Phasen getestet wurden, wird eine technische Skalierbarkeit erreicht, die es ermöglicht, auf schwankende Transportnachfragen flexibel zu reagieren. Die wissenschaftliche Fundierung liegt hierbei in der Modularisierung und Standardisierung als zentrale Prinzipien moderner logistischer Automatisierungskonzepte. Modularität ermöglicht nicht nur eine hohe Anpassungsfähigkeit an veränderte Anforderungen, sondern reduziert auch technologische Risiken durch definierte Schnittstellen und klar abgegrenzte technische Komponenten.

Die Roadmap zur stufenweisen Einführung ist dementsprechend wie folgt strukturiert:

Technische Machbarkeit

Kurzfristige Phase (bis 2029):

- Einführung von Konzept 1A mit Automatisierungsgrad 2–3
- Aufbau digitaler Schleusenassistenzsysteme und Remote Operation Center (ROC)
- Validierung technischer Systeme und operationeller Prozesse in Pilotbetrieb

Mittelfristige Phase (2030–2034):

- Ausweitung auf modulare Konzepte (1B) und erste hochautomatisierte Leichter (Konzept 2)
- Erweiterung der Kommunikations- und Ladeinfrastruktur
- Etablierung automatischer Koppel- und Entkoppelverfahren im Betrieb

Langfristige Phase (ab 2035):

- Vollständige Einführung modularer Mini-Pusher (Konzepte 4A/4B)
- Integration aller Komponenten in ein umfassendes digitales Ökosystem
- Volle Skalierbarkeit der Flotte bei maximaler Automatisierung (Automatisierungsgrad 4)

Im Kapitel wird der Genehmigungsprozess für (teil-) automatisierte Schubverbände betrachtet. Ziel ist es, die relevanten Behörden und Vorgänge zu identifizieren, die für die Genehmigung und den Betrieb eines innovativen Systems erforderlich sein können. Die Vorgehensweise umfasst die Recherche über zuständige Behörden in Deutschland. Weiterhin erfolgt eine Analyse des Genehmigungsprozesses für einen Testbetrieb in Belgien. Da dort die Legislative bereits den Testbetrieb ermöglicht, soll dieser Prozess als Beispiel dienen.

Die dargestellten Ergebnisse sind eine Übersicht der relevanten Behörden, die in den Genehmigungs- und Umsetzungsprozess eingebunden werden sollten und den rechtlichen Rahmenbedingungen. Hier liegt der Schwerpunkt auf der fortgeschrittenen belgischen Rechtsgrundlage.

4.1 Behörden- und Zuständigkeitsrecherche

Das Bundesministerium für Verkehr ist sowohl der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) als auch der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) übergeordnet, wie auch in Abbildung 4.1 dargestellt ist.

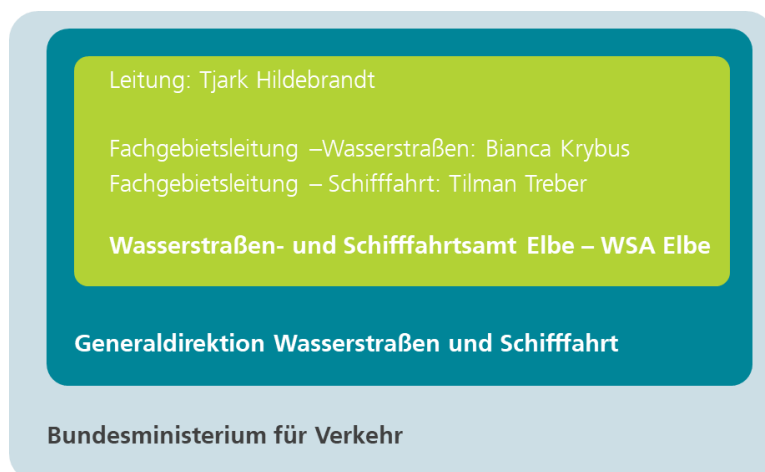


Abbildung 4.1: Hierarchie der Behörden in Deutschland in Bezug auf die Binnenwasserwege

Die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) hat die zentrale Aufgabe, die Sicherheit und Leichtigkeit der Binnenschifffahrt in Deutschland zu gewährleisten. Sie ist u.a. verantwortlich für die Überwachung und Regelung der Wasserstraßen, die Durchführung von Schiffseichungen, die Erteilung von Befähigungsnachweisen für die Besatzungen sowie die Genehmigung von Fahrten auf Bundeswasserstraßen. Darüber hinaus spielt die GDWS eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung und Umsetzung von Vorschriften, die den sicheren Betrieb von Wasserfahrzeugen betreffen.

Die Aufgaben der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) bauen auf den Grundsätzen und Regelungen der GDWS auf. Während die GDWS die übergeordneten Rahmenbedingungen und Sicherheitsstandards festlegt, sorgt die WSV für die praktische Umsetzung dieser Vorschriften, die Überwachung der Einhaltung und die Förderung der deutschen Binnenflotte. Somit ergänzen sich beide Institutionen in ihrem Ziel, eine sichere und effiziente Binnenschifffahrt zu gewährleisten.

Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe (WSA Elbe) trägt die Verantwortung für die Sicherheit und Effizienz der Binnenschifffahrt in einer bedeutenden Verkehrs- und Wirtschaftsregion Deutschlands. Die Zusammenarbeit mit der GDWS und der WSV stellt sicher, dass übergeordnete Sicherheitsstandards in die spezifischen Gegebenheiten der Elbe und ihrer Nebenflüsse integriert werden.

