

Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt

Machbarkeitsstudie für ein Testfeld
im Ruhrgebiet



Impressum

Herausgeber: Industrie- und Handelskammern im Ruhrgebiet
- Industrie- und Handelskammer Mittleres Ruhrgebiet
- IHK zu Dortmund
- Niederrheinische IHK Duisburg – Wesel - Kleve zu Duisburg
- IHK zu Essen
- SIHK zu Hagen
- IHK Nord Westfalen

Ansprechpartner: Niederrheinische Industrie- und Handelskammer
Duisburg - Wesel - Kleve zu Duisburg
Mercatorstr. 22-24 | D-47051 Duisburg
Ocke Hamann, Geschäftsführer
Telefon: 0203 2821-263 | Telefax: 0203 285349-263
Hamann@Niederrhein.ihk.de | www.ihk-niederrhein.de

Verfasser: Entwicklungszentrum für Schiffstechnik
und Transportsysteme e V.
Oststraße 77
47057 Duisburg
Telefon: 0203 99369-33 | Telefax: 0203 99369-70
henn@dst-org.de | www.dst-org.de

Autoren: Rupert Henn, Berthold Holtmann

Vorwort

Moderne Volkswirtschaften werden auch in den nächsten Jahrzehnten nicht ohne eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur auskommen. Das Ruhrgebiet kann angesichts der übervollen Straßen und Schienenwege auf keinen Verkehrsträger verzichten. Mit der engen Verflochtenheit von Rhein und Kanalnetz besitzt diese Region ein Alleinstellungsmerkmal. Leider bleiben die Zuwachsraten im System Wasserstraße deutlich hinter den Möglichkeiten zurück. Potenziale werden nicht genutzt.

Hier setzten die Industrie- und Handelskammern im Ruhrgebiet mit einem konkreten Impuls an. Das autonome Fahren ist in aller Munde und wird mit viel Anstrengung vorangetrieben, allerdings nicht für unsere Binnenwasserstraßen. Dabei sind die Potenziale in gleicher Weise auch hier vorhanden.

Diese Untersuchung soll mehr leisten, als nur den Blick mit der Digitalisierungsbrille auch auf das Kanalnetz zu lenken. Wir haben das konkrete Ziel, dass in 15 Jahren nicht nur autonome Lkw über unsere Straßen rollen, sondern autonome Binnenschiffe zu einer Renaissance des Systems Wasserstraße geführt haben. Der Anschluss an digitale Transportketten, andere Schiffsgrößen und neue Gütergruppen sollen die Binnenschifffahrt zu einer leistungsfähigen und modernen Säule für die Wirtschaft im Ruhrgebiet machen.

Die Untersuchung weist die Machbarkeit eindeutig nach.

Lassen Sie uns den Weg gemeinsam gehen! Der erste Schritt zu einem Testfeld im Ruhrgebiet ist ein Netzwerk zur Bündelung der Kompetenzen und Interessen.

Wir würden uns freuen, wenn Sie sich diesem Netzwerk anschließen würden.

Dortmund, im November 2018

Für die Industrie- und Handelskammern im Ruhrgebiet



Stefan Schreiber

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	6
2	Grundlagen und Definitionen	9
2.1	Begriffsklärung	9
2.2	Automatisierungsstufen	9
2.2.1	Automatisierungsstufen beim Fahren	10
2.2.2	Autonomer Schiffsbetrieb	13
2.3	Stand der Wissenschaft und Forschung	14
2.3.1	Straßenverkehr	14
2.3.2	Schienenverkehr	15
2.3.3	Luftfahrt	16
2.3.4	Seeschifffahrt	17
2.3.5	Binnenschifffahrt	17
2.4	Chancen und Risiken	18
3	Technische Voraussetzungen	21
3.1	Ausrüstung an Bord	21
3.1.1	Sensorik	22
3.1.2	Antriebs- und Manövrierorgane	24
3.1.3	Mensch-Maschine-Schnittstelle	24
3.1.4	Kommunikation (Schiff – Schiff)	25
3.1.5	Cybersecurity	26
3.2	Infrastruktur an Land	26
3.2.1	Datenübertragung	27
3.2.2	Navigationshilfen	27
3.2.3	Poller/Festmachsysteme	28
3.2.4	Energieversorgung	28
3.3	Ferngesteuertes Fahren	28
4	Rechtliche Rahmenbedingungen	31
4.1	Zulassung und Betrieb	31
4.2	Haftung	32
5	Anstehende Forschungsaufgaben	33
5.1	Komponentenentwicklung	33
5.1.1	Sensorik	34

5.1.2	Externe Daten	35
5.1.3	Aktuatoren	35
5.1.4	Zentraler Steuerrechner	35
5.1.5	Fernsteuerung	38
5.2	Systementwicklung mit realen Schiffen (Feldtest)	39
5.2.1	Ausrüstung der Testschiffe	39
5.2.2	Feldversuche	39
6	Konzept und Perspektive	41
6.1	Anforderungen und Ansatz	41
6.2	Netzwerk und Kompetenzzentrum	41
6.3	Testfeld und Testkonfiguration	42
6.3.1	Testschiffe	42
6.3.2	Testfeld	43
6.3.3	Auswahlkriterien	44
6.4	Empfehlung	45
6.4.1	Eignung der Rhein-Ruhr-Region	45
6.4.2	Vorschlag für ein Kompetenzzentrum	47
6.4.3	Vorschlag für ein Testfeld	47
6.4.4	Einbindung weiterer Partner und Initiativen	50
6.4.5	Ausarbeiten von Vorschriften	50
6.4.6	Ressourcen für Kompetenzzentrum, Testfeld und Testschiffe	50
6.4.7	Zeitplan	51
7	Zusammenfassung	52

1 Einführung

Für hochentwickelte Volkswirtschaften wie Deutschland ist ein wettbewerbsfähiges und nachhaltiges Verkehrssystem ein unverzichtbarer Standortfaktor. Es ermöglicht sowohl die Versorgung der produzierenden Industrie mit Rohstoffen als auch eine arbeitsteilige Wirtschaft. Insbesondere Nordrhein-Westfalen (NRW) ist aufgrund seiner hohen Bevölkerungs- und Industriedichte und der daraus resultierenden Wirtschaftskraft auf ein leistungs- und zukunftsfähiges Verkehrssystem angewiesen. Hierin übernimmt die Binnenschifffahrt aufgrund ihrer Systemvorteile Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Umweltverträglichkeit eine tragende Rolle. Insgesamt beträgt ihr Transportaufkommen in Deutschland 223 Mio. t/a, die Transportleistung beläuft sich auf rund 55,5 Mrd. tkm/a¹. Rund die Hälfte des Aufkommens entfällt dabei auf NRW². Eine besondere Konzentration des Verkehrs findet sich im Rhein-Ruhr-Raum, wo das dichte westdeutsche Kanalnetz und der Rhein zusammentreffen. Infolgedessen finden sich in dieser Region sehr viele Häfen, Reeder, Werften und Verloader sowie das Schifferberufskolleg Rhein, der Flachwasserfahrersimulator SANDRA und Forschungseinrichtungen, die sich mit der Binnenschifffahrt beschäftigen. Diese Konzentration von Akteuren in der Binnenschifffahrt prädestiniert die Region für die Entwicklung von autonomem Fahren.

Zwischen den Verkehrsträgern besteht ein intensiver Wettbewerb, der v. a. über die Kosten, aber auch über das Umweltprofil, die Sicherheit und nicht zuletzt über die Innovationsfähigkeit ausgetragen wird. Bereits heute zeichnen sich beim LKW Entwicklungen, wie z. B. das sogenannte Platooning ab, die eine Verbesserung der Energieeffizienz ermöglichen und perspektivisch auf ein autonomes Fahren hinauslaufen. Beide Aspekte verbessern die relative Wettbewerbsposition des LKW und greifen den Kostenvorteil des Binnenschiffs an.

In diesem Kontext macht sich in der Binnenschifffahrt der zunehmende Mangel an qualifiziertem nautischem Personal bemerkbar, der die Personalkosten, die mit etwa einem Drittel der Transportkosten in der Binnenschifffahrt einen wesentlichen Kostenfaktor darstellen, tendenziell erhöht. Hierdurch wird die Kostengunst des Binnenschiffs weiter abgeschwächt.

Darüber hinaus verlieren die klassischen, binnenschiffsaffinen Massenguttransporte im Punkt-Punkt-Verkehr, wie z. B. Kohle-, Erz- oder Mineralöltransporte perspektivisch an Bedeutung, während Stückguttransporte und

¹ BAG Marktbeobachtung Güterverkehr 2017

² Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 4, 2016

kleinere Partigrößen, die in der Fläche transportiert werden, deutlich zunehmen (sog. Güterstruktureffekt). Dieses Marktsegment wird bislang v. a. durch den LKW bedient. Damit die Binnenschifffahrt in diesem Markt erfolgreich sein kann, benötigt sie flexible und kostengünstige Konzepte, z. B. in Form kleinerer Schiffe. Diese wiederum können aufgrund der Kostenstrukturen nur im automatisierten oder (teil-)autonomen Betrieb wettbewerbsfähig betrieben werden.

Vor diesem Hintergrund bietet das automatisierte bzw. (teil-)autonome Fahren wertvolle **Potentiale zur Stärkung der Wettbewerbsposition** der Binnenschifffahrt:

- Assistenzsysteme und Systeme zum automatisierten Fahren entlasten das nautische Personal und entschärfen den Fachkräftemangel.
- Dies eröffnet die Chance, die Kosten zu senken und auch kleine Partigrößen mit **kleineren Schiffen wirtschaftlich** zu transportieren. Damit wird die Innovationskraft der Binnenschifffahrt gestärkt.
- Es wird erwartet, dass diese Technologie dazu beitragen kann, Unfälle infolge menschlichen Versagens zu vermeiden und das **Sicherheitsniveau weiter zu erhöhen**³.

Insbesondere im Automobil- und LKW-Bereich wurden bereits vielfältige Forschungsarbeiten zum automatisierten und (teil-)autonomen Fahren durchgeführt. Hierfür wurden u. a. Testfelder eingerichtet, die besonders für Forschung und Entwicklung ausgerüstet sind. Wenn es gelingt, diese Entwicklungen aufzunehmen und für die Binnenschifffahrt gewinnbringend weiter zu entwickeln und zu nutzen, kann diese Technologie ein entscheidender Schritt zur Lösung der o. g. Herausforderungen werden.

Die Binnenschifffahrt kann damit zusätzliche Beiträge zur Behebung von Engpässen vor allem bei den Verkehrsträgern Straße und Schiene leisten. Sie trägt somit nicht nur zur Stärkung des Verkehrssystems, sondern auch des Wirtschaftsstandortes Deutschland im Allgemeinen und Nordrhein-Westfalens im Besonderen bei. Das Beispiel Containertransport zeigt, dass die Binnenschifffahrt sehr wohl in der Lage ist, neue Marktsegmente mit innovativen Ansätzen erfolgreich zu bedienen.

In der öffentlichen Diskussion wird autonomes Fahren vielfach als sogenannte disruptive Technologie wahrgenommen. Sie beinhaltet einen Paradigmenwechsel im Betrieb von Fahrzeugen. Diese Wahrnehmung beschreibt einerseits den erheblichen technischen und innovatorischen Aufwand zur Entwicklung und Umsetzung dieser Technologie. Er verdeutlicht andererseits die ge-

³ Statistiken zu Ursachen für Unfälle in der Binnenschifffahrt sind nicht verfügbar. Vergleichbare Zahlen für den Straßenverkehr (2017) zeigen, dass alleine von den Unfällen mit Personenschaden 360 736 durch menschliches Versagen und nur 3528 durch technisches Versagen verursacht.

sellschaftliche Bedeutung und gleichzeitig die erwarteten Chancen und Potentiale, die mit dieser Technologie verbunden werden. Es ist deshalb folgerichtig, dass ein technologischer Schritt dieser Dimension auch erheblicher finanzieller Anstrengungen zur Realisierung bedarf.

Die vorliegende Studie zeigt die Chancen und Potenziale des automatisierten und (teil-)autonomen Fahrens in der Binnenschifffahrt auf, analysiert mögliche Risiken, erläutert Hintergründe und beschreibt Wege und Ansätze zur Entwicklung und Anwendung dieser Technologie. Vor dem Hintergrund der immensen Bedeutung des Verkehrsträgers Wasserstraße für NRW und das Ruhrgebiet im Speziellen sowie der in dieser Region vorhandenen Forschungs- und Wirtschaftskompetenzen untersucht die Studie konkrete Forschungsansätze für die Rhein-Ruhr-Region. Sie mündet in konkrete Handlungsempfehlungen für (politische) Entscheidungsträger.

2 Grundlagen und Definitionen

2.1 Begriffsklärung

Wörtlich übersetzt bedeutet „autonom“ selbstbestimmt oder eigenständig. Ein autonom fahrendes Binnenschiff fährt also selbstbestimmt. Soll es entscheiden können, wann und wohin es fährt? Tatsächlich wäre es in einer fernerer Zukunft denkbar, dass eine Flotte von vernetzten, autonomen Binnenschiffen die vorhandenen Transportaufgaben selbstständig organisiert und so die Fahrten optimiert. Daran soll aber jetzt noch nicht gedacht werden.

Betrachtet werden soll das einzeln operierende Binnenschiff, das letztendlich eine Fahrt von einem gegebenen Startpunkt zu einem gegebenen Zielpunkt durchführt. Auf dieser Fahrt ist das Schiff selbstständig in der Lage, sich aktiv im Verkehrsgeschehen einzugliedern und den Verkehrsvorschriften Folge zu leisten. Begegnungen und Überholungen sowie Schleusenvorgänge führt das Schiff eigenständig durch. Auch sind in den meisten Fällen der Abfahrtszeitpunkt und der (späteste) Ankunftszeitpunkt vorgegeben.

In der Binnenschiffahrt gibt es in den allermeisten Fällen auch keine verschiedenen Routen, zwischen denen das Schiff wählen könnte. Hier unterscheidet sich das die Binnenschiffahrt vom Straßenverkehr.

2.2 Automatisierungsstufen

Wenn *autonom* mit *eigenständig* übersetzt wird, impliziert dies, dass das Schiff ohne äußeres – menschliches – Eingreifen fahren kann und auch selbst darüber entscheidet. Dies soll hier nicht diskutiert werden, sondern nur das automatisierte Fahren.