Das WSA Elbe mit seinen 15 Außenbezirken hat eine Vielzahl von Aufgaben, die sich auf die Instandhaltung, den Betrieb und die Sicherheit der Wasserstraßen konzentrieren. Zu den Hauptaufgaben gehören:

1. **Instandhaltungsarbeiten:** Das WSA Elbe ist verantwortlich für die Wartung und Instandsetzung von über 1.066 km Bundeswasserstraßen, einschließlich 45 Schleusen, 50 Wehren, 101 Brücken sowie der Kanalbrücke Magdeburg.
2. **Betrieb der Wasserstraßen:** Es sorgt für die Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs und die Sicherheit auf den Wasserstraßen, indem es den Verkehr koordiniert und bei Bedarf Verkehrsbeschränkungen einführt.
3. **Sicherheitsüberwachung:** Das WSA Elbe führt regelmäßige Inspektionen der Wasserbauwerke durch, um deren Funktionsfähigkeit und Sicherheit zu gewährleisten. Dazu gehören auch die Überwachung von Dammstrecken, Buhnen und Deckwerken.
4. **Planung und Bau:** Das WSA Elbe ist auch in die Planung und den Bau neuer Wasserbauwerke eingebunden, um die Infrastruktur an die aktuellen Bedürfnisse anzupassen.

Zu weiteren Aufgaben gehört das Hochwassermanagement, die Öffentlichkeitsarbeit und Beratung, sowie die Unterstützung des Wassertourismus.

Für ein langfristiges, zukünftiges Vorhaben (teil-) automatisierter Schubleichter sind die Inhalte der Punkte 1 bis 4 von großer Relevanz, da sie die Grundlage für den Betrieb und die Umsetzung neuer Projekte bilden. Die Instandhaltungsarbeiten des WSA Elbe sorgen für die Funktionsfähigkeit der bestehenden Infrastruktur. Ein reibungsloser Betrieb der Wasserstraßen, unterstützt durch Sicherheitsstandards und Verkehrskontrollen, ist notwendig, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs zu gewährleisten. Regelmäßige Inspektionen der Schleusenbauwerke bieten Nachweise über deren Integrität, was für die Genehmigung neuer Technologien wichtig ist. Darüber hinaus wird die Planung und der Bau neuer Bauwerke wichtig sein, um die Infrastruktur an die zukünftigen Anforderungen und einen höheren Automatisierungsgrad anzupassen, was die Genehmigung weiterer Vorhaben mit sich bringen könnte. Für den kurzfristigen Einsatz der Schubverbände aus Konzept 1A, spielt es eine untergeordnete Rolle.

Zusätzlich sind eventuell weitere Genehmigungen von der Schiffsuntersuchungskommission und dem Schiffseichamt (GDWS, Dezernat Technische Schiffssicherheit (S12)) erforderlich, falls es sich um Neubauten oder den Einsatz bisher nicht genehmigter Technologien handelt. Diese Institutionen sind zuständig für die technische Zulassung und Sicherheitsprüfung des Schiffskörpers sowie der Antriebssysteme. Sie führen auch Prüfungen von Ausrüstungen, Notfallsystemen und autonomen Kontrollmechanismen durch und stellen die Fahrtauglichkeitsbescheinigung aus.

Des Weiteren kann je nach eingesetzter Technologie das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) beteiligt sein, insbesondere im Hinblick auf navigationsbezogene Technologien und Systeme, auch wenn es primär für die Seeschifffahrt zuständig ist.

Bei der Planung und Durchführung von Tests autonomer Binnenschiffe ist zudem die Unfallverhütungsvorschrift „Wasserfahrzeuge mit Betriebserlaubnis auf Binnengewässern“ zu beachten. Diese Vorschrift legt wichtige Sicherheitsstandards fest, die für den Betrieb aller Wasserfahrzeuge auf Binnengewässern gelten.

Genehmigungsprozess

4.2 Seafar Testbetrieb auf deutschen Gewässern

Seafar NV ist ein Schiffsmanagementunternehmen mit Hauptsitz in Belgien, das sich auf den Betrieb von unbemannten und personalreduzierten Binnenschiffen spezialisiert hat. Im Zentrum des Geschäftsmodells steht ein Fernsteuerungskonzept, das es ermöglicht, Schiffe aus einer zentralen Leitstelle heraus sicher und effizient zu betreiben. Über das firmeneigene Control Center werden die Fahrten in Echtzeit überwacht und gesteuert. Ziel des Unternehmens ist es, die Effizienz der Binnenschifffahrt zu steigern und gleichzeitig die Sicherheit auf dem Wasser zu erhöhen.

Die Motivation hinter dem Ansatz von Seafar ist eng mit der Zukunftsfähigkeit der Binnenschifffahrt in Europa verknüpft. Gemeinsam mit den Reedereien HGK Shipping und Deymann verfolgt das Unternehmen auch in Deutschland das Ziel, die Arbeitsbedingungen für Schiffsführer*innen nachhaltig zu verbessern. Durch den Wechsel vom Bordbetrieb hin zu einem stationären Arbeitsplatz in einer Fernsteuerzentrale entstehen neue berufliche Perspektiven, die insbesondere mit Blick auf den zunehmenden Fachkräftemangel eine entscheidende Rolle spielen.

Am 28. Februar wurde die erste Fernsteuerungszentrale in Deutschland eröffnet. In Duisburg, einem zentralen Knotenpunkt des europäischen Binnenschifffahrtsnetzes, wurde gemeinsam mit den Partnerunternehmen die Infrastruktur geschaffen, um zukünftig unbemannte oder (teil-) automatisierte Schiffe unter realen Bedingungen fernzusteuern. Seafar verfügte zwischenzeitlich über eine Genehmigung für einen Testbetrieb auf dem Niederrhein [38]. Seit Mitte Mai diesen Jahres wurde davon ausgehend durch die GDWS eine Genehmigung für den Betrieb eines ferngesteuerten Koppelverbands im Fahrtgebiet von Scharnebeck nach Salzgitter erteilt [39].

Weitere Genehmigungen sind beantragt, unter anderem für Abschnitte des nordwestdeutschen Kanalgebiets, den Mittellandkanal sowie zusätzliche Rheinabschnitte. Die derzeitigen Pilotprojekte bieten nicht nur technologischen Erkenntnisgewinn, sondern auch wichtige Impulse für die nachhaltige und resiliente Gestaltung der Binnenschifffahrt in Deutschland.