Wenn ein Schiff nicht immer oder nicht zuverlässig automatisch fahren kann, so wird dies als *teilautomatisch* bezeichnet. Hier muss ein Mensch in Bereitschaft stehen, um beim Ausfall der automatischen Steuerung eingreifen zu können. Dabei kann der Ausfall der automatischen Steuerung vom System selbst erkannt werden und der Mensch wird aufgefordert einzugreifen. Es kann aber auch vorkommen, dass das automatische System seine Fehlfunktion nicht erkennt und der Mensch aus eigenem Antrieb eingreifen muss.

Ein automatisch fahrendes Binnenschiff muss nicht zwangsläufig unbemannt sein. Neben der Navigationsaufgabe, d. h. dem Steuern des Schiffes, gibt es zahlreiche andere Aufgaben an Bord, wie z. B. Inspektion, Wartung oder Reparaturen. Bei einem unbemannten Schiff, müssen diese Aufgaben entweder während der Fahrt maschinell oder erst nach Beendigung der Fahrt im Hafen von Landpersonal erledigt werden.

Ein anderer Ansatz besteht darin, das Schiff ferngesteuert fahren zu lassen. Der Schiffsführer befindet sich nicht an Bord, sondern steuert das Schiff von einer Station, die sich an einem beliebigen Punkt an Land befinden kann. Dazu ist es erforderlich, dass eine ständige und zuverlässige Datenverbindung zwischen Schiff und Steuerzentrale besteht. Das Schiff muss mit ausreichender Sensorik ausgestattet sein, so dass am Steuerstand alle für das Navigieren relevanten Informationen vorliegen. Wenn das Schiff bzw. die Steuerkonsole mit entsprechenden Assistenzsystemen ausgestattet ist, kann das Schiff teilautomatisiert fahren. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der automatischen Systeme sinkt die Arbeitsbelastung des Schiffsführers an Land und es kann dann möglich sein, dass ein Schiffsführer mehrere Schiffe gleichzeitig führen kann.

Auch wenn der Zugriff auf Binnenschiffe im Vergleich zum Seeschiff auf hoher See relativ schnell erfolgen kann, muss ein unbemanntes Schiff so ausgelegt sein, dass auch im Fehlerfall keine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer oder der Umwelt erfolgen kann.

2.2.1 Automatisierungsstufen beim Fahren

Zunächst konzentrieren sich die Überlegungen auf das reine Fahren – das Steuern der Propulsions- und Manövriergane. Dazu gehören verschiedene Teilaufgaben:

Routenplanung – Wenn Start- und Zielpunkt vorgegeben sind, wird die Route geplant. Mit „Route“ sind die zu befahrenden Wasserstraßen gemeint. In Gewässern mit wechselnden Wasserständen wird die genaue Bahn (Fahrspur), d. h. die Querposition in der Wasserstraße, erst vor Ort festgelegt.

Fahren – Das Schiff muss auf der geplanten Route entlang der Wasserstraßen fahren und dabei alle Schifffahrtsregelungen einhalten, den aktuellen Zustand der Wasserstraße (Tiefe und Strömungen) berücksichtigen, evtl. Schleusen passieren, vorübergehende Engstellen durch Baumaßnahmen erkennen und sich dem Verkehrsgeschehen anpassen.

Kommunikation – Das Schiff muss mit den anderen Verkehrsteilnehmern in den üblichen Verkehrssprachen kommunizieren können.

Während die Routenplanung sehr einfach ist und auch das Fahren entlang einer geplanten Bahn heute schon technisch beherrscht wird, ist die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern noch eine Herausforderung.

Um den Grad der Automatisierung einfacher beschreiben zu können, hat die Society of Automotive Engineers (SAE International) in der Norm SAE J3016 verschiedene Stufen der Automatisierung beschrieben.

Einen vergleichbaren Ansatz für die Binnenschifffahrt gibt es von der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, ZKR (s. Tabelle 1). Die Stufe 0 bezeich-

net das rein manuelle Fahren, in der Stufe 5 kann das Schiff ohne Unterbrechung vollautomatisch fahren. Mit zunehmender Stufe werden Aufgaben vom Schiffsführer auf die autonome Steuerung übertragen. Alle Angaben von Automatisierungsstufen in diesem Dokument beziehen sich auf diese Definition.

Tabelle 1: Vorschlag der ZKR für die Definition von Automatisierungsstufen in der Binnenschifffahrt (entnommen aus RP (18) 4 rev. 1)

	Grad ⁴	Bezeichnung	Schiffsführung (Manövrieren, Antrieb, Steuerhaus usw.)	Überwachung und Reaktion auf Navigationsumgebung	Fallback-Performance dynamischer Navigationsaufgaben.	Fernsteuerung
Der Schiffsführer führt einige oder alle dynamischen Navigationsaufgaben aus	0	Keine Automatisierung permanente Ausführung aller Aspekte der dynamischen Navigationsaufgaben durch den menschlichen Schiffsführer, auch wenn diese durch Warn- oder Interventionssysteme ergänzt werden <i>Bsp. Navigation mit Unterstützung der Radaranlage</i>				Nein
	1	Steuerungsunterstützung kontextspezifische Ausführung durch ein <u>automatisiertes Steuerungssystem</u> unter Verwendung bestimmter Informationen über die Navigationsumgebung, wobei davon ausgegangen wird, dass der menschliche Schiffsführer alle übrigen Aspekte der dynamischen Navigationsaufgaben ausführt <i>Bsp. Wendegeschwindigkeitsregler</i> <i>Bsp. Trackpilot (Spurhaltesystem für Binnenschiffe entlang vordefinierter Leitlinien)</i>				
	2	Teilautomatisierung kontextspezifische Ausführung durch ein automatisiertes Navigationssystem <u>sowohl der Steuerung als auch des Antriebs</u> unter Verwendung bestimmter Informationen über die Navigationsumgebung, wobei davon ausgegangen wird, dass der menschliche Schiffsführer alle übrigen Aspekte der dynamischen Navigationsaufgaben ausführt				Je nach kontextspezifischer Ausführung ist eine Fernsteuerung möglich (Schiffsführung, Überwachung und Reaktion auf Navigationsumgebung oder Fallback-Performance). Dies kann sich auf die Anforderungen an die Besatzung (Anzahl oder Befähigung) auswirken.
Das System führt alle dynamischen Navigationsaufgaben aus (wenn es eingeschaltet ist)	3	Bedingte Automatisierung kontinuierliche kontextspezifische Ausführung aller dynamischen Navigationsaufgaben durch ein automatisiertes Navigationssystem, <u>einschließlich Kollisionsvermeidung</u> , wobei davon ausgegangen wird, dass der menschliche Schiffsführer auf Aufforderungen zum Eingreifen und Systemausfälle angemessen reagiert				
	4	Erweiterte Automatisierung kontinuierliche kontextspezifische Ausführung aller dynamischen Navigationsaufgaben <u>und Reaktion auf Störungen</u> durch ein automatisiertes Navigationssystem, <u>ohne dass davon ausgegangen wird, dass ein menschlicher Schiffsführer auf eine Aufforderung zum Eingreifen reagiert</u> <i>Bsp. Fahrzeug, das auf einem Kanalabschnitt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schleusen betrieben wird (Umgebung bekannt), das Automatisierungssystem kann das Durchfahren der Schleuse jedoch nicht allein bewältigen (was ein menschliches Eingreifen erfordert).</i>				
	5	Vollautomatisierung kontinuierliche <u>bedingungslose</u> Ausführung aller dynamischen Navigationsaufgaben und Reaktion auf Störungen durch ein automatisiertes Navigationssystem, ohne dass davon ausgegangen wird, dass ein menschlicher Schiffsführer auf eine Aufforderung zum Eingreifen reagiert				

⁴ Die ZKR verwendet den Begriff Automatisierungsgrad statt -stufe; der Begriff „Automatisierungsgrad“ wird allerdings in der Fertigungstechnik etwas anders verwendet.

2.2.2 Autonomer Schiffsbetrieb

Neben der Navigationsaufgabe gibt es viele andere Aufgaben für die Besatzung an Bord, die bei einem unbemannten Schiff automatisiert/mechanisiert oder durch eine Neuverteilung der Aufgaben beispielsweise in den Häfen anders organisiert werden müssen:

Festmachen/Vertauen – Diese Tätigkeiten zu Beginn und Ende der Reise werden bisher rein manuell ausgeführt. Diese könnten auch bei einem unbemannten Schiff durch im Hafen stationiertes Personal ausgeführt werden. Es gibt aber auch Ansätze zur Mechanisierung.

Überwachen des Be- und Entladen, Ladungssicherung und -abdeckung – Alle Tätigkeiten, die mit der Ladung im Hafen in Verbindung stehen, können durch Personal durchgeführt werden, das nach Abschluss der Tätigkeit das Schiff verlässt. Wenn das Personal sonst nicht an Bord benötigt wird, ist es effizienter, wenn es im Hafen stationiert ist und dort die Schiffe nacheinander abfertigt.

Systemüberwachung – Die Überwachung der Bordsysteme, v. a. des Motors und der Rudermaschine, könnte heute schon durch elektronische Systeme erfolgen. Die Technik hierzu ist verfügbar, wenngleich noch kein Schiff damit vollständig ausgerüstet ist. Bei unkonventionellen Treibstoffen (z. B. Wasserstoff, LNG, Methanol) ist der Überwachungsaufwand deutlicher höher als bei Dieselkraftstoff.

Ladungsüberwachung – Im Normalfall ist eine Überwachung der Ladung nicht notwendig. Bei Gefahrgütern kann das anders sein. Hier ist u. U. auch eine regelmäßige Inspektion der Tanks, Rohrleitungen usw. erforderlich. Technische Systeme hierfür sind vorstellbar, allerdings aufwendig.

Reparatur – Die Reparatur kritischer Systeme kann ohne Besatzung nicht durchgeführt werden (in ferner Zukunft sind vielleicht Reparaturroboter denkbar). Kritische Systeme, deren Ausfallwahrscheinlichkeit auch durch Predictive Maintenance nicht bestimmt werden kann, müssen entweder redundant ausgeführt werden oder es muss ein Verfahren vorgesehen werden, wie das Schiff im Störfall sicher außer Betrieb gehen kann.

Wartung und Instandsetzung – Die Fahrtstrecken sind so kurz, dass Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten geplant werden können und nicht während der Fahrt durchgeführt werden müssen.

Reinigung – Die Reinigung der Laderäume und des Schiffs erfolgt oft zur Zeitersparnis während der Fahrt. Hierfür müssen maschinelle Systeme entwickelt werden oder die Reinigung erfolgt im Hafen durch landgestütztes Personal.

Bunkern – Die Versorgung mit Treibstoff erfolgt entweder im Hafen bzw. an einer Liegestelle oder durch ein Bunkerschiff während der Fahrt. Die der-

zeitigen Vorschriften machen es erforderlich, dass Besatzung an Bord dabei mitwirkt, denn die Verantwortung für die Handhabung des Treibstoffs liegt ab der Bordwand bei der Schiffsbesatzung. Mit angepassten Vorschriften und entsprechender technischer Ausrüstung kann die Betankung aber auch vollständig durch externes Personal durchgeführt werden.

2.3 Stand der Wissenschaft und Forschung

Schon weit vor der Industrialisierung hat der Mensch damit begonnen, manuelle Tätigkeiten von Maschinen erledigen zu lassen. Dabei wurden auch sehr schnell Mechanismen entwickelt, die Regelungsaufgaben wahrnehmen, die also ein System automatisch in einem vorgegebenen Zustand halten.

Mit relativ einfachen Regelungssystemen ist es schon lange möglich, ein Fahrzeug so zu steuern, dass es eine vorgegebene Bahn abfährt. Hieran hat auch die Entwicklung der globalen Satellitennavigation einen großen Anteil. Die Entwicklung der Computerhardware und die Fortschritte im Bereich der Künstlichen Intelligenz ermöglichen es heute, Systeme zu entwickeln, die Fahrzeuge in dynamischen Umgebungen steuern können. Diese Systeme können Informationen verarbeiten, die für den Menschen aufbereitet sind (z. B. Verkehrsschilder, Fahrbahnmarkierungen). Viel einfacher und zuverlässiger könnten die Systeme operieren, wenn die Verkehrsinformationen in digitaler Form zur Verfügung stünden (z. B. ein Funksignal, das eine Geschwindigkeitsbeschränkung sendet statt eines Verkehrsschildes). Fahrzeuge, die untereinander Daten austauschen können, also digital vernetzt sind, sind ein Schritt in diese Richtung können. So können automatisch gesteuerte Fahrzeuge auch kooperativ miteinander interagieren. In der Öffentlichkeit werden vor allem die Assistenzsysteme von Kraftfahrzeugen wahrgenommen, wenngleich es auch beim Schienenverkehr, in der Luftfahrt und in der Schifffahrt vergleichbare Entwicklungen gibt.

2.3.1 Straßenverkehr

Wie bereits erwähnt, arbeiten fast alle Automobilkonzerne, deren Zulieferer und Forschungsinstitutionen der Automobilwirtschaft mit Hochdruck an der Entwicklung autonomer, bzw. hochautomatisierter Fahrzeuge. Nach einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) entfallen derzeit 52 Prozent der Patente in diesem Bereich auf deutsche Unternehmen. Führende Unternehmen sind dabei Bosch, Audi und Continental, aber auch BMW und Daimler. Unter Einhaltung der heutigen Gesetzeslage ist mit dem sogenannten „Autobahnpiloten“ das erste Level 3 (nach SAE J3016) in Serie gebracht worden, z. B. im neuen Audi A8 oder der neuen Mercedes-E-Klasse. Systeme höherer Automatisierungsstufen werden zudem in vielen Projekten auf Testfeldern mit definierten Randbedingungen ausgiebig getestet. So testet VW am Hamburger Flughafen das autonome Parkhaus, bei dem der Fahrer am Eingang aussteigen kann und das Fahrzeug selbstständig einen freien Platz sucht. Weitere Test-

felder und Versuche mit autonomen Fahrzeugen gibt es in Bayern auf der A9 und neuerdings auch in NRW, aber z.B. auch in Braunschweig.

Auch im Bereich des straßengebundenen ÖPNV gibt es fortgeschrittene Forschung. So betreiben die Berliner Verkehrsbetriebe in Kooperation mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und VW einen autonom fahrenden Kleinbus auf dem Campus des Universitätskrankenhauses Charité in Berlin.

Trotz der Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens, mit der insbesondere eine hohe Güte an Objekterkennung, -klassifizierung und -tracking erreicht wird, ist die größte technische Herausforderung der zunehmenden Automatisierung noch immer die Interpretation von hochkomplexen Verkehrsszenarien mit verschiedensten Arten von Verkehrsteilnehmern und der daraus abzuleitenden Handlungsoptionen. Da es sich bei einem Autobahnszenario durch die bauliche Trennung der Fahrstreifen, die Befahrbarkeit nur in eine Richtung, die Absenz von Fußgängern, Fahrradfahrern, Kreuzungen etc. um ein vergleichsweise einfaches Umfeld handelt, sind eben hier bereits erste Systeme bis zur Serienreife vorangetrieben worden.

Neben den rein technischen Herausforderungen auf Fahrzeugebene rücken verstärkt auch Fragen zu den ethischen, sozialen, juristischen, psychologischen und anderen verkehrstechnischen Rahmenbedingungen in den Fokus. Da diese jedoch nicht von einzelnen Unternehmen allein beantwortet werden können, gibt es zunehmend öffentlich geförderte Interessensgruppen übergreifende Forschungsprojekte, um sich dieser Problematik anzunähern. Als Beispiele seien hier genannt das Projekt Ko-HAF⁵, bestehend aus 14 Partnern der Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Einrichtungen, und das Projekt PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen), welches 17 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft umfasst.

Es ist zu erwarten, dass mit zunehmender Harmonisierung der Rahmenbedingungen und mit den fortschreitenden Erkenntnissen aus den zahlreichen Feldtests in der kommenden Dekade weitere Systeme auch höherer Levels der Automatisierung den Sprung zur Serienreife schaffen.

2.3.2 Schienenverkehr

Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern erscheint das autonome Fahren beim Schienenverkehr am leichtesten zu realisieren. Das Schienenfahrzeug hat nur die Möglichkeit, die Geschwindigkeit und die Fahrtrichtung zu ändern. Viele Strecken sind baulich von anderen Verkehrsträgern getrennt, so dass keine komplexen Verkehrssituationen entstehen können. Diese Eigenschaften

⁵ Kooperatives Hochautomatisiertes Fahren, <https://www.ko-haf.de>

werden auch bereits genutzt. So sind in Hochgeschwindigkeitszügen viele Funktionen automatisiert; der Zugführer hat, wenn die Linienzugbeeinflussung (LZB) zum Einsatz kommt, auf der Strecke im Wesentlichen eine überwachende Funktion. Weitergehende Entwicklungen wie das European Train Control System (ETCS) bilden die technische Grundlage für zukünftiges automatisches bzw. ferngesteuertes Fahren.

Im Nahverkehr fahren verschiedene U-Bahn-Linien vollautomatisch, zumindest auf unterirdischen Teilstrecken. Straßenbahnen hingegen, die keinen abgetrennten Gleiskörper haben, müssen die gleichen komplexen Verkehrssituationen verarbeiten können wie Kraftfahrzeuge; ein erstes Pilotprojekt hierzu gibt es z. B. in Potsdam⁶.

2.3.3 Luftfahrt

In der Luftfahrt werden die Piloten sowohl im zivilen als auch im militärischen Bereich schon seit langem von Assistenzsystemen unterstützt. Die Entwicklung erster Kursregler startete im 2. Weltkrieg. Heute werden die Piloten von zivilen Verkehrsflugzeugen u. a. von einem Bahnregler (oft „Autopilot“ genannt), Kollisionswarnsystemen und Instrumentenlandesystem (ILS) unterstützt. Moderne Fluglagecomputer verhindern unzulässige Flugmanöver. In Kampfflugzeugen können Flugcomputer Manöver fliegen, zu denen ein Mensch nicht in der Lage wäre. Die Entwicklung hin zu immer manövrierfähigeren Kampfflugzeugen hat dazu geführt, dass inzwischen manche Flugzeuge (z. B. Eurofighter Typhoon) dynamisch instabil sind und von Piloten nur mit Unterstützung des Fluglagecomputers gesteuert werden können.

Im militärischen Bereich sind ferngesteuerte Drohnen Stand der Technik. Sie werden zur Überwachung oder als Kampfmittel eingesetzt. Die Fernsteuerung erfolgt über eine Satellitenverbindung über beliebig weite Entfernungen (interkontinental).

Neue Logistikkonzepte sehen den Einsatz von autonomen Drohnen für die Paketzustellung zum Endkunden. Die Entwicklungen hierzu werden von fast allen Logistikunternehmen und Luftfahrzeugherstellern vorangetrieben (z. B. Amazon⁷, DHL⁸, DPD⁹ und Boeing¹⁰). Es ist auch angedacht, dass autonome Drohnen in Kombination mit einem Lieferfahrzeug operieren, d.h. von einem fahrenden Fahrzeug starten und landen.

⁶ <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Probelauf-Erste-selbstfahrende-Strassenbahn-in-Potsdam-unterwegs-4167660.html>

⁷ <https://www.golem.de/news/belieferung-aus-der-luft-amazon-liefert-pakete-mit-drohnen-aus-1612-125078.html>

⁸ <https://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2016/dhl-paketkopter-mit-deutschem-mobilitaetspreis-ausgezeichnet.html>

⁹ <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Erste-Linienverkehr-Paketdrohne-in-Suedfrankreich-unterwegs-3572113.html>

¹⁰ <https://www.flightglobal.com/news/articles/unmanned-cargo-lifter-deepens-boeings-push-on-auton-444788/>

Erste Versuche wurden bereits mit autonom fliegenden, unbemannten Flugzeugen erfolgreich durchgeführt. Beide großen Hersteller von Verkehrsflugzeugen, Airbus¹¹ und Boeing¹² arbeiten hieran intensiv.

2.3.4 Seeschifffahrt

Mit Blick auf die Steuerung von Schiffen beginnt die Entwicklung bei mechanischen Reglern, die ein Segelschiff immer in einem vorgegebenen Kurs zum Wind halten. Aufwendigere elektromechanische Bahnregler finden sich bereits in den Torpedos im 2. Weltkrieg, die selbstständig ein Ziel ansteuern konnten und damit völlig autonom handelten.

Einen großen Sprung hat die Entwicklung mit dem Aufkommen elektronischer Schaltungen genommen. Sehr bald waren Kursregler verfügbar, die den Kurs eines Schiffes auf einen vorgegebenen Wert gehalten haben. Der Kursregler entlastet den Steuermann: Bei einer Fahrt auf offener See muss dieser nur noch bestimmten Abständen den Soll-Kurs vorgeben. Mit dem Aufkommen der elektronischen Positionsbestimmung (Decca, LORAN, GPS usw.) wurde es möglich, Bahnregler zu konstruieren, die nicht nur den Schiffskurs auf dem vorgegebenen Wert halten, sondern auch die Position. Der Bahnregler kann also die Drift korrigieren. Der Steuermann wird weiter entlastet, in dem er vor Reisebeginn die Route festlegt, die das Schiff selbstständig abfährt. Seine Aufgabe besteht dann nur noch darin, das System und das umgebende Verkehrsgeschehen zu überwachen, um notfalls eingreifen zu können. Moderne Bahnführungssysteme können weitere Funktionen übernehmen: z. B. kann die Routenplanung in Kombination mit Wetterprognosen ideale Kurse und Geschwindigkeiten festlegen, um Treibstoff zu sparen und zu einem vorgegebenen Zeitpunkt das Ziel zu erreichen. Zusammen mit Kollisionswarnsystemen erreichen Seeschiffe damit Autonomielevel 1 bis 2.

2.3.5 Binnenschifffahrt

Die Verhältnisse in der Binnenschifffahrt unterscheiden sich von der Seeschifffahrt deutlich. Binnengewässer sind sehr viel enger und die Begegnungsabstände sind deutlich kleiner. Außerdem ist die Verkehrsdichte höher. Binnenschiffe haben also weniger Platz zum Manövrieren und Ausweichen. Die Navigation erfordert eine höhere Präzision als beim Seeschiff. Nur bei Schleusenmanövern und in der Kanalfahrt finden sich ähnliche Navigationsbedingungen für Binnen- und Seeschiffe.

Aus diesem Grund lassen sich die Entwicklungen aus der Seeschifffahrt nicht direkt auf die Binnenschifffahrt übertragen. Es gibt aber ähnliche Assistenzsysteme auch für Binnenschiffe. Der Wendegeschwindigkeitsregler regelt die

¹¹ <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/luftfahrt/airbus-hat-sein-elektrisches-lufttaxi-erfolgreich-getestet/>

¹² <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/luftfahrt/boeing-ab-2018-verkehrsflug-pilot-testen/>

Gierrate (Wendegeschwindigkeit) eines Schiffes auf einen vorgegebenen Sollwert. Dies erleichtert das Steuern in natürlichen Gewässern. Anstatt das Ruder zu steuern, gibt der Steuermann/Schiffsführer die zur Flussbiegung passende Gierrate vor. Neu eingeführt wurden 2018 der argoTrackPilot¹³, der auch für das Binnenschiff eine Bahnregelung bietet und bereits auf 25 Schiffen installiert ist. Ein anderer Bahnregler ist z. B. der RADARpilot720° Track Control¹⁴.

Weitere Assistenzsysteme warnen vor Brückenkollisionen oder unterstützen beim Anlegen¹⁵. Geplant sind Assistenzsysteme, die bei Schleusenmanövern unterstützen.

Die heutigen Assistenzsysteme für die Binnenschifffahrt sind also schon so weit entwickelt, dass ein Schiff ohne menschliches Eingreifen ein Binnengewässer entlang fahren kann, sofern kein anderer Verkehrsteilnehmer stört. Es ist davon auszugehen, dass diese Systeme in den kommenden Jahren eine sehr weite Verbreitung finden.

An diesem Punkt beginnt die eigentliche Herausforderung, die Autonomie des Binnenschiffes: Das Schiff muss in der Lage sein, sich in der Verkehrssituation zu bewegen, d. h. mit den anderen Verkehrsteilnehmern zu interagieren. Während die Bahnsteuerung allein gut funktioniert, weil alle Randbedingungen hinreichend genau bekannt sind, ist das dynamische Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer nicht bekannt. Die Herausforderung besteht zum einen darin, das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer für die nächsten 30 Minuten hinreichend genau prognostizieren zu können und zum anderen darin, eigene Handlungsstrategien für alle denkbaren Verkehrssituationen zu haben.

2.4 Chancen und Risiken

Wie einleitend bereits dargestellt, werden mit der Entwicklung des automatisierten und (teil-)autonomen Fahrens in der Binnenschifffahrt vor allem folgende **Chancen** verbunden:

- Entlastung des nautischen Personals sowie Modernisierung des Berufsprofils und Verbesserung der Attraktivität des Berufsbildes der Binnenschifffahrt; hierdurch Entschärfung des Fachkräftemangels.
- Senkung der Kosten, sodass auch kleine Partigrößen mit kleineren Schiffen wirtschaftlich transportiert werden können sowie
- Reduzierung und Vermeidung von Unfällen infolge menschlichen Versagens und dadurch weitere Erhöhung des Sicherheitsniveaus.

¹³ <http://www.argonics.de/argoTrackPilot>

¹⁴ https://www.innovative-navigation.de/wp-content/uploads/2017/12/RADARpilot720_Track_control_DE-1.pdf

¹⁵ https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10260/370_read-26534#/gallery/30051

- Die mit dem autonomen Fahren einhergehende Digitalisierung und Vernetzung schafft die Voraussetzungen für eine bessere Verknüpfung der Verkehrsträger zu intermodalen und integrierten Transportketten sowie für eine Transparenz der Verkehrsströme.
- Gleichzeitig eröffnen zunehmende Automatisierungen die Chance, Prozesse und Dienstleitungen neu zu strukturieren und dabei auch die Häfen aktiv einzubinden.
- Die Frage, wie landseitige Dienstleistungen anders organisiert werden können, schafft das Potenzial vor allem für die Häfen, möglicherweise neue Dienstleistungen zu etablieren.

Vor allem die Chance, auch kleinere Schiffe wettbewerbsfähig betreiben zu können, wird als sehr wertvoll eingestuft; sie kann gerade im Ruhrgebiet dazu beitragen, zahlreiche Betriebe des verarbeitenden Gewerbes bzw. der Verkehrs- und Logistikwirtschaft für die Binnenschifffahrt zu erschließen und Verkehre von der Straße (partiell) auf die Wasserstraße zu verlagern. Nach Schätzungen der Industrie- und Handelskammern im Ruhrgebiet befinden sich in einem Abstand von 10 km zu den Wasserstraßen im Ruhrgebiet rund 10.000 solcher Betriebe. Je nach Lagegunst, Verkehrsanbindung und betrieblichen Anforderungen könnte ein erheblicher Teil dieser Betriebe von den Entwicklungen profitieren; überschlägigen Schätzungen zufolge dürfte dieser Anteil bei etwa der Hälfte der Unternehmen liegen.

Wie alle Technologien ist auch das automatisierte oder (teil-)autonome Fahren mit Risiken verbunden. Hierbei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Beim regelmäßigen Fahren im Level 2 oder 3 besteht die Gefahr, dass, wenn der Schiffsführer in kritischen Situationen die manuelle Steuerung übernehmen, nicht mehr ausreichend qualifiziert und konzentriert ist.
- Cyberangriffe: Durch GPS- oder AIS-Spoofing gibt es Angriffsvektoren, die vorhandene Systeme betreffen. Vernetzte Schiffe, die in ständigem Datenaustausch stehen, bieten eine große Angriffsfläche. Autonome Systeme in Fahrzeugen müssen deshalb besonders vor Cyberangriffen geschützt werden. Bei einem unbemannten Schiff besteht zudem die Gefahr, dass sich Unbefugte Zutritt zum Schiff und direkten Zugriff auf die Steuerungselektronik verschaffen.

Es gibt schon jetzt Konzepte, diese Risiken einzugrenzen: Das vollautonome Fahren wird erst dann im Regelbetrieb zur Anwendung kommen, wenn die Sicherheit mindestens so hoch ist, wie beim menschlichen Schiffsführer. Wenn Schiffe über lange Zeit im teilautonomen Betrieb operieren müssen die Schiffsführer regelmäßig mit geeigneten Schulungsmaßnahmen trainiert werden, damit sie ihre Kompetenz nicht verlieren. Auch gegen Cyberangriffe gibt

es erprobte Abwehrmaßnahmen, die sich in anderen Industriebereichen bewährt haben und hier konsequent zum Einsatz kommen müssen.