Tabelle 4-1: Beispielhafte Darstellung, wie Seafar durch den Einsatz einer Fernsteuerung Personal(kosten) spart

Traditionelle Binnenschifffahrt in Belgien	Schiffsführer1	Arbeitszeit	<i>Ruhezeit</i>	Arbeitszeit	<i>Ruhezeit</i>
	Schiffsführer2	<i>Ruhezeit</i>	Arbeitszeit	<i>Ruhezeit</i>	Arbeitszeit

Im traditionellen Modell wechseln sich 2 Schiffsführer*innen an Board ab. Bei 32 Betriebsstunden fallen so 64 Arbeitsstunden an.

Model "Seafar"	Schiffsführer an Bord	Arbeitszeit	<i>Ruhezeit</i>	Arbeitszeit	<i>Ruhezeit</i>
	Schiffsführer mit Fernsteuerung	-	Arbeitszeit	-	Arbeitszeit

Im Model "Seafar" wird 1 Schiffsführer*in an Bord durch eine Person ersetzt, die das Schiff fernsteuert. So ergeben sich durch die Pausenzeiten 48 Arbeitsstunden.

4.3 Analyse des ‚belgischen Prozess‘

Die flämische Regierung³ setzt auf autonome und automatisierte Schifffahrt, um die Binnenschifffahrt entlang des transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-T) zu entwickeln. Dies betrifft sowohl den Fernverkehr als auch kurze Strecken und städtische Gebiete. Die Notwendigkeit, die letzten Kilometer der urbanen Logistik nachhaltiger zu gestalten und Lösungen den Verkehrsüberlastungen entgegenzutreten, steht dabei im Vordergrund.

Die Nutzung von Schiffen der CEMT-Klasse I bis III ist aktuell sehr gering, was zu einem weniger robusten Verkehrsnetz führt, da Alternativen rar sind und Teile des verfügbaren Wasserstraßennetzes ungenutzt bleiben. Zudem beeinträchtigt ein wachsender Personalmangel die Branche, was die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt in der Logistikkette gefährden kann.

Digitalisierung und Automatisierung sind hier entscheidend, um Lösungen zu finden. Dies betrifft zum Beispiel Ziele des Europäischen Grünen Deals [40]. In diesem Kontext sind zukunftsorientierte Versuche und Testumgebungen mit innovativen Lösungen wie automatisiertem Fahren eine Möglichkeit, die auch in Deutschland Anwendung finden kann. ‚De Vlaamse Waterweg nv‘ (DVW) hat hier für die flämische Regierung einen Bedarf erkannt und unterstützt daher aktiv die Durchführung von Versuchen sowie die Bereitstellung von Testgründen. Diese Partnerschaft zwischen der Regierung und dem Binnenschifffahrtssektor wird seitens der Belgier als entscheidend für den Übergang zu einem effizienteren und nachhaltigeren Verkehrssystem durch die optimale Nutzung der Wasserstraßen betrachtet.

³ Der hier beschriebene Prozess bezieht sich ausdrücklich auf die Region Flandern. Wallonien ist als Teil von Belgien nicht betroffen von diesen Regeln und handelt davon unabhängig.

4.3.1 Die vier Hauptpfeiler für Smart Shipping

Genehmigungsprozess

Um ein sicheres, zuverlässiges, effizientes, nachhaltiges und intelligentes Wasserstraßennetz zu erreichen, konzentriert sich das *Smart Shipping-Programme* der Vlaamse Waterweg auf vier Hauptpfeiler [41]:

1. Intelligente Schiffe
2. Intelligente Infrastruktur
3. Intelligente Kommunikation
4. Intelligente Vorschriften

Schiffe	Schiffe mit einer (minimalen) Form der Automatisierung. Der Automatisierungsgrad ist hier nicht wichtig: Jedes automatisierte Schiff muss das gleiche Mindestmaß an Sicherheit gewährleisten wie ein traditionelles Schiff.
Infrastruktur	Dies ist eine Wasserstraßeninfrastruktur, die hochautomatisiert und ferngesteuert ist. Die Interaktion zwischen Infrastruktur und Schiffen erfolgt digital, um den Verkehr so sicher wie möglich zu steuern.
Kommunikation	Dies betrifft den Datenaustausch, der einen flexiblen und intelligenten Prozess anstrebt, in dem die gesamte Kommunikation zwischen Behörde und Wasserstraßennutzern digitalisiert wird und nach international standardisierten Verfahren erfolgt.
Vorschriften	Vlaamse Waterweg ist bestrebt, die Ergebnisse flämischer Pilotprojekte für die internationale Lobbyarbeit und die Harmonisierung der Vorschriften für automatisierte und ferngesteuerte Schiffe zu nutzen, wobei die Sicherheit von größter Bedeutung ist.



Abbildung 4.2: Karte der Wasserwege in Flandern [41]

Im Jahr 2018 eröffnete DVW sein gesamtes Verwaltungsgebiet als Testgebiet für das automatisierte Fahren. Auf der Grundlage von Artikel 70 des ‚Scheepvaartdecreet‘, siehe auch Abschnitt 4.3.2, ist es derzeit möglich, in Flandern innovative Versuche oder Pilotprojekte auf den schiffbaren Wasserstraßen zu starten. Diese sind in der Karte, siehe Abbildung 4.2, markiert.

Genehmigungsprozess

Die verschiedenen Experimente und Pilotprojekte zielen darauf ab, sowohl technisches als auch juristisches Wissen und Erfahrung aufzubauen, um zukünftige nachhaltige Vorschriften zu entwickeln, die einen kommerziell automatisierten Betrieb ermöglichen.

4.3.2 Artikel 70 des Schifffahrtsdekrets

Am 16. Juni 2021 wurde ein königliches Dekret [42] über unbemanntes Fahren in den belgischen Seezonen veröffentlicht, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Betrieb unbemannter Schiffe festlegt. Das Dekret basiert auf –„EU Operational Guidelines for safe, secure and sustainable trials of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)“, „MSC.1/Circ.1604: Interim guidelines for MASS trials“ und „MSC.1/Circ.1455: Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO Instruments“.