3 Technische Voraussetzungen

Das autonome Fahren verlangt bestimmte technische Voraussetzungen sowohl an Bord der Schiffe als auch entlang der Wasserstraße.

3.1 Ausrüstung an Bord

Grundsätzlich kann jedes Binnenschiff für das autonome Fahren ausgerüstet werden. Je nach Ausrüstungsstand können vorhandene Komponenten verwendet werden oder müssen ausgetauscht werden.

Die zentrale Komponente beim autonomen Fahren ist der Steuerrechner, der die Sensordaten und Verkehrs- und Wasserstraßeninformationen verarbeitet und die Steuerbefehle für die Antriebs- und Manövrierorgane ausgibt. Steuerrechner sind bisher nicht an Bord vorhanden und müssen neu installiert werden. Der Steuerrechner sollte möglichst redundant ausgeführt werden und muss mit einem Sicherheitssystem ergänzt werden, das den Betrieb überwacht und kritische Fehlfunktionen verhindert. Die Stromversorgung sollte besonders abgesichert sein, im Falle eines Stromausfalls an Bord sollte der Steuerrechner als letztes Gerät ausfallen. Zudem muss der Steuerrechner gegen (Cyber-)Angriffe geschützt werden. Die Kosten für den Steuerrechner werden auf ca. 5000 € geschätzt.

Das autonome Fahren wird umso besser und zuverlässiger, je genauer und umfangreicher die zur Verfügung stehenden Daten sind. Zu den Daten gehören sowohl die (quasi-)statischen Daten (u. a. Beladungszustand, Karten der Wasserstraßen und Häfen) als auch die dynamischen Daten (u. a. Position, Kurs und Geschwindigkeit des eigenen Schiffes und der anderen Verkehrsteilnehmer sowie aktuelle Informationen der Wasserstraße).

Ein Teil der Daten wird an Bord selbst gewonnen. Ein anderer Teil wird aus externen Quellen bezogen. Die Daten der Wasserstraßen und Häfen können in größeren Zeitabständen aktualisiert werden. Die veränderlichen Wasserstraßendaten müssen, sofern sie verwendet werden, laufend aktualisiert werden. Dies kann über eine mobile Datenverbindung (mind. 4G/LTE) erfolgen. Die Daten anderer Verkehrsteilnehmer können über AIS (Automatic Identification System) empfangen werden.

Ein wichtiger Punkt ist der Informationsaustausch zwischen den Schiffen. Hier sind besonders die AIS-Daten nützlich. Aufgrund der Protokolldefinition können diese allerdings nicht als sicher betrachtet werden. In der Praxis werden fehlerhaft installierte AIS-Geräte beobachtet, die falsche Schiffsdaten senden. Es besteht aber auch die Gefahr des AIS-Spoofing, also der absichtlichen Aussendung falscher AIS-Daten. Damit könnten automatisch gesteuerte

Schiffe in ihrem Verhalten beeinflusst werden. AIS-Daten müssen also immer mit anderen Sensordaten abgeglichen und validiert werden.

Daneben erfolgt der Informationsaustausch zwischen den Schiffen über Funkgespräche der Schiffsführer. Ein autonomes Schiff muss auf absehbare Zeit in der Lage sein, mit einem Menschen kommunizieren zu können. Es gibt bereits KI-Systeme, die auf einfachem Niveau mit Menschen kommunizieren können. Solche Systeme können an Bord eingesetzt werden. Es ist aber auch denkbar, dass das AIS-System erweitert wird, bzw. der notwendige Informationsaustausch zukünftig über RIS (River Information Services) erfolgt.

3.1.1 Sensorik

Vor allem die dynamischen Daten der unmittelbaren Umgebung werden durch Sensoren an Bord gewonnen. Je mehr Daten an Bord gewonnen werden, umso unabhängiger ist das Schiff von der Infrastruktur entlang der Wasserstraße. Andererseits kann es günstiger sein, die notwendigen Sensoren entlang der Wasserstraße zu installieren als an Bord jedes Schiffes.

Dank der Entwicklungsarbeiten v. a. im Bereich der Automobiltechnik und der Markteinführung von Assistenzsystemen dort, sind verschiedene Sensoren inzwischen günstig als Massenprodukt erhältlich. An Bord von Schiffen gibt es im Gegensatz zu Pkw bezüglich der Größe und des Gewichtes der Sensoren kaum Beschränkungen. Angesichts der höheren Investitionskosten und der längeren Nutzungsdauer können auch teurere oder mehr Sensoren als beim Kraftfahrzeug gerechtfertigt sein.

Für den Einsatz beim autonomen Fahren bieten sich folgende Sensortypen an:

Das **Echolot** misst die Wassertiefe unter dem Schiffsboden (Flottwasser) an einer Position und ist bereits an Bord installiert. Dies kann direkt verwendet werden. Evtl. kann es hilfreich sein, die Wassertiefe an mehreren Punkten am Schiff zu messen. Für die Erfassung der Wassertiefe eines größeren Gebiets in der Schiffsumgebung stehen Fächerecholote zur Verfügung, allerdings zu sehr hohen Kosten. Aufgrund der hohen Kosten erscheint es viel effizienter die Gewässerdaten auf anderen Wegen einmalig zu erfassen und über eine Datenverbindung allen Schiffen zu Verfügung zu stellen, als dass jedes einzelne Schiff diese mit großem Aufwand selbst erfasst.

Ein **Radar** ist ebenfalls schon an Bord installiert. Für eine bessere Erkennung anderer Verkehrsteilnehmer, Hindernisse und Wasserstraßenbegrenzungen bei schlechten Sichtbedingungen wird es wahrscheinlich nötig sein, zusätzliche Radarsysteme mit einer höheren Auflösung im Nahbereich zu verwenden. Entsprechende Nahbereichsradare im 24 GHz-Band gibt es inzwischen als günstige Halbleitersensoren.

GNSS-Empfänger (Globale Navigationssatellitensysteme wie GPS, Galileo, GLONASS u.a.) sind bereits an Bord installiert und können direkt verwendet werden. Die aktuelle Position wird über AIS gesendet. Sie wird auch für die Darstellung der elektronischen Navigationskarte (ECDIS) verwendet. Unter der Verwendung externer Korrektursignale, die von Stationen entlang der Wasserstraße gesendet werden müssen, ist mit GPS eine Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit von bis zu 10 cm möglich. Zur Verringerung der Ausfallzeiten (z. B. Abschattung bei Brückendurchfahrt) sollten verteilte, redundante Systeme verwendet werden (z. B. ein weiterer GNSS-Empfänger am Bug). Die Kosten für GNSS-Empfänger sind gering. Es ist noch Gegenstand der Forschung, ob Ungenauigkeiten in der GNSS-Positionsbestimmung durch optische und radargestützte Orientierung in der Wasserstraße kompensiert werden können.

Kameras sind, wie viele Sensoren, die in großen Stückzahlen für andere Industriebereiche und Verkehrsträger hergestellt werden, vergleichsweise günstig und können in einer großen Anzahl an Bord installiert werden. Mit ihnen kann die Schiffsumgebung (bei ausreichenden Sichtverhältnissen) sehr präzise und auf große Distanzen erfasst werden. Damit können optische Navigationszeichen an Land zur Positionsbestimmung genutzt werden. Durch den Einsatz geeigneter optischer Filter können störende Reflexionen der Wasseroberfläche eliminiert werden. Bei verminderter Sicht (Dunst, Nebel) kann u. U. eine optische Umgebungserkennung mit **Infrarotkameras** erreicht werden. Aufgrund ihrer hohen Lichtempfindlichkeit können Kameras auch bei sehr geringer Helligkeit noch arbeiten. Auch in der Nacht können beleuchtete Fahrzeuge und Navigationszeichen präzise erkannt werden.

Je nach Ausrüstungsstand finden sich jetzt schon verschiedene Kameras an Bord, deren Bilder auf Monitoren im Steuerhaus gezeigt werden und die den Schiffsführer bei der Navigation unterstützen. Diese können evtl. mit genutzt werden.

Lidar (Light detection and ranging) ermöglicht eine sehr genaue Abtastung der schiffsnahen Umgebung. Diese Sensoren sind relativ teuer (ca. 15.000 €) und können deshalb heutzutage in Kraftzeugen in Serienfahrzeugen nicht eingesetzt werden. Bei einem Binnenschiff, dessen Investitionskosten sehr viel höher als beim Kraftfahrzeug sind, kann ein Einsatz hingegen lohnend sein.

Ein **Kompass** muss nicht auf jedem Binnenschiff installiert sein. Er ist aber preisgünstig und kann bei der Positionsbestimmung helfen.

Ebenfalls können **Trägheitssensoren** die Positionsbestimmung unterstützen. Die Genauigkeit dieser Sensoren korrespondiert mit ihrem Preis (zwischen

100 € und 60.000 €). Welche Genauigkeitsklasse notwendig ist, muss im Laufe der Entwicklung geklärt werden.

Mit **Ultraschallsensoren** können sehr Abstände im Nahbereich gemessen werden. Sie können beim Anlegen oder bei Schleusenmanövern zum Einsatz kommen. Diese Sensoren werden in Kraftfahrzeuge in großen Stückzahlen eingebaut und sind deshalb sehr preisgünstig.

Welche Sensoren in welcher Anzahl für ein zuverlässiges autonomes Fahren benötigt werden, muss noch in anstehenden Forschungsanstrengungen bestimmt werden. Sicher ist, dass dem Steuersystem mit den o.g. Sensoren für das autonome Fahren weit mehr Daten zur Verfügung stehen, als ein Schiffsführer jetzt zur Verfügung hat. Nach ersten Abschätzungen, die sich auch auf Erfahrungen auf dem Automobilbereich stützen, ist mit Gesamtkosten für die Sensorik für ein Schiff mit 50.000 – 75.000 € zu rechnen.

3.1.2 Antriebs- und Manövrierorgane

Die Art und Anzahl der Antriebs- und Manövrierorgane auf Binnenschiffen ist sehr unterschiedlich. Propeller können von einem Diesel- oder Elektromotor angetrieben werden. Dann befinden sich hinter den Propellern Einzel- oder Doppeldruderanlagen. Ebenso werden Ruder- und Vertikalflügelpropeller eingesetzt. Im Bug können Querstrahlanlagen oder Vierkanalanlagen installiert sein.

Diese verschiedenen Antriebs- und Manövrierorgane müssen mit den entsprechenden Aktuatoren ausgestattet sein, so dass sie von dem Steuerrechner angesteuert werden können. Auf allen aktuellen Binnenschiffen können die Antriebs- und Manövrierorgane elektrisch angesteuert werden. Die Schnittstellen zum Steuerrechner müssen individuell hergestellt werden. Dies ist keine große technische Herausforderung.

3.1.3 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Solange Binnenschiffe mit Besatzung fahren, ist es wichtig, die Bedienung der Assistenz- und Steuerungssysteme möglichst einfach und benutzerfreundlich zu gestalten. Der Mensch muss einerseits lernen, die Handlungskompetenz eines Assistenzsystems zu akzeptieren. Andererseits muss er jederzeit die Möglichkeit haben, kompetent die manuelle Steuerung zu übernehmen.

Assistenzsysteme, die der Information der Schiffsführung dienen (z. B. Kollisionswarnung) sollten unauffällig im Hintergrund arbeiten und nur wichtige Informationen rechtzeitig und klar anzeigen. Bei allen Systemen, die nicht ständig mit dem Schiffsführer interagieren, muss die Bedienbarkeit und die Verständlichkeit der Anzeigen selbsterklärend sein, da davon ausgegangen werden muss, dass bei seltener Benutzung eine erlernte Bedienung in Vergessenheit gerät.

Wenn Assistenzsysteme die Schiffsführung übernehmen, muss das System den an Bord befindlichen Schiffsführer über den aktuellen Zustand und die geplanten Manöver (z. B. Vorausschau der Schiffsbewegung auf einer elektronischen Karte) informieren. In einer Einführungsphase kann der Schiffsführer die Funktion des Assistenten beurteilen und fühlt sich nicht der Technik ausgeliefert. Dies steigert die Akzeptanz des Assistenzsystems. Außerdem muss der Schiffsführer, der an Bord bei Fahrten bis Level 4 in jedem Fall die Verantwortung trägt, entscheiden, wann er die manuelle Kontrolle übernimmt.

Wenn die Assistenzsysteme einen hohen Entwicklungsstand erreicht haben und das Schiff im Level 4 fährt, muss der Schiffsführer, wenn er durch ein Alarmsignal auf die Brücke gerufen wird, auf einen Blick die Verkehrssituation erfassen können. Hier bieten sich elektronische Navigationskarten an, die die Verkehrssituation zeigen. Zusätzlich können Sprachausgaben helfen, die die kritische Situation erklären. Besonders in der Kanalfahrt ist dies eine kritische Frage: Kann in der Enge des Gewässers ein von der autonomen Steuerung ausgelöster Alarm so rechtzeitig gegeben werden, dass ein manuell eingreifender Schiffsführer Reaktionsmöglichkeiten und Handlungsalternativen hat.

Denkbar ist auch, dass Assistenzsysteme regelmäßige Sprachdurchsagen (aktueller Flusskilometer, Ort, der gerade passiert wird, geschätzte Ankunftszeit o. ä.) an Bord geben. Dies kann dazu beitragen, Vertrauen in die noch neue Technik zu schaffen, wenn der Besatzung bewusst ist, dass keine Person auf der Brücke steht.

3.1.4 Kommunikation (Schiff – Schiff)

Die Kommunikation zwischen den Binnenschiffen ist ein wichtiger Aspekt bei der Schiffsführung. Es muss davon ausgegangen werden, dass noch für lange Zeit autonome Schiffe mit von Menschen gesteuerten Schiffen kommunizieren müssen. Dazu können Sprachverarbeitungssysteme verwendet werden, die auf die wesentliche, notwendige Kommunikation trainiert werden können. Diese automatischen Sprachsysteme hätten den Vorteil, dass sie mehrsprachig kommunizieren können. Damit könnten auch die heute zu beobachteten Kommunikationsprobleme gelöst werden, die aufgrund unzureichender Sprachkenntnisse entstehen.

In der Erprobungsphase kann zunächst aber auch der die Testfahrten durchführende Schiffsführer die Kommunikation mit anderen Schiffen übernehmen und die Antworten über ein Terminal kodiert in das autonome Steuerungssystem eingeben.

Alternativ könnten auch schriftliche Kommunikationssysteme für die Binnenschiffahrt entwickelt werden, die dann von allen Schiffen verwendet werden müssten. Wenngleich dies technisch relativ einfach umzusetzen wäre, erscheint der dazu erforderliche Standardisierungsprozess und die vollständige

Einführung aus allen Schiffen aufwendiger als die Weiterentwicklung KI-basierter Sprachsysteme, die heute schon einen beachtlichen Entwicklungsstand erreicht haben (z. B. Google Duplex¹⁶).

3.1.5 Cybersecurity

Auch wenn der Begriff „autonom“ eine Unabhängigkeit suggeriert, werden autonom fahrende Schiffe vernetzt sein. Zukünftig werden nicht nur die Systeme zum autonomen Fahren, sondern die allermeisten elektronischen Komponenten Daten über das Internet austauschen. Sei es, dass Betriebsdaten für das Predictive Maintenance oder elektronische Frachtdokumente übertragen werden, oder Softwareupdates für Anlagen an Bord eingespielt werden. Hier ergeben sich weite Angriffsfelder. So können Angriffe z. B. direkt auf eine Komponente von außen oder indirekt über eine unsichere Komponente im Schiffsnetzwerk erfolgen.

Letztendlich ergeben sich die gleichen Angriffsszenarien wie für Industrieanlagen an Land. Dementsprechend kann Ihnen in gleicher Weise begegnet werden. Aufgrund des hohen Schadens, den ein außer Kontrolle geratenes Binnenschiff anrichten kann, sollte der Absicherung des Schiffs große Bedeutung beigemessen und ein angemessener Aufwand betrieben werden.

Neben dem Angriff über eine Internetverbindung sind weitere Angriffe über AIS- oder GPS-Spoofing möglich. Da AIS-Daten generell als unsicher betrachtet werden müssen, muss im System eine Plausibilitätsprüfung implementiert sein, die erkennbar falsche bzw. gefälschte Daten ausfiltert. GPS-Spoofing kann durch eine Redundanz mit anderen von GPS unabhängigen Ortungssystemen begegnet werden.

Bei unbemannten Schiffen müssen alle Systeme an Bord so gesichert sein, dass kein unautorisierte physischer Zugriff möglich ist, bzw. dass dieser erkannt wird, das Schiff Alarm auslöst, sich in einen sicheren Zustand bringt und abschaltet.

3.2 Infrastruktur an Land

Neben den oben beschriebenen technischen Anforderungen an das Schiff, müssen auch an Land einige infrastrukturelle Anforderungen erfüllt werden. Manche Details diesbezüglich werden erst im Laufe der Entwicklungsarbeiten definiert werden können. Aus den Erfahrungen mit anderen Verkehrsträgern lassen sich aber jetzt schon wesentliche Anforderungen feststellen.

¹⁶ <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Google-Duplex-Guten-Tag-Sie-sprechen-mit-einer-KI-4046987.html> bzw. <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/google-duplex-auf-der-i-o-gruselig-gute-kuenstliche-intelligenz-a-1206938.html>

3.2.1 Datenübertragung

Viele Funktionen bzw. eine verkehrstaugliche Qualität des autonomen Fahrens können erst durch die Übertragung von zusätzlichen Informationen von Land gewährleistet werden. Hierzu zählen u. a. die Übertragung aktueller Wasserstraßeninformationen wie detaillierte Peilungs-/Pegel- und Strömungsdaten. Aber auch die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander kann am einfachsten über standardisierte, mobile Datenübertragung erfolgen. Außerdem können die Mobilfunksignale für eine genaue Positionsbestimmung verwendet werden.

Die z. Zt. im Aufbau befindliche Ausrüstung von Schleusen mit WLAN-Netzwerken kann nur als Übergangslösung betrachtet werden. Zum einen ist die WLAN-Technik nicht für eine flächendeckende Netzabdeckung entwickelt worden und kann auch nur kurze Distanzen überbrücken, zum anderen müssten die Schiffe mit kombinierten Routern ausgestattet werden, die einen dynamischen Wechsel zwischen WLAN- und Mobilfunkanbindung zulassen.

Gerade beim Wasserstraßennetz, das im Vergleich zum Straßennetz deutlich kleiner ist, erscheint eine flächendeckende Infrastrukturunterstützung entlang der Wasserstraßen gut realisierbar. In einer ersten Ausbaustufe sollte eine lückenlose Datenanbindung mit 4G/LTE-Standard entlang der Wasserstraßen verfügbar sein.

Mit zunehmender Verbreitung von autonomen Schiffen und steigendem Bandbreitenbedarf ist eine Mobilfunkanbindung mit 5G unerlässlich. Dies gilt ganz besonders, wenn in einer Vorstufe zum autonomen Fahren Schiffe ferngesteuert vom Land gefahren werden sollen; hier ist der Bandbreitenbedarf besonders groß.

3.2.2 Navigationshilfen

Die Position des Schiffes kann anhand von verschiedenen Sensoren und in Verbindung mit Mobilfunkstationen bestimmt werden. Zur Navigation werden dann elektronische Wasserstraßenkarten verwendet, die in entsprechender Auflösung, Genauigkeit und Aktualität vorliegen müssen.

Die Positionsbestimmung per GPS kann durch die Nutzung von Korrektursignalen (DGPS), die von Landstationen ausgesendet werden, wesentlich verbessert werden (bis in den dm-Bereich). Die Grundlagen hierfür wurden u. a. im Projekt LAESSI¹⁵ erarbeitet.

Zusätzlich kann durch optische Landmarken, die in den Karten verzeichnet sind und deren Position relativ zum Schiff durch die an Bord befindlichen Kameras erfasst werden, eine sehr genaue Positionsbestimmung erreicht werden.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der River Information Services werden auch sog. AtoN (Aids to Navigation) auf nationaler und EU-Ebene diskutiert.

Diese können virtuell als Datendienst verteilt werden oder real als Funk-Tonne im Gewässer installiert werden.

Auch kann es sich als notwendig erweisen, Hindernisse in der Wasserstraße oder am Ufer (z. B. Brückenpfeiler oder Bühnen) farblich besonders zu kennzeichnen, damit sie von den optischen Systemen zuverlässig erkannt werden können.

Durch geeignete Techniken aus dem Bereich der Sensorfusion (z.B. Kalman Filter) lässt sich so die Genauigkeit der Positionsbestimmung erheblich steigern.

3.2.3 Poller/Festmachsysteme

Das sogenannte Los- und Festmachen stehen am Anfang und Ende einer Fahrt. Nur bei einem unbemannten Schiff muss dies vollautomatisch passieren; hierfür gibt es verschiedene technische Ansätze.

Die aktiven Komponenten (z. B. hydraulisch angetriebene Greifer oder elektromagnetische Halter) können sowohl an Land oder an Bord installiert sein. Wenn zukünftige automatische Festmachersysteme standardisiert werden, können diese einfacher und kostengünstiger gebaut werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass diese Aufgaben von im Hafen stationiertem Personal übernommen werden.

3.2.4 Energieversorgung

Bei einem Schiff mit Dieselantrieb erfolgt das Bunkern meistens durch ein Bunkerschiff während der Fahrt. Wenn das Schiff unbemannt fährt, müsste sich das autonome Schiff mit dem Bunkerschiff abstimmen, damit die Mannschaft des Bunkerschiffes die Treibstoffübergabe durchführen kann. Die Entwicklung von technischen und organisatorischen Lösungen für diese Aufgabe ist allerdings gegenüber den meisten anderen Funktionen nicht vorrangig. Es ist davon auszugehen, dass in den ersten Entwicklungsschritten zunächst Personal an Bord, bzw. in Häfen vorhanden ist, das eine Treibstoffversorgung sicherstellen kann.

Dies gilt umso mehr für alternative Treibstoffe wie LNG, Wasserstoff oder Methanol beziehungsweise Stromversorgung für batteriebetriebene Schiffe.

3.3 Ferngesteuertes Fahren

Die oben genannten Punkte gelten auch für ein ferngesteuertes (teilautonomes) Schiff, wobei hier die leistungsfähige und zuverlässige Datenverbindung das allerwichtigste ist.

Kommt eine Fernsteuerung zum Einsatz, ist zusätzlich noch ein Fahrstand an Land erforderlich. Dieser Fahrstand muss nicht die Nachbildung einer Schiffsbrücke sein. Vielmehr ist hier entscheidend, dass alle Anzeigen und Bediene-

räte möglichst ergonomisch ausgeführt sind, vor allem, wenn von einer Konsole mehrere Schiffe geführt werden sollen. Die Erfahrungen, die sowohl mit Simulatoren als auch mit Arbeitsplätzen von Fluglotsen und Drohnenpiloten gesammelt wurden, können hier genutzt werden.

Allerdings kann die Navigationsausbildung, die zukünftig vermehrt am Simulator stattfinden wird auch kombiniert werden mit der Ausbildung zum Fernsteuern eines Schiffes. Ein Schiffsführer kann gleichzeitig die Kompetenz zum Führen des Schiffes vom Steuerhaus als auch ferngesteuert erwerben.

Bei allen Betrachtungen zur landseitigen Infrastruktur , darf nicht vergessen werden, dass ein autonom fahrendes Schiff zumindest die Fähigkeit besitzen muss, beim Ausfall jeglicher externer Informationen (die also nicht mit bord-eigenen Sensoren gewonnen werden) einen gesicherten Zustand einzunehmen und die Fahrt zu beenden.

4 Rechtliche Rahmenbedingungen

4.1 Zulassung und Betrieb

Die Verantwortung für das Binnenschiff liegt nach der gültigen Rechtslage bei dem verantwortlichen Schiffsführer. Unter seiner Anleitung dürfen auch Personen ohne Patent (z. B. Auszubildende) das Schiff steuern. Ebenso darf der Schiffsführer Assistenzsysteme verwenden, immer in dem Bewusstsein, dass die Verantwortung bei ihm liegt.

Ein Schiffsführer kann also im Rahmen seines Ermessens und in seiner Verantwortung jetzt schon Assistenzsysteme und autonomes Fahren (auch im Level 4 oder 5) testen, sofern er jederzeit die Kontrolle über das Schiff übernehmen und manuell steuern kann (Level 0). Er kann diese Verantwortung nicht an einen anderen (Nicht-Schiffsführer) übertragen. Hierbei müssen die Arbeitszeitrichtlinie und die Bemannungsvorschriften stets beachtet werden.

Die Zulassung eines vollständig autonomen Schiffes, das im Level 4 oder 5, also ohne die Notwendigkeit eines menschlichen Eingreifens operieren kann, ist z. Zt. nicht möglich.

Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt hat sich des Themas allerdings schon angenommen und arbeitet darauf hin, autonome Schiffe in das Regelwerk aufzunehmen. Ziel der Regelungen ist grundsätzlich die Gewährleistung eines sicheren Schiffsbetriebs. Eine mögliche Regelung für den Rhein könnte dann auch eine Vorlage für die Vorschriften für die nationalen Wasserstraßen sein. Diese liegen im Zuständigkeitsbereich der GDWS (Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt). Weiterführender erscheint es aber, wenn die erforderlichen Standards für autonome Schiffe in das Arbeitsprogramm der CESNI ab 2019 aufgenommen werden und letztendlich europaweit einheitliche Vorschriften für die Zulassung von autonom fahrenden Binnenschiffen erstellt werden.

Für eine Zulassung wird die Zuverlässigkeit des eingesetzten autonomen Systems das entscheidende Kriterium sein. Vergleichbar mit der Qualifizierung der Schiffsbesatzung muss die Qualifizierung von autonomen Systemen für die Zulassung nachgewiesen werden. Die Zulassung erfolgt wie bei jedem anderen technischen System durch die GDWS (Dezernat Technische Schiffssicherheit).

Die Frage, wie die Qualität und die Zuverlässigkeit eines autonomen Schiffes bestimmt werden und welches Maß als ausreichend erachtet werden kann, ist Gegenstand zukünftiger Untersuchungen. Auch ist noch zu klären, ob es für autonome Steuerungen Typzulassungen geben kann oder ob jedes Schiff individuell betrachtet werden muss.

Die bisherigen Vorschriften berücksichtigen auch keine ferngesteuerten Schiffe. Es ist noch zu untersuchen, inwieweit ein aus der Ferne operierender Schiffsführer einem an Bord gleichgesetzt werden kann. Wenn sich keine Risiken bzgl. der Verkehrssicherheit ergeben, sollten die Vorschriften hierzu angepasst werden, um die Nutzung dieser Technik an Bord zu ermöglichen.

4.2 Haftung

Direkt in Verbindung mit der Zulassungsfrage steht die Haftungsfrage. Diese ist auch bei den Verkehrsträgern Schiene und Flugzeug noch Gegenstand der Diskussion. Solange es um die Haftung für Sachschäden geht, reduziert sich die Frage auf die zuverlässige Berechnung bzw. Abschätzung der Versicherungsrisiken und damit von Versicherungsprämien. Schwerwiegender ist die Frage der Haftung, wenn es sich um Personenschäden handelt.

Mit der Novelle des StVG vom 21.06.2017 sind die Haftungsfragen für Kraftfahrzeuge geregelt. Die Haftung bei teilautomatisiertem Fahren liegt beim Fahrer, der die Aufgabe hat, die Assistenzsysteme zu überwachen und notfalls manuell einzugreifen, um einen Unfall zu vermeiden. Bei Systemen, die der Hersteller für das automatisierte Fahren freigegeben hat und der Fahrer nicht die Aufgabe hat, diese Systeme ständig zu überwachen, geht die Haftung auf den Hersteller über.

In der Binnenschifffahrt ist allerdings nicht zu erwarten, dass die Werften über die Kompetenz verfügen, selbst autonome Steuerungen zu entwickeln. Hier stellt sich die Frage, ob die Haftung auf den Hersteller des Schiffes (die Werft), den Hersteller der autonomen Steuerung oder vielleicht auch auf den Schiffseigner übergeht. Diese Frage wird Gegenstand zukünftiger Diskussionen sein.

5 Anstehende Forschungsaufgaben

Die folgende Betrachtung konzentriert sich auf das autonome Fahren, also die reine Navigationsaufgabe, weil dies die mit Abstand größte Herausforderung ist und hier der wesentliche Forschungsbedarf besteht.