Gemäß diesem Dekret ist es erforderlich, dass jedes unbemannte Schiff, das in diesen Gewässern operiert, eine Betriebslizenz beantragt und registriert wird. Die Bewertung basiert auf einem projektspezifischen technischen Antragsdokument, das bei der Behörde eingereicht werden muss. Zudem können je nach Gebiet zusätzliche Bedingungen von den regionalen Behörden auferlegt werden. Die übergeordnete Zuständigkeit liegt beim Föderalen Öffentlichen Dienst (FÖD) Mobilität und Verkehr, die belgische Verwaltungsbehörde. Für die Binnenwasserwege gelten die Vorschriften von ‚De Vlaamse Waterweg‘ und diese arbeitet auf folgender Grundlage:

“Die Wasserstraßenbehörde ist befugt, Genehmigungen für Versuche mit innovativen Systemen innerhalb des Verwaltungsgebiets zu erteilen.“

Zu diesen Systemen gehören automatisierte Systeme auf Schiffen oder an Land. Zeitweilige Abweichungen von Gesetzen, Verordnungen oder Entscheidungen hinsichtlich Besatzung, Navigation, technischen Merkmalen der Schiffe, Wasserstraßenverkehrsregeln und Dokumentation können zugelassen werden. Bei der Genehmigungserteilung werden Ziele, Standorte, Gültigkeitsdauer, Abweichungen und Sicherheitsmaßnahmen festgelegt. Die Genehmigung ist zunächst für 1 Jahr gültig. Sie kann auf bis zu 10 Jahre verlängert werden. Für die Binnenschifffahrt gelten dabei gesonderte Regeln, die auf dem königlichen Dekret beruhen. Das Schifffahrtsdekret und insbesondere der Artikel 70 ermöglichen den zeitweisen Betrieb von (teil-) automatisierten Schiffen. [43]

Der Behörde ist es so möglich Testgebiete freizugeben und den Betrieb vorübergehend zu genehmigen. DVW hat eine Vision entwickelt, die mehrere zentrale Aspekte umfasst. Die Benachrichtigung von Schiffen mit vollständiger Besatzung, ohne dass dabei Abweichungen vom aktuellen Standard auftreten, soll die Effizienz und Sicherheit im Schiffsverkehr erhöhen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Entwicklung einer Flotte von mehreren identischen Schiffen. Zusätzlich plant DVW, Warentransport und Passagierkreuzfahrten zu kombinieren und dabei bestehende Regelungen zu erweitern. Diese Initiativen sollen sicherstellen, dass ein gleichwertiges Sicherheitsniveau gewährleistet ist, während innovative Ansätze zur Verbesserung des Schiffsverkehrs erprobt werden.

4.3.3 Prozessablauf

Genehmigungsprozess

Im Folgenden werden die Schritte und Verfahren für den Konzeptantrag und den Pilotbetrieb im Rahmen des Smart Shipping-Projekts detailliert dargestellt. Der Prozess umfasst verschiedene Phasen, beginnend mit dem ersten Kontakt zwischen dem Antragsteller und dem zentralen Ansprechpartner, über die Einreichung und Überprüfung des Antragsformulars bis hin zur finalen Vertragsunterzeichnung und Registrierung. Vom ersten Antrag bis zur Genehmigung vergehen in der Regel sechs Monate.

Die folgenden Abschnitte bieten eine Darstellung der wesentlichen Punkte und Abläufe.

Konzeptantrag

Erster Kontakt: Konzeptanwendung oder Einreichungsantrag – Antragsteller

Überprüfung des Entwurfsantrags - Zentraler Ansprechpartner Smart Shipping

Interaktion mit dem Antragsteller / Zentraler Ansprechpartner bis zum vollständigen Entwurf des Antrags.

Einreichung und Überprüfung des Antragsformulars

Abstimmung zwischen Antragsteller und Zentraler Ansprechpartner Smart Shipping zur Einreichung des Antragsformulars

Einreichung des Antragsformulars durch den Antragsteller inkl. Anlagen (Konzeptplan / Übersicht über Abweichungen / Risikoanalyse / Methodik zur Reduzierung der Besatzung)

Regelmäßiger Austausch zwischen dem Antragsteller und dem zentralen Ansprechpartner bis zum vollständigen Antrag

Vereinbarung zum Pilotbetrieb

Entwurf des Vertrages für den Pilotbetrieb

Anfrage um Rat und/oder interne Konsultation durch das Expertengremium

Gemeinsame Konsultation des Antragstellers - zentraler Ansprechpartner Smart Shipping

Interaktion zwischen Antragsteller, zentraler Ansprechpartner Smart Shipping und Experten

Anpassungen im Vertrag für den Pilotbetrieb

Einreichung des Vertragsentwurfs und interne Validierung im DVW

Vorbereitung des endgültigen Vertrages zum Pilotbetrieb

Unterschrift des Geschäftsführers DVW

Unterschrift Antragsteller

Registrierung des Vertrages, Veröffentlichung auf der Webseite und Kommunikation an andere Parteien

Einbeziehung von Abweichungen und Bedingungen in das Prüfungszertifikat

Der zentrale Ansprechpartner für die Einreichung von Anträgen ist erreichbar unter smartshipping@vlaamsewaterweg.be

Genehmigungsprozess

In Deutschland ist ein solches Vorgehen aktuell nicht behördlich geregelt. Allerdings zeigt sich durch den Testbetrieb auf dem Rhein, dass es grundsätzlich möglich ist (teil-) automatisierte Binnenschiffe zu betreiben. In Anlehnung an den belgischen Prozess ist es auch für einen Einsatz auf deutschen Wasserstraßen unerlässlich, das angestrebte System technisch im Detail zu beschreiben. Dies ist für Deutschland im §30 BinSchOU näher beschrieben.

Ein bestehendes Formular ausfüllen ist aktuell nicht möglich. Die Auseinandersetzung mit der bestehenden Rechtsgrundlage und die direkte Kommunikation mit den zuständigen Behörden ist jedoch notwendig für den Betrieb bzw. das Erwirken einer Ausnahmegenehmigung.