Wie oben bereits beschrieben wurde, müssen für ein vollständig autonomes, unbemanntes Schiff alle anderen Tätigkeiten an Bord ebenfalls automatisiert werden, sodass sie ohne Bordpersonal erledigt werden können (z. B. das Festmachen an Pollern oder das Bunkern). Für jede dieser Aufgaben gibt es bereits technische bzw. organisatorische Lösungen oder Lösungsansätze aus anderen Industriebereichen oder von anderen Verkehrsträgern, die übernommen und adaptiert werden können.

Bis zur Realisierung des autonomen Fahrens sind verschiedene Entwicklungsaufgaben zu erledigen. Diese Aufgaben sind inhaltlich eng miteinander verbunden und werden in einem iterativen Vorgehen immer wieder erneut durchgeführt werden müssen, wobei sich schrittweise Verbesserungen ergeben. Im Laufe dieser Entwicklung zum vollautonomen System ergeben sich Zwischenschritte, die als Assistenzsysteme für einzelne Teilaufgaben des Navigierens verwendet werden können.

Die Entwicklungsaufgaben werden im Folgenden beschrieben.

5.1 Komponentenentwicklung

Ein Schiff muss für das autonome Fahren mit einer Reihe von Hardware-Komponenten ausgerüstet werden. Dies sind

- a) Sensoren, mit denen das Schiff seine Umgebung erkennen kann,
- b) Aktuatoren, mit denen die Propulsions- und Manövrierorgane gesteuert werden können und
- c) die zentrale Recheneinheit, die aus den Sensordaten, weiteren externen Informationen und der vorgegebenen Navigationsaufgabe die notwendigen Steuerbefehle zur Steuerung des Schiffes erzeugt, sowie
- d) eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (für Systeme unterhalb Level 5) und
- e) Komponenten für die Fernsteuerung

Die Entwicklung oder Auswahl der für das autonome Fahren erforderlichen Komponenten kann zuerst an Land unter Verwendung eines Simulators, wie z. B. dem Schiffsführungssimulator SANDRA, erfolgen. Die Verwendung von Simulatoren in der Fahrzeugentwicklung ist immer dann sinnvoll, wenn der Betrieb eines Testfahrzeugs gefährlich oder mit hohem Aufwand verbunden

ist. So ist es relativ einfach, ein Kraftfahrzeug auf einem abgegrenzten Areal zu testen. Bei Luft- und Raumfahrzeugen die Zugänglichkeit von außen im Testbetrieb nicht gegeben. Beim Binnenschiff ist es kein Areal verfügbar, dass über längere Zeit vom regulären Verkehr abgegrenzt werden kann. Deshalb müssen diese Fahrzeuge in einer Simulationsumgebung sehr weit entwickelt werden, bevor Tests in der Realität durchgeführt werden können.

Die meisten Komponenten sind, dank der Entwicklungen für andere Verkehrsträger, bereits verfügbar und müssen nur identifiziert bzw. ausgewählt werden, wenige müssen wahrscheinlich neu entwickelt werden. Vor allem die Schnittstellen zur vorhandenen Bordelektronik müssen für jedes Schiff individuell hergestellt werden. Hier unterscheidet sich das Binnenschiff wesentlich von den anderen Verkehrsträgern, deren Fahrzeuge in Serien hergestellt werden.

Sensoren, Aktuatoren und die Steuereinheit werden iterativ entwickelt: Mit einer Auswahl von Sensoren und Aktuatoren wird die Steuereinheit entwickelt und getestet. Dabei kann sich herausstellen, dass die eingesetzten Sensoren oder Aktuatoren nicht ausreichend sind. Es werden dann andere oder mehr Sensoren eingesetzt bzw. neue Sensoren entwickelt und die Entwicklung der Steuereinheit erneut aufgenommen.

5.1.1 Sensorik

Wie oben bereits dargestellt, steht durch die bisher geleisteten Arbeiten und die erfolgte Markteinführung von Assistenzsystemen bei anderen Verkehrsträgern und Technologiebereichen ein breites Spektrum an Sensoren (GNSS, Radar, Lidar, Kameras, Ultraschallsensoren usw.), die sich augenscheinlich für den Einsatz an Bord eignen, relativ kostengünstig zur Verfügung. Im Gegensatz zum Kraftfahrzeug gibt es bei Schiffen kaum Beschränkungen bzgl. der Größe und des Gewichts der Sensoren. Die Aufgabe besteht darin, passende Sensoren, die für die Navigation benötigt werden, auszuwählen. Die Sensorik in ihrer Gesamtheit muss bei allen, d. h. auch bei schlechten Sichtverhältnissen (z. B. Nebel, Regen, Dunkelheit) die Umgebung und die Verkehrssituation zuverlässig erfassen können.

Hierbei kann auf viele Vorarbeiten aus dem Bereich der Automobiltechnik, aber auch auf Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Luft- und der Seeschifffahrt zurückgegriffen werden.

In der letzten Entwicklungsstufe, dem völlig unbemannten, autonomen Fahren, müssen die Sensoren soweit redundant ausgeführt werden, dass das Schiff kontrolliert den Verkehr verlassen und zum Stillstand kommen kann. Außerdem müssen auch alle für das Fahren benötigten Maschinen und Aggregate (Antriebsmotor, Ruderanlage, Bugstrahlanlage, Treibstoffpumpe, Batteriesysteme usw.) mit Sensoren (Druck, Temperatur, Überstrom u. a.) ausgestattet sein, damit eine Fehlfunktion rechtzeitig erkannt werden kann. Ein

autonomes Schiff muss sich selbst diagnostizieren können. Auch hier ist der Ausrüstungsstand der modernen Binnenschiffe weit fortgeschritten. In der Regel sind die entsprechenden Sensoren verfügbar und können nachgerüstet werden. Solange in der Erprobungsphase das Schiff bemannt ist, sind diese Sensoren nicht zwingend erforderlich.

5.1.2 Externe Daten

Der Empfang und die Verarbeitung von externen Daten (z.B. AIS, Pegeldata, Kartenaktualisierung) werden nicht zur Sensorik gezählt. Diese Daten können aber die Qualität des autonomen Fahrens deutlich verbessern. U. U. wird sind diese Daten für das autonome Fahren sogar zwingend erforderlich; dies wird erst in den anstehenden Forschungsanstrebungen geklärt werden.

Die AIS-Daten der in Funkreichweite befindlichen Schiffe stehen an Bord in der Regel zur Verfügung¹⁷. Allerdings sind die Daten nicht unbedingt verlässlich. Andere Informationen, die über mobile Datenverbindungen übertragen werden, stehen nicht immer zur Verfügung, solange eine vollständige Netzabdeckung entlang der Wasserstraßen nicht gewährleistet ist. Das autonome Schiff darf sich hierauf also nicht verlassen, bzw. muss in der Lage sein, den Verkehr kontrolliert zu verlassen, bis die Datenlage eine Weiterfahrt erlaubt.

5.1.3 Aktuatoren

Viele der für das autonome Fahren benötigten Maschinen und Aggregate sind auf modernen Binnenschiffen bereits mit elektrisch angesteuerten Aktuatoren ausgestattet. Dies gilt insbesondere für die Haupt- und Hilfsmaschinen, die Ruderanlagen und Bugstrahlanlagen, die essentiell sind.

Für einen unbemannten, autonomen Betrieb müssen die Aktuatoren redundant ausgelegt sein, oder es sollte zumindest eine Rückfall-Option geben. In der Erprobungsphase ist dies nicht nötig.

In der letzten Entwicklungsstufe, dem unbemannten autonomen Fahren, müssen alle Maschinen und Aggregate, die bisher über keine Aktuatoren mit elektrischen Schnittstellen verfügen, entsprechend nachgerüstet oder ersetzt werden. Dies betrifft dann auch die Maschinen, die nicht für das eigentliche autonome Fahren (Navigieren) sondern für den allgemeinen Schiffsbetrieb notwendig sind.

Für alle Aktuatoren müssen die passenden Schnittstellen entwickelt werden, damit die zentrale Steuereinheit mit ihnen kommunizieren kann.

5.1.4 Zentraler Steuerrechner

Der zentrale Steuerrechner ist die entscheidende Komponente, auf die sich die Entwicklungsanstrebungen hauptsächlich konzentrieren. Er nimmt die Daten

¹⁷ 2017 lag die Abdeckung bei 95%.

aller Sensoren und die weiteren externen Informationen auf, verarbeitet diese und gibt die Steuerbefehle an die Aktuatoren aus. Eine wichtige Forschungsaufgabe besteht darin, Plausibilisierungsverfahren für alle an Bord zu verarbeitenden Daten zu entwickeln.

Nach dem heutigen Stand der Forschung erscheint es am aussichtsreichsten, mit den Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) zu arbeiten. Dieser Ansatz ist bei Assistenzsystemen in Kraftfahrzeugen sehr erfolgreich. Für die konkrete Nutzung im Binnenschiff besteht allerdings noch ein erheblicher Forschungsbedarf, da sich die Dynamik des Binnenschiffs und die Verkehrsregeln und wesentlich von den anderen Verkehrsträgern unterscheiden.

KI-Systeme unterscheiden sich wesentlich von klassischen programmierten Systemen. Gemeinsam ist ihnen, dass sie Eingangsdaten verarbeiten und daraus Ausgangsdaten erzeugen. Beim autonomen Fahren werden aus den Sensordaten und anderen externen Informationen Steuerbefehle für die Antriebs- und Steuerorgane erzeugt.

Systeme, die auf von Menschen erstellten Algorithmen basieren, sollen für alle denkbaren Systemzustände ein passendes Verhalten zu definieren. Bei sehr komplexen Systemen wird diese Programmieraufgabe allerdings aufwendig und unübersichtlich, weil eine sehr große Anzahl möglicher Systemzustände behandelt werden muss.

KI-Systeme, die auf neuronalen Netzen basieren, arbeiten anders. Die Eingangsinformationen werden innerhalb dieses Netzes durch mehrere Ebenen von Verarbeitungsknoten (Neuronen) geleitet, die sich untereinander beeinflussen. Dies entspricht einer vereinfachten Modellierung des menschlichen Gehirns. In der Implementierung eines neuronalen Netzes mit normaler Hard- und Software wird das neuronale Netz letztendlich auch durch einen Algorithmus beschrieben. Die Beeinflussung der einzelnen Neuronen untereinander wird allerdings nicht manuell programmiert. Die Programmierung erfolgt durch maschinelles Lernen, in dem das neuronale Netz anhand großer Datenmengen so trainiert wird, dass für eine große Vielfalt an Eingangsdaten die gewünschte Antwort erzeugt wird. Das System programmiert sich sozusagen selbst und ist am Ende für einen Menschen kaum verständlich.

Bei den heutigen Systemen wird der Lernprozess vom Produktiveinsatz des Systems getrennt, d. h. ein System wird erst eingesetzt, nachdem das maschinelle Lernen beendet ist. In Experimentalsystemen kann eine KI auch während des normalen Betriebs weiterlernen. In Fahrerassistenzsystemen wird dies aus Sicherheitsgründen unterbunden, weil beim maschinellen Lernen auch zwischenzeitliche Rückschritte erzielt werden und das System unerwünschtes Verhalten erlernen kann. Allerdings können die während des Betriebs gesammelten Daten dazu genutzt werden, die KI außerhalb des normalen Betriebs weiterlernen zu lassen.

Beide Systemtypen können in beliebiger Art und Weise kombiniert werden. So können KI-basierte Teilsysteme einzelne Aufgaben übernehmen, z. B. die Erkennung von Verkehrszeichen, während die eigentlichen Steuerbefehle für die Aktuatoren von programmierten Systemen erzeugt werden.

Die bisher durchgeführten Entwicklungsarbeiten zum autonomen Fahren zeigen, dass rein manuell programmierte Systeme zu komplex werden. Es ist nicht möglich, alle denkbaren Verkehrssituation und Verhaltensregeln vorab zu programmieren. Es werden also selbstlernende Systeme zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zum Menschen kann das maschinelle Lernen allerdings sehr viel schneller und ohne Pausen erfolgen.

Als Trainer für das maschinelle Lernen ist in diesem Fall ein Schiffsführungssimulator prädestiniert. Mit diesem können alle Sensordaten simuliert werden, die das Steuersystem als Eingangsgrößen nutzt. Außerdem wird das Verhalten des Schiffes als die Reaktion auf die Aktuatorbefehle simuliert. Das Steuersystem kann damit ohne Unterbrechungen, ohne Schadensrisiko und mit deutlich höheren Geschwindigkeiten als in Echtzeit, d. h. im Zeitraffer, lernen.

Entscheidend ist, dass der Simulator die Realität so genau wie möglich wiedergibt. Die Sensordaten müssen so realistisch wie möglich generiert werden, damit das System keine falschen Verhaltensmuster lernt. Das gilt ebenfalls für die Schiffsdynamik; das simulierte Schiff muss genauso auf Propeller, Ruder, Wasserstraßeneinfluss usw. reagieren wie das echte Schiff. Wenn das System hier falsch angelernt wird, ist es umso schwieriger, beim Realbetrieb wieder umzulernen. Deswegen sollte das maschinelle Lernen in einem qualifizierten Simulator zunächst auch mit dem Schiff stattfinden, auf dem später der Realbetrieb erprobt wird.

Auch wenn andere Verkehrsträger – hier vor allem der Straßenverkehr – in diesem Feld in der Entwicklung schon sehr fortgeschritten sind, kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle dort entwickelten Methoden direkt übernommen werden können. Es gibt bedeutende Unterschiede zwischen der Binnenschiffahrt und dem Straßenverkehr hinsichtlich der Fahrwegerkennung, der Fahrwegdynamik (Wasserstand, Strömung), den Verkehrsregeln, der Fahrzeugdynamik, der Erkennung der anderen Verkehrsteilnehmer bis hin zu z. B. Ruderern oder Schwimmern und der Prognose ihres Verhaltens. Die Erkennung von Objekten wie Schildern oder Grenzen von befahrbaren Bereichen weisen allerdings eine hohe Ähnlichkeit mit den verwendeten Methoden auf.