Die Binnenschiffspersonalverordnung – BinSchPersV regelt, welche Personen an Bord eines Binnenschiffes welche Aufgaben übernehmen dürfen und welche Berechtigungen dafür erforderlich sind. Für einen (teil-) automatisierten Betrieb gilt es zu klären, inwiefern von §99 Verwendung gemacht werden kann. Dieser erlaubt die „Nutzung neuer Technologien zu Versuchszwecken und für einen begrenzten Zeitraum“.

4.4 Automatisierte Schleusen in Flandern



Abbildung 4.3: Teilstück auf dem Leuven-Dijle Kanal mit automatisierten Schleusen [41]

Durch die Anwendung der bestehenden Regeln in Flandern ist es bereits heute möglich (teil-) automatisierte Schiffe zu betreiben. Darüber hinaus wurde auf einem Teilstück des Kanalnetzes auch die Infrastruktur automatisiert.

Schleusen zu automatisieren und diese unbemannt zu betreiben ist bereits Realität. Auf dem Leuven-Dijle-Kanal, in Abbildung 4.3 grün dargestellt, sind fünf Schleusen in Betrieb die als Testeinrichtungen dienen. Die Schleusen Zennegat, Battel, Boortmeerbeek, Kampenhout und Tildonk können von Schiffen angefahren werden und die Schleusen werden zentralisiert in Kampenhout gesteuert.

Der Testbetrieb der automatisierten Schleusen ist in vier Phasen gegliedert:

Genehmigungsprozess

1. Phase	Bemannter Schleusungsprozess, mit vertäutem Schiff und ohne Schub
2. Phase	Bemannter Schleusungsprozess mit schlaff hängender Vertäuung, mit Schub zur Positionierung des Schiffes
3. Phase	Bemannter Schleusungsprozess ohne Vertäuung, mit Schub zur Positionierung des Schiffes
4. Phase	Unbemannter Schleusungsprozess ohne Vertäuung mit Schub zur Positionierung des Schiffes, kontrolliert über eine Fernsteuerung

Die vorläufigen Testergebnisse zeigen die Machbarkeit dieser Methode der automatischen Schleusendurchfahrt auf. Ein Nachteil bei dieser Art der Schleusung ist jedoch die Kraft, die durch den Schub auf die Schleusenbauwerke wirkt. Eine offizielle Veröffentlichung der Testergebnisse erfolgt im Laufe des Jahres.⁴

⁴ Die hier beschriebenen Erkenntnisse sind das Gedächtnisprotokoll eines Gesprächs mit Erik Schrooyen, Projekt Manager bei De Vlaamse Waterweg am 06.05.2025

Es werden die wesentlichen Aspekte beleuchtet, die die zukünftige Entwicklung des ELK beeinflussen können. Dabei stehen sowohl die infrastrukturellen Gegebenheiten als auch die wirtschaftlichen und gesellschaftliche Entwicklungen im Mittelpunkt, die entscheidend für die Attraktivität des Kanals sind.

5.1 Ausarbeitung offener Fragestellungen

Im Rahmen des vorliegenden Kurzgutachtens wurden mehrere relevante Fragestellungen identifiziert, die im Kontext der Herausforderungen des ELK und dem angestrebten Einsatzes (teil-) autonomer Systeme von Bedeutung sind. Diese offenen Fragen sollten im nächsten Schritt aufgezeigt werden, um geeignete Lösungsansätze zu entwickeln und die Attraktivität des ELK für den Warentransport zu erhöhen.

Wie kann der Warentransport für ansässige Unternehmen attraktiv gestaltet werden?

Um den Warentransport für (ansässige) Unternehmen attraktiver zu gestalten, sollten verschiedene Strategien in Erwägung gezogen werden:

- Optimierung der Infrastruktur: Terminals, Umschlag- oder Warteplätze entlang des Kanals. Instandhaltung und Ausbau der Schleusen und Brücken, um automatisierten Schiffverkehr zu ermöglichen
- Angebotsanpassungen: Entwicklung flexibler Transportlösungen und Angebote, die auf die spezifischen Bedürfnisse der Unternehmen zugeschnitten sind.
- Marketingmaßnahmen: Förderung der Vorteile des ELK als Transportweg gegenüber anderen Verkehrsträgern.

Welche Reedereien können angesprochen werden, den ELK wieder zu nutzen?

Die Ansprache geeigneter Reedereien sollte auf folgenden Kriterien basieren:

- Interesse an regionalen Transportlösungen: Reedereien, die auf den norddeutschen Markt fokussiert sind und die Wiederbelebung des ELK wichtig ist
- Kompatibilität der Schiffe: Reedereien, deren Schiffe den Anforderungen des ELK entsprechen (z. B. CEMT Klasse III).
- Nachhaltigkeitsstrategien: Reedereien, die an nachhaltigen und resilienten Transportlösungen, die einen modalen Split beinhalten, interessiert sind.

Welche Reedereien haben Interessen an einer (teil-) Automatisierung ihrer Flotte?

Die Identifizierung von Reedereien, die an der Automatisierung ihrer Flotte interessiert sind, kann durch folgende Maßnahmen unterstützt werden:

- Marktforschung: Analyse von Reedereien, die bereits Automatisierungsprojekte umgesetzt haben oder diese planen.
- Branchennetzwerke: Teilnahme an Messen und Konferenzen, um mit Entscheidungsträgern in Kontakt zu treten.
- Kooperationen: Aufbau von Partnerschaften mit Technologieanbietern, die Lösungen für die Automatisierung anbieten

Auf welche weiteren Interessensvertreter*innen hat die vermehrte kommerzielle Nutzung des ELK womöglich Auswirkungen?

Zentrale Fragen und Herausforderungen

Weitere relevante Interessensvertreter*innen folgender Gruppen werden empfohlen einzubinden:

- Anwohner*innen haben Interesse an einem Geräusch- und Emissionsarmen Verkehr, insbesondere bei steigender Verkehrsfrequenz
- Für die Sportschifffahrt ist die Tourismusfähigkeit des ELK, als auch der Erhalt der Verkehrssicherheit sowie Sportbootüblicher Kommunikationsmöglichkeiten wichtig
- Bestimmten politischen Gruppen ist die Sicherstellung der Naherholungsfunktion des ELK neben der Transportfunktion wichtig.