Im Einzelnen ist durch iteratives Vorgehen zu untersuchen,

- welche Steuerungsalgorithmen zielführend angewendet werden können,
- welche Genauigkeit der Positionsbestimmung erforderlich ist und mit welchen (kombinierten) Verfahren diese erreicht werden kann,

- wie und welche externen Daten erforderlich sind und wie sie verarbeitet werden können,
- wie die verschiedenen Sensordaten bzw. Informationen plausibilisiert werden können,
- welche Mobilfunkanbindung notwendig ist und wie diese am besten genutzt werden kann,
- wie das Verhalten anderer, nicht vernetzter Verkehrsteilnehmer vorhergesagt werden kann,
- wie eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle gestaltet werden kann und
- welche langfristigen Auswirkungen die Assistenzsysteme beim teilautonomen Fahren auf die Konzentration und Qualifikation des Schiffsführers haben.

Diese Aufzählung ist nicht abschließend und für die verschiedenen Fragestellungen kann es verschiedene Forschungsansätze geben.

Ab einem bestimmten Lernstand, der noch zu definieren ist, kann das System dann in den Realbetrieb gehen. Hier kann eine Fahrstrecke oder -zeit definiert werden, die das System im Simulator unfallfrei gefahren sein sollte. Alternativ kann auch eine maximale Wahrscheinlichkeit für einen Unfall definiert werden, ab der das System als reif genug gilt. Es darf nicht davon ausgegangen werden, dass autonome Systeme völlig unfallfrei, d. h. fehlerlos arbeiten.

5.1.5 Fernsteuerung

Parallel zur Entwicklung des autonomen Fahrens kann das ferngesteuerte Fahren entwickelt werden. Damit ein Schiffsführer von Land aus ein Schiff steuern kann, muss er an seiner Steuerkonsole über alle relevanten Informationen verfügen. Diese Informationen sind dieselben, die auch eine autonome Steuerung verarbeiten muss. Ein ferngesteuertes Schiff muss also sowohl über eine vergleichbare Sensorik als auch über die gleichen Aktuatoren verfügen, wie ein autonomes Schiff. Die in den Abschnitten 5.1.1 bis 5.1.3 beschriebenen Forschungsaufgaben müssen also auch für ein ferngesteuertes Schiff erledigt werden.

Darüber hinaus muss ein ferngesteuertes Schiff über eine leistungsfähige und zuverlässige Datenverbindung verfügen. Dies ist allerdings weniger eine Forschungsaufgabe als eine Investitionsaufgabe in die Mobilfunkinfrastruktur. Zur Zeit ist die Mobilfunkabdeckung entlang der Wasserstraßen hierfür völlig unzureichend. Beim ferngesteuerten Fahren dürfen grundsätzlich keine Kommunikationslücken entstehen. Außerdem ist davon auszugehen, dass aufgrund der großen Datenmengen der 5G-Standard erforderlich ist.

Weiterhin muss eine ergonomische Steuerkonsole entwickelt werden, die es einem Schiffsführer erlaubt u. U. auch mehr als ein Schiff gleichzeitig zu steu-

ern. Auch müssen Ausbildungskonzepte entwickelt werden, mit denen sich ein Schiffsführer für diese Aufgabe qualifizieren kann, denn auch ein erfahrener Schiffsführer wird das ferngesteuerte Fahren erst erlernen müssen.

5.2 Systementwicklung mit realen Schiffen (Feldtest)

Sobald das Steuersystem als ausreichend ausgereift betrachtet werden kann, kann die Erprobung an Bord von realen Schiffen erfolgen. Um auch Begegnungen und Überholungen abbilden zu können, sind zwei Testschiffe erforderlich. Diese sollten schon zu Beginn der Entwicklung festgelegt worden sein, damit das maschinelle Lernen mit genau diesem Schiffen erfolgen kann.

Die Erprobung sollte mit einzeln fahrenden Schiffen (Einzelfahrern) durchgeführt werden. Im Falle eines Koppel- oder Schubverbandes müssten auch die Leichter, also die antriebslosen Schiffskörper, mit der entsprechenden Sensorik ausgerüstet werden, was den Aufwand deutlich erhöhen würde. Auch würde unnötiger Schiffsraum bewegt.

5.2.1 Ausrüstung der Testschiffe

Bei den Testschiffen kann es sich um beliebig alte, gebrauchte Schiffe handeln. Wichtig ist das die entsprechenden Aktuatoren vorhanden sind oder nachgerüstet werden können.

Vor der Erprobung müssen die Schiffe mit allen notwendigen Sensoren ausgerüstet werden. Es empfiehlt sich, die Schiffe frühzeitig mit Sensoren auszustatten. So kann die Simulation mit den real gewonnenen Sensordaten kalibriert werden. Dabei wird die iterative Entwicklung deutlich: Die Simulation wird mit den Sensordaten der realen Schiffe kalibriert, aber erst in der Simulation zeigt sich, welche Sensordaten benötigt werden.

Für die Ausrüstung ist eine kurze Liegezeit einzuplanen. Größere Umbauarbeiten an der Schiffsstruktur sind nicht zu erwarten. Weder zusätzliches Gewicht noch Platzbedarf für die Sensoren und das Steuersystem dürften ein Problem darstellen.

Der Anschluss der Aktuatoren an das Steuersystem muss so realisiert werden, dass das Steuersystem zuverlässig und vollständig von den Aktuatoren getrennt wird, wenn der Schiffsführer, der die Testfahrten begleitet, die manuelle Kontrolle übernimmt. Die verschiedenen Aktuatoren der Antriebs- und Manövrierorgane sind auch auf modernen Schiffen voneinander unabhängig, so dass der notwendige Eingriff in die Schiffsinstallation nicht sehr komplex ist.

5.2.2 Feldversuche

Solange sich ein Schiffsführer mit einem ausreichenden Patent/Befähigungszeugnis an Bord befindet und im Rahmen der Arbeitszeitrichtlinien und Bemannungsvorschrift in der Lage ist, jederzeit manuell ein-

zugreifen und damit auch die Verantwortung für das Schiff trägt, kann die Erprobung im Grundsatz auf jeder beliebigen Wasserstraße stattfinden.

Im Hinblick auf die weitere Entwicklung sollte die Erprobung allerdings in einem speziell zugewiesenen Testfeld erfolgen, in dem dann auch geregelter Betrieb in den Levels 4 und 5 möglich ist, vgl. hierzu die Ausführungen unter Kap. 6.3.

6 Konzept und Perspektive

6.1 Anforderungen und Ansatz

Wie einleitend bereits dargestellt, bietet das autonome Fahren erhebliche Potentiale zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt, der vor allem in Regionen mit hoher Wirtschaftskraft, wie z. B. NRW, eine besondere wirtschaftliche Bedeutung zukommt. Gleichzeitig stellt die technische und gesellschaftliche Dimension dieser Technologie eine besondere Herausforderung dar. Ihre Entwicklung und Umsetzung erfordert erhebliche, koordinierte Anstrengungen aller beteiligten Akteure und einen geeigneten Rahmen, der die verschiedenen Anforderungen berücksichtigt.

Hierfür ist es einerseits notwendig, die Expertise und das Know-how der verschiedenen Akteure der Binnenschifffahrt einzubinden und zu bündeln. Andererseits ist es angesichts des disruptiven Charakters dieser Technologie erforderlich, diese in Form eines realen Test- und Demonstrationsbetriebs zu entwickeln, exemplarisch umzusetzen und zu demonstrieren. Hierfür ist neben der fachlichen Expertise insbesondere eine geeignete Infrastruktur mit realen Schiffen nötig.

Diese Fragen werden in den folgenden Abschnitten „Netzwerk und Kompetenzzentrum“ sowie „Testfeld und Testkonfiguration“ konkretisiert. Hieraus werden anschließend entsprechende Empfehlungen abgeleitet.

6.2 Netzwerk und Kompetenzzentrum

Für die Entwicklung und Erprobung des automatisierten bzw. autonomen Fahrens in der Binnenschifffahrt ist eine Vernetzung und Bündelung der notwendigen Expertise und Koordinierung der Entwicklungsschritte unabdingbar. Zu den Akteuren zählen neben dem schifffahrtstreibenden Gewerbe vor allem Forschungsinstitute und Hochschulen, Bildungsträger und die Verwaltung. In Bezug auf das Gewerbe sind einerseits die verschiedenen Unternehmensstrukturen wie Reedereien und Partikuliere und andererseits auch die verschiedenen Gewerbebezüge wie z. B. Trocken-, Container- und Tankschifffahrt sowie Fahrgastschifffahrt zu berücksichtigen. In Bezug auf die Forschung sind neben der Schiffstechnik und Logistik vor allem die Bereiche Regelungstechnik, Mechatronik, Fahrzeugtechnik sowie Rechtswissenschaften einzubinden. Um dem besonderen Anspruch dieser Technologie gerecht zu werden, wird ein geeignetes Forum benötigt, auf der ein wissenschaftlicher Austausch erfolgen, die notwendigen Entwicklungen vorangetrieben und koordiniert sowie Forschungsprojekte initiiert und entwickelt werden können.

Ein „Kompetenzzentrum Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt“ wird als eine geeignete Plattform für diese Aufgaben angesehen. Das Kompetenzzent-

rum initiiert und entwickelt Forschungsprojekte zum autonomen Fahren, die durchaus konkurrierende Forschungsansätze haben können, und dient als Austauschplattform für die beteiligten Partner.

Daneben soll es auch den Testbetrieb in einem geeigneten Testfeld mit realen Testschiffen vorbereiten, entwickeln, koordinieren und betreuen.

Es soll im Weiteren eine jährliche internationale wissenschaftliche Konferenz zum automatisierten bzw. autonomen Fahren in der Binnenschifffahrt ausrichten, die Öffentlichkeitsarbeit übernehmen und dabei als internationale Schnittstelle fungieren.

Die Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen sind ein langfristiger Prozess, der einen kontinuierlichen Treiber gegenüber den nationalen und internationalen Institutionen benötigt. Auch diese Aufgabe kann das Kompetenzzentrum übernehmen.

Als Organisationsform für das Kompetenzzentrum kommen verschiedene Optionen in Frage, z. B. eine gGmbH oder ein eingetragener Verein. Da die Entwicklungen im Bereich des autonomen Fahrens bei den konkurrierenden Verkehrsträgern dynamisch voranschreiten, wird auch für die Binnenschifffahrt eine zügige Entwicklung angestrebt. Das „Kompetenzzentrum Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt“ sollte deshalb zeitnah einsatzbereit sein; längere Vorlaufzeiten für die Gründung sollten möglichst vermieden werden.

6.3 Testfeld und Testkonfiguration

6.3.1 Testschiffe

Die Entwicklung im Labor bzw. in einer Simulationsumgebung kann nur bis zu einem bestimmten Punkt erfolgen. Es bleiben stets Unsicherheiten bzgl. der Genauigkeit der Simulation. Wie oben erwähnt, kann die Simulation der Sensordaten nur auf Basis realer Daten validiert und kalibriert werden. Die Erprobung und Entwicklung an Bord von Schiffen ist nach der Simulation der zwingende nächste Schritt auf dem Weg zu einer praktisch verwendbaren autonomen Steuerung.

Auch für die öffentliche Akzeptanz des automatisierten bzw. (teil-)autonomen Fahrens ist die Demonstration im Rahmen eines Testfeldes wichtig.

Es sollten deshalb sehr früh zwei Testschiffe mit Sensoren ausgerüstet werden, um Erfahrungen im Realbetrieb sammeln zu können. Dabei kann es auch sinnvoll sein, Teilaspekte mit dem realen Schiff zu testen, selbst wenn das komplette autonome System noch nicht funktioniert.

Grundsätzlich ist die Technik, die beim autonomen Fahren verwendet wird, für jedes Schiff verwendbar. Idealerweise kommen bei der Entwicklung jeweils die Testschiffe zur Anwendung, die auch in der Simulation verwendet

werden. Die Steuerung wird auf diese Schiffe trainiert und kennt die Schiffsdynamik.

In einer späteren Entwicklungsstufe kann erprobt werden, ob es für jedes individuelle Schiff notwendig ist, die Steuerung erst in einer Simulation maschinell lernen zu lassen.

Bei der Auswahl der Testschiffe muss ein Kompromiss bezüglich der Komplexität des Navigationsproblems gefunden werden. Ein zu kleines Testschiff zeigt eine sehr geringere hydrodynamische Wechselwirkung mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Wasserstraße. Die Erkenntnisse, die beim Test mit zu kleinen Schiffen gewonnen werden, lassen sich außerdem nicht ohne weiteres auf größere Schiffe übertragen. Bei einem zu großen Testschiff könnten die Anforderungen an die navigatorischen Fähigkeiten so hoch sein, dass ein autonomes System am Anfang der Entwicklung zunächst versagen könnte.

In Hinblick auf die Flottenstruktur und mögliche Testgebiete erscheinen Schiffe mit einer Länge zwischen 80 m und 110 m und einer Breite zwischen 9 m und 11,45 m als ein guter Ansatz. Die Schiffe sollten über moderne Vortriebs- und Steuerorgane verfügen.

Bei den Testschiffen kann es sich um gebrauchte Trockenfrachtschiffe handeln. Diese können je nach Versuchsprofil auf einen Solltiefgang abgeladen werden. Sie sollten so ausgerüstet werden, dass bei einer Kollision möglichst wenig Schaden entsteht. Gleichzeitig können diese Schiffe auch als Pilotschiffe für andere Entwicklungen, z. B. zum Testen alternativer Antriebssysteme (Elektrisch, Wasserstoff usw.) dienen. Dies ist für die Einführung und Umsetzung von Innovationen in der Schifffahrt von hoher Bedeutung. Gleichzeitig ermöglicht dieser Ansatz eine effiziente Verwendung der eingesetzten Forschungsmittel.

6.3.2 Testfeld

Das autonome Fahren sollte zunächst in einem räumlich begrenzten Gebiet getestet werden, so wie auch das autonome Fahren von Kraftfahrzeugen in speziellen Testfeldern erprobt und entwickelt wird.

In dem Testfeld für die Binnenschiffe sollen die navigatorischen Anforderungen einerseits begrenzt, andererseits aber nicht so trivial sein, dass die Navigationsaufgabe auch mit bereits verfügbarer Technik, wie z. B. dem argoTrackPilot automatisiert werden könnte.

Das Testfeld kann als großes Labor betrachtet werden, in dem das autonome Fahren mit realen Schiffen erprobt wird. Der Aufwand zum Bau einer neuen Wasserstraße, die ausschließlich zum Testen des autonomen Fahrens genutzt würde, wäre unverhältnismäßig hoch. Es sollte also eine vorhandene Wasserstraße, die auch im regulären Schiffsbetrieb genutzt wird, zum Testen verwendet werden.