Um das Transportvolumen auf dem ELK nachhaltig zu erhöhen, ist ein integrierter Ansatz erforderlich, der sowohl infrastrukturelle Verbesserungen als auch innovative technische Lösungen umfasst.

Um das Vertrauen anderer Nutzer des ELK in die technischen Neuerungen zu stärken, sollten umfassende Informationsprogramme angeboten werden. Diese könnten Workshops, Demonstrationen und Pilotprojekte umfassen, die die Vorteile und die Sicherheit der neuen Technologien veranschaulichen. Der Dialog mit allen Interessensvertreter*innen, einschließlich Anwohnern, Umweltverbänden und Logistikunternehmen, ist entscheidend, um Akzeptanz zu schaffen.

5.2 Definition weiterer Untersuchungsschritte

Für den testweisen Einsatz (teil-) autonomer oder automatisierter Binnenschiffe wird dringend empfohlen, rechtzeitig Kontakt mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Elbe (WSA) aufzunehmen und sich ebenfalls mit den bestehenden Regelungen des GDWS vertraut zu machen. Diese frühzeitige Einbindung ist entscheidend, um sicherzustellen, dass alle relevanten Vorschriften und Genehmigungen eingehalten werden.

Das Testgebiet sollte genau definiert werden, wobei die (teil-) automatisierten Schubboote auf dem ELK operieren. In Lauenburg erfolgt die Übergabe der Leichter an konventionelle Schubboote, die auf der Elbe fahren. Zudem sollte der Einsatz im Norden bei Lübeck auch auf der Trave möglich sein, um einen Umschlag der Ladung auf seegängige Fahrzeuge zu erleichtern.

Die sorgfältige Auswahl an Technologien und Sensorik ist ebenfalls von Bedeutung, um die Kommunikation zwischen der landseitigen Infrastruktur und den Schubbooten sowie anderen Verkehrsteilnehmer*innen auf dem ELK sicherzustellen. Hierbei sollten robuste Kommunikationssysteme und geeignete Sensoren für Navigation und Hinderniserkennung implementiert werden, um sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz der automatisierten Systeme zu sichern.

Die Durchführung von zeitlich und örtlich begrenzten Pilotprojekten können zudem wertvolle Erkenntnisse über die technische Leistungsfähigkeit und Nutzerakzeptanz liefern. Eine langfristige Strategie zur Integration dieser Technologien in den regulären Betrieb des ELK sollte durch aktives Involvierem von Interessensvertreter*innen und Informationskampagnen für das Personal unterstützt werden. So kann der ELK als innovativer und zukunftsfähiger Wasserweg etabliert werden, der den Anforderungen einer modernen Binnenschifffahrt gerecht wird.

Die Steigerung des Transportvolumens auf dem Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) wird durch mehrere Faktoren beeinflusst. Die vollständige Sanierung der Bahnstrecke Hamburg-Lübeck im Jahr 2027 wird zu einer mindestens sechsmonatigen Sperrung führen, was die Transportkapazität auf der Schiene vorübergehend verringert. Infolgedessen könnte es zu einer Umleitung von Gütern auf den ELK kommen. Zudem wird mit der Eröffnung der Fehmarn-Belt-Route im Jahr 2029 erwartet, dass Verkehre von der Jütland-Route auf die Verbindungen über Lübeck verlagert werden. Dies könnte die Nachfrage nach logistischen Dienstleistungen in Lübeck steigern und auch dem ELK zugutekommen, da dieser einen wichtigen Zugang zum mitteleuropäischen Binnenwasserstraßennetz darstellt. Aktuell sind die Transportkosten auf dem ELK im intermodalen Vergleich aufgrund der infrastrukturellen Engpässe nicht attraktiv.

Eine (Teil-)Automatisierung in der Binnenschifffahrt die Transportkosten auf dem ELK im Vergleich zu Straße und Schiene senken, was eine Trendwende bei den transportierten Volumen zur Folge haben könnte. Die in diesem Kurzgutachten betrachteten Entwicklungen haben das Potenzial, das Transportvolumen auf dem Elbe-Lübeck-Kanal in Zukunft wieder zu steigern.

Das Konzept 1A wird als empfohlenes Konzept für den kurzfristigen Betrieb auf dem ELK betrachtet, da es einen klassischen Schubverband mit einem zentralen Schubboot und einem großen Leichter umfasst. Diese Einheit ist starr gekoppelt, wobei das Schubboot die Steuerungs- und Navigationsaufgaben übernimmt. Moderne Sensorik wie Radar, Lidar und Kameras ermöglicht eine präzise Navigation und unterstützt Schleusenpassagen durch die Erkennung von Fahrwasser, Hindernissen oder die genaue Messung von Querabständen. Technisch ist dies machbar und Systeme bereits in Realumgebung erprobt und validiert.

Die Energieversorgung ist zentral im Schubboot angesiedelt und kann durch diesel-hybride oder vollelektrische Antriebe mit Ladeinfrastruktur an Anlegern unterstützt werden. Die Bauweise ist auf die Maße von Schleusen und Brücken des ELK abgestimmt, und die Manövrierfähigkeit wird durch Ruderpropeller gewährleistet.

Zukünftig ist eine schrittweise Entwicklung hin zu höheren Automatisierungsgraden (3 - 4) möglich, wobei schrittweise einzelne Manöver automatisiert werden. Die zentrale Steuerung bleibt im Schubboot, während Backup- und Fernüberwachungssysteme für Notfallinterventionen integriert werden. Das Konzept 1A eignet sich somit sowohl für kurzfristige Umsetzungen als auch für langfristige Automatisierungsstrategien, ohne den Anschluss an zukünftige Infrastrukturmaßnahmen zu verlieren. Zudem ermöglicht es, den verwendeten Leichter für nachgelagerte Transporte an größere Einheiten zu übergeben.

In Belgien ermöglicht die fortschrittliche Rechtsprechung, insbesondere durch Artikel 70 des ‚Scheepvaartdecreet‘, die Durchführung von Pilotprojekten zur (Teil-)Automatisierung der Binnenschifffahrt. Seit 2018 das gesamte Verwaltungsgebiet des De Vlaamse Waterweg als Testgebiet geöffnet wurde, gibt es Raum für innovative Vorhaben wie ferngesteuerte Schiffe oder Schleusen.

Diese Initiativen zielen darauf ab, technisches und juristisches Wissen zu sammeln, um nachhaltige Vorschriften für einen kommerziellen automatisierten Betrieb zu entwickeln. In Deutschland ist ein solcher Prozess noch nicht etabliert, jedoch zeigt die Sondererlaubnis für die Firma Seafar, dass es bereits möglich ist, Sondergenehmigungen für

Teilabschnitte zu erhalten, was auf zukünftige Möglichkeiten auch in anderen Regionen hinweist.

Zusammenfassung

In Deutschland ist ein Testbetrieb grundsätzlich auf Grundlage von §30 BinSchOU möglich. zugelassen werden. Neue Technologien können zu Versuchszwecken und für einen begrenzten Zeitraum getestet werden, sofern eine Fahrtauglichkeitsbescheinigung durch die GDWS erfolgt ist.

Für die Umsetzung eines Betriebs von (teil-) autonomen Schubverbänden werden folgende Maßnahmen zur kurzfristigen Umsetzung empfohlen:

1. Bildung einer Allianz an industriellen Verladern aus dem Bereich Lübeck, welche einem als Ankerkunde für einen (teil-) autonomen Transport zur Verfügung stehen
2. In Zusammenarbeit mit Reedern, die über CEMT II Binnenschiffe verfügen, ein technisches Mindestkonzept für die Retrofit-Option im Sinne eines Minimum Viable Produkts erarbeiten mit dem Ziel diese auf dem ELK zu im Testbetrieb anzubieten
3. Erwirkung einer dauerhaften (oder zumindest längerfristigen) Testgenehmigung für den operativen Betrieb auf dem ELK mit der angrenzenden Trave in Zusammenarbeit mit den Behörden anhand der Blaupause aus anderen Revieren
4. Aktives Einwerben von politischer Unterstützung und Fördermitteln für Entwicklungs- und Investitionsförderung für den Umbau und Testbetrieb aufgrund des hohen unternehmerischen Risikos und der regionalen Bedeutung für das Transportnetzwerk Norddeutschlands und die Trimodalität des Lübecker Hafens.

- [1] W.-. u. Schifffahrtsverwaltung, „Elbe-Lübeck-Kanal,“ [Online]. Available: https://www.wna-hannover.wsv.de/Web/NA/NBA-Hannover/DE/Projekte/aktuelle/Elbe-Luebek-Kanal/elk_node.html;jsessionid=7CADE5ECB699FD84E161DC03D2483C43.live11294#Start. [Zugriff am 13 April 2025].
- [2] W.-. u. S. d. Bundes, „https://www.elwis.de/DE/dynamisch/Nfb/NfbDetailView:elwis_nfb_search:2024/2119,“ [Online]. Available: https://www.elwis.de/DE/dynamisch/Nfb/NfbDetailView:elwis_nfb_search:2024/2119. [Zugriff am 10 Juni 2025].
- [3] B. f. D. u. Verkehr, „Projektinformationssystem (PRINS) zum Bundesverkehrswegeplan 2030,“ [Online]. Available: <https://www.bvwp-projekte.de/wasserstrasse/w33/w33.html>. [Zugriff am 12 April 2025].
- [4] D. M. G. GmbH, „Bund stellt Ausbauplan für ELK zurück,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.dvz.de/politik/detail/news/bund-stellt-ausbauplan-fuer-elbe-luebeck-kanal-zurueck.html>.
- [5] B. f. Verkehr, „Verkehr in Zahlen,“ [Online]. Available: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehr-in-zahlen.html>. [Zugriff am 19 Mai 2025].
- [6] S. B. (destatis), „Beförderte Güter (Binnenschifffahrt): Deutschland, Jahre, Gefahrgut, Wasserstraßen, Güterverzeichnis (Abteilungen),“ Wiesbaden.
- [7] L. Hafenrundschau. [Online]. Available: <https://luebecker-hafenrundschau.de/blog/neuer-negativrekord-beim-transport-auf-dem-elbe-luebeck-kanal/>. [Zugriff am 09 Mai 2025].
- [8] ASA, BDE, BDSAV, BDSV, BVSE und D. e. al., „Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft,“ TafelmitKollegen KG, Düsseldorf, 2024.
- [9] Planco, „Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße,“ Bundesanstalt für Gewässerkunde, Essen, 2007.
- [10] K. v. M. (KiM), „Kostenkengetallen voor Goederenvervoer - eindrapportage,“ Panteia - Sander van der Meulen, Zoetermeer, 2023.
- [11] L. Kretschmann, H.-C. Burmeister und C. Jahn, „Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships; an exploratory cost-comparison between autonomous and conventional bulk carrier,“ *Research in Transportation Business & Management*, Bd. 25, Nr. 16, pp. 76-86, 2017.

- [12] J. Küchle, H.-C. Burmeister und H. Pache, „Study on the economic implications of MASS,“ Fraunhofer CML, Hamburg, 2022.
- [13] Binnenvaart.nl, „Loontabel,“ 2023. [Online]. Available: <https://assets.binnenvaart.nl/p/1048576/none/Dossiers/Werkgeverschap/Loontabel%202023-1.pdf>. [Zugriff am 18 June 2025].
- [14] K. Vanroye und B. van Mol, „Der Fachkräftemangel im See- und Binnenschiffsverkehr,“ Europäisches Parlament, Brüssel, 2009.
- [15] „Rheinpegel: Duisburger Stahlwerke drosseln Produktion,“ [Online]. Available: <https://www.waz.de/staedte/duisburg/article215625611/rheinpegel-duisburger-stahlwerke-drosseln-produktion.html>.
- [16] „viadonau - Schiffstypen,“ [Online]. Available: <https://www.viadonau.org/wirtschaft/transportachse-donau/schiffstypen#:~:text=Ein%20Koppelverband%20besteht%20aus%20einem,Leichter%20oder%20K%C3%A4hne%20vorangestellt%20sind..>
- [17] „§ 106 Mindestbesatzung auf Schubverbänden,“ [Online]. Available: https://www.buzer.de/106_BinSchPersV.htm.
- [18] „IMO - Autonomous shipping,“ [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>. [Zugriff am 21 05 2025].
- [19] ZKR, „Erläuterung zur internationalen Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt,“ Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), 2022.
- [20] ZKR, „Internationale Definition der verschiedenen Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt,“ Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), 2022.
- [21] BMVI, „Masterplan Binnenschifffahrt,“ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin, 2019.
- [22] „Beschreibung der Bundeswasserstraße ELK,“ [Online]. Available: https://www.wna-hannover.wsv.de/Webs/WNA/NBA-Hannover/DE/Projekte/aktuelle/Elbe-Luebek-Kanal/elk_node.html;jsessionid=7CADE5ECB699FD84E161DC03D2483C43.live11294#Start.
- [23] „§ 19.02 Abmessungen der Fahrzeuge und Verbände, Abladetiefe - Elbe-Lübeck-Kanal,“ [Online]. Available: <https://www.elwis.de/DE/Schifffahrtsrecht/Binnenschifffahrtsrecht/BinSchStrO/Zweiter-Teil/Kapitel-19/19-02/19-02-node.html>.
- [24] „Binnenschifffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO),“ [Online]. Available: https://www.gesetze-im-internet.de/binschstro_2012/BJNR000210012.html#BJNR000210012BJNG003700000.

- [25] „Hohes Elbufer,“ [Online]. Available: https://www.hohes-elbufer.de/?page_id=528.
- [26] E. A. z. A. v. S. i. B. d. B. (CESNI), „Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN),“ 2021.
- [27] „Schwarm auf dem Wasser – innovativer Gütertransport in der Großstadt,“ [Online]. Available: <https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen-nachrichten/a-swarm-autonomer-guetertransport-auf-dem-wasser>.
- [28] „Schwarm auf dem Wasser – innovativer Gütertransport in der Großstadt,“ [Online]. Available: <https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen-nachrichten/a-swarm-autonomer-guetertransport-auf-dem-wasser>.
- [29] „ZKR definiert Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt,“ [Online]. Available: <https://www.bonapart.de/nachrichten/beitrag/zkr-definiert-automatisierungsgrade-in-der-binnenschifffahrt.html>.
- [30] „argoTrackPilot,“ [Online]. Available: <https://argonics.de/produkte/>.
- [31] „DHL-Postschiff fährt in Berlin und künftig auch in Hamburg,“ [Online]. Available: <https://www.paketda.de/news-wacabo.html>.
- [32] „Forschungsschiff NOVA getauft,“ [Online]. Available: <https://www.uni-due.de/2025-05-22-taufe-forschungsschiff-nova>.
- [33] G. Peeters, „Design and build of a scale model unmanned inland cargo vessel: actuation and control architecture,“ Journal of Physics: Conference Series MTEC/ICMASS 2019, 2019.
- [34] „ELEKTRA II - Realisierung eines Versuchsträgers mit einem hybriden Energie- und Antriebskonzept,“ [Online]. Available: <https://www.tu.berlin/ebms/forschung/aktuelle-projekte/elektra-2>.
- [35] „WaterTruck Plus,“ [Online]. Available: <https://watertruckplus.eu/de>.
- [36] „A-Swarm,“ [Online]. Available: <https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen-nachrichten/a-swarm-autonomer-guetertransport-auf-dem-wasser>.
- [37] „Deutschlands erste Zentrale für ferngesteuerte Binnenschifffahrt eröffnet,“ [Online]. Available: <https://www.hgk.de/deutschlands-erste-zentrale-fuer-ferngesteuerte-binnenschifffahrt-eroeffnet/>.
- [38] S. u. Technik, „Seafar startet Fernsteuerungs-Zentrale in Duisburg,“ 29 Februar 2024. [Online]. Available: <https://www.schifffahrtundtechnik.de/nachrichten/binnenschifffahrt/seafar-startet-fernsteuerungs-zentrale-in-duisburg-3488896>. [Zugriff am 18 Mai 2025].

- [39] G. W. u. Schifffahrt, „Bund erteilt HGK Shipping erste Erlaubnis für Testbetrieb ferngesteuerte Binnenschiffe in deutschem Kanalnetz,“ 16 Mai 2025. [Online]. Available:
https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/20250516_Ferngesteuertes_Fahren.html. [Zugriff am 20 Juni 2025].

- [40] E. C. o. t. E. Union, „Trans-European transport network (TEN-T): Council gives final green light to new regulation ensuring better and sustainable connectivity in Europe,“ EC, 2024. [Online]. Available:
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/06/13/trans-european-transport-network-ten-t-council-gives-final-green-light-to-new-regulation-ensuring-better-and-sustainable-connectivity-in-europe/>. [Zugriff am 19 Juni 2025].

- [41] D. V. Waterweg, „Smart Shipping,“ [Online]. Available:
<https://www.vlaamsewaterweg.be/nl/projecten-werven/innovatieve-projecten/smart-shipping-e>. [Zugriff am 09 Mai 2025].

- [42] F. O. Justitie, „Dossiernummer : 2021061606,“ 16 Juni 2021. [Online]. Available:
<https://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2021/06/16/2021042023/justel>. [Zugriff am 23 Mai 2025].

- [43] F. O. Justitie, „Dossiernummer : 2022012123,“ 21 Januar 2022. [Online]. Available:
<https://www.ejustice.just.fgov.be/eli/decreet/2022/01/21/2022031332/justel>.

- [44] [Online]. Available:
<https://www.dvz.de/unternehmen/binnenschifffahrt/detail/news/36000-t-auf-einer-tour.html>.

- [45] W.-. u. S. d. Bundes, „Klassifizierung der Binnenwasserstraßen,“ [Online]. Available:
https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/wasserstrassen/01_bundeswasserstrassen/Klassifizierung/Klassifizierung_node.html. [Zugriff am 17 Juni 2025].