Ein geeignetes Testfeld zeichnet sich gegenüber anderen Wasserstraßen durch folgende Eigenschaften aus:

- Es ist als Testfeld für das autonome Fahren gekennzeichnet und allen Verkehrsteilnehmern bekannt.
- Es verfügt über zwei eigene Testschiffe, die von allen Nutzern des Testfeldes in Anspruch genommen werden können. Sie sind mit Sensoren ausgestattet, die sich mehrere Forschungsprojekte teilen, sodass Forschungsmittel effizient eingesetzt werden können.
- Das Testfeld ist mit einer erweiterten Landinfrastruktur ausgestattet. Im Laufe der Entwicklung wird sich zeigen, welche Komponenten hierzu im Einzelnen notwendig sind; denkbar ist folgende Ausstattung:
 - vollständige mobile Datenanbindung mit 5G,
 - optische Landmarken, farblich markierte Brückenpfeiler o. ä.,
 - Funkpeilsender (Funkbaken), AtoN,
 - DGPS-Sender (Differential Global Positioning System) zur Erhöhung der Positionsgenauigkeit sowie
 - optische Messverfahren zur Bahnverfolgung der Schiffe.
- Das Kompetenzzentrum koordiniert den Testbetrieb bei mehreren Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

6.3.3 Auswahlkriterien

Ein passendes Testfeld muss neben den o. g. generellen Anforderungen auch eine Reihe von praktischen Kriterien erfüllen. Hierzu gehören insbesondere folgende Aspekte:

Die **navigatorischen Herausforderungen** im Testfeld sollten für die erste Erprobung moderat sein. Vor allem sollten Strömungen und stark wechselnde Wasserstände, die zu einer Verlagerung der Fahrrinne führen, vermieden werden. Hingegen dürfen Engstellen und auch Schleusen vorkommen.

Die **Verkehrsdichte** sollte für den ersten Entwicklungsschritt gering bis moderat sein. Begegnungs- und Überholmanöver sollten jedoch vorkommen. Das Kreuzen der Fahrspur (Fahren mit blauer Tafel) sollte hingegen zunächst vermieden werden. Wasserstraßenabschnitte, die nur eine einspurige Verkehrsführung, d.h. keine Begegnungs- oder Überholvorgänge erlauben, sind für das Testfeld nicht geeignet.

In dem Testgebiet sollte möglichst **wenig Gefahrgutverkehr** stattfinden. Autonom gefahrene Begegnungs- und Überholmanöver mit Gefahrgutschiffen (Tankern) sollten vermieden werden.

Im Testfeld sollte sich mindestens ein **Hafen** befinden, so dass An-, Ablege- und auch Wendemanöver gefahren werden können. Beim vollständig autonomen Schiff muss eine Vorrichtung zum automatischen Festmachen installiert

werden. Sofern der Schwerpunkt zunächst auf das autonome Fahren, jedoch nicht auf den vollständig autonomen Betrieb gelegt werden würde, wäre das nicht vorrangig, könnte aber schon erprobt werden.

Wie bereits dargestellt, muss die **Infrastruktur an Land** u. U. erweitert werden. Hierzu wird auf die obigen Ausführungen verwiesen.

6.4 Empfehlung

6.4.1 Eignung der Rhein-Ruhr-Region

Die Binnenschifffahrt hat für den Wirtschaftsstandort Nordrhein-Westfalen eine herausgehobene Bedeutung. Dabei entfällt der überwiegende Teil des Binnenschifffahrtsaufkommens auf die Rhein-Ruhr-Region mit dem Rhein und dem Kanalnetzwerk sowie den hier angesiedelten Häfen.

In dieser Region erlangt der Standort Duisburg eine dominierende Rolle; neben der Duisburger Hafen AG (duisport), dem größten Binnenhafen Europas mit trimodaler Ausrichtung, ist Duisburg auch Sitz wichtiger Reedereien wie z. B. Rhenus Partnership, Imperial Shipping oder Jaegers. Auch der Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt (BDB) sowie Werften und Zulieferer sind in Duisburg ansässig. Damit zentrieren sich in der Region sowohl das Fachwissen und die Fracht, aber auch das Interesse der binnenschifffahrtsnahen Unternehmen am autonomen Fahren. Aufgrund der infrastrukturellen Voraussetzungen ist in der Region ein Testfeld mit realen Bedingungen umsetzbar: Hier können sowohl die Kanalfahrt als auch die Schleusung und der Begegnungsverkehr getestet werden. Zudem bestehen die systematische Erweiterungsmöglichkeit eines Testfeldes auf größere Hafensareale und perspektivisch auch der Test der Flussfahrt.

Gleichzeitig sind auch Forschung und Lehre mit zahlreichen Disziplinen in den Universitäten der Rhein-Ruhr-Region vertreten. Hierzu gehören die Universitäten Duisburg-Essen und Dortmund mit vielen, für die Binnenschifffahrt bzw. für das autonome Fahren wichtigen Lehrstühlen bzw. Instituten und weitere, für die Binnenschifffahrt bzw. für das autonome Fahren relevante Forschungsexpertise an verschiedenen Standorten und in verschiedenen Disziplinen:

- Lehrstuhl Prof. Bertram, TU Dortmund (Regelungssystemtechnik)
- Lehrstuhl Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen, Institut der Transportlogistik an der TU Dortmund
- Lehrstuhl Prof. Czulwik, Universität Duisburg-Essen (5G, etc.)
- Lehrstuhl Prof. Ding, Universität Duisburg-Essen (Regelungstechnik)
- Lehrstuhl Prof. el Moctar, Universität Duisburg-Essen (Institut für Schiffs- und Meerestechnik)

- Lehrstuhl Prof. Schramm, Universität Duisburg-Essen (Mechatronik, Fahrzeugtechnik, maschinelles Lernen, HMI, Fahrsimulation, Campus Duisburg)
- Lehrstuhl Prof. Söffker, Universität Duisburg-Essen (Regelungstechnik/Kognition)
- Lehrstuhl Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel, TU Dortmund (Förder- und Lagerwesen)
- Lehrstuhl Prof. Weis, Universität Duisburg-Essen (Elektrotechnik und Informationstechnik)
- Dr. Wolfgang Schneider, CAR-Institut (Recht und Haftungsfragen)
- IMST GmbH, Funkkommunikation und Radarsysteme sowie Mikrosystemtechnik und Nanoelektronik, Kamp-Lintfort
- Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Dortmund

Auch das Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. (DST) hat seinen Sitz in Duisburg. Es verfügt über eine umfassende Expertise in allen Fragen der Binnenschifffahrt, ist national und international vernetzt und betreibt zusammen mit dem Schifferberufskolleg Rhein und dem BDB den Schiffsführungssimulator SANDRA. Der Simulator ist besonders geeignet, Vorarbeiten für das autonome Fahren durchzuführen. Insbesondere kann er als Fernsteuerungseinheit und zur Schulung künstlicher Intelligenz eingesetzt werden.

Alle Institute ergänzen sich und haben schließlich zusammen die Kompetenzen bzgl.

- Steuerung autonomer Fahrzeuge,
- Modellierung der Schiffsdynamik
- Positionsbestimmung und Kommunikation der Fahrzeuge/Verkehrsmittel untereinander
- Prognose der Bewegungen der Verkehrsteilnehmer
- Betriebsabläufe im Hafen
- Aufbau verkehrslogistischer und intralogistischer Ablaufszenarien zur Effizienzsteigerung
- Aufbau von logistischen Szenarien, Migration in Anwendungsumgebung und Auswahl geeigneter Komponenten
- Bewertung der Wirtschaftlichkeit
- Entwicklung von Produkt- und Geschäftsmodellen
- Realisierungsbegleitung und Technologieeinführung
- Kommunikation und Koordination mit anderen Ressourcen mithilfe bspw. einer agentenbasierten Software

- Data Driven Logistics (Smart Data, maschinelles Lernen, Nutzung von Sensoren und Integration von Sensordaten)

Die Wasserstraßenverwaltung ist mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt ebenfalls in Duisburg ansässig.

Zusammenfassend kann damit festgestellt werden, dass die Region Rhein-Ruhr nicht nur in wirtschaftlicher und verkehrlich-logistischer Hinsicht den Schwerpunkt der Binnenschiffsaktivitäten in Deutschland und Nordrhein-Westfalen darstellt, sondern auch über eine exzellent aufgestellte Forschungslandschaft verfügt; somit sind an diesem Standort alle notwendigen Voraussetzungen für eine wissenschaftlich fundierte und nachhaltige Entwicklung der für die automatisierte und (teil-)autonome Binnenschifffahrt notwendigen Ansätze und Technologien gegeben.

6.4.2 Vorschlag für ein Kompetenzzentrum

Die Rhein-Ruhr-Region verfügt über alle für die Entwicklung und Erprobung des automatisierten bzw. (teil-)autonomen Fahrens in der Binnenschifffahrt notwendigen Akteure und Expertisen. Sie zu bündeln und zu koordinieren sollte Aufgabe eines zu gründenden Kompetenzzentrums sein. Dabei wird aufgrund der dynamischen Entwicklung bei den konkurrierenden Verkehrsträgern angestrebt, dass das Kompetenzzentrum für die Binnenschifffahrt zeitnah einsatzbereit sein sollte.

Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, das Kompetenzzentrum an eine bereits etablierte, unabhängige Institution anzugliedern. Diese sollte einerseits die erforderliche fachliche Qualifikation, Expertise und Kompetenz aufweisen, mit den relevanten Akteuren auf nationaler aber auch auf internationaler Ebene umfassend vernetzt sein und andererseits über die gebotene Neutralität verfügen.

Aufgrund der vorhandenen wissenschaftlichen Expertise und der intensiven Vernetzung von Wissenschaft, Forschung, Gewerbe und Verwaltung bietet Duisburg ideale Voraussetzungen dafür.

6.4.3 Vorschlag für ein Testfeld

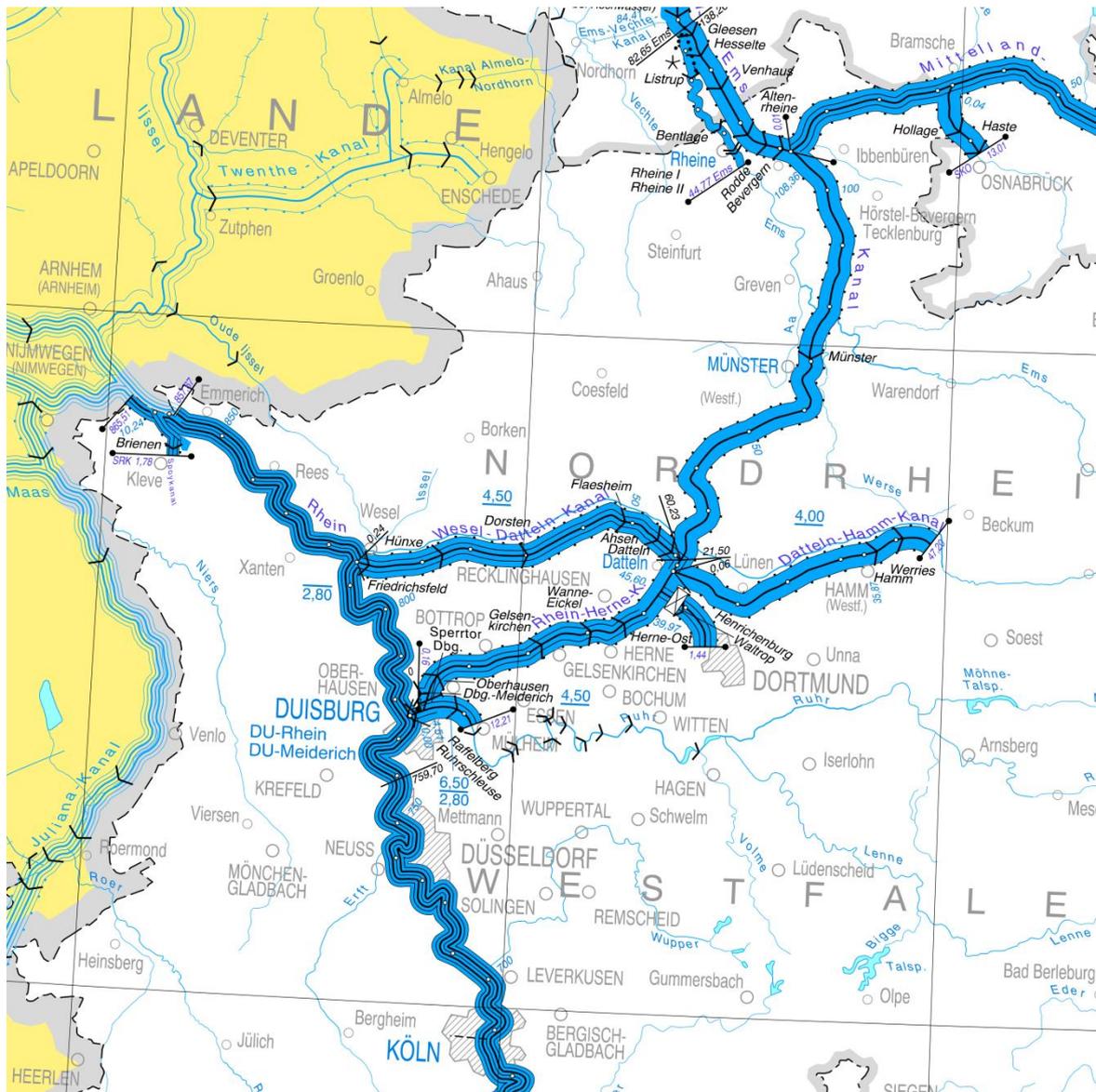
In Bezug auf das angestrebte Testfeld und die hierfür notwendige Infrastruktur verfügt die Region Rhein-Ruhr über Wasserstraßen verschiedener Klassifizierung und unterschiedlicher Verkehrsdichte. Unter Berücksichtigung der unter Kapitel 6.3.3 aufgeführten Kriterien sind viele hiervon aus unterschiedlichen Gründen weniger gut für das vorgesehene Testfeld geeignet:

- Niederrhein und Mittelrhein sind durch deutliche Strömungen und wechselnde Wasserstände sowie durch ein hohes Verkehrsaufkommen einschließlich Fahrspurkreuzungen gekennzeichnet.

- Der Wesel-Datteln Kanal ist navigatorisch moderat, hat jedoch auf seiner gesamten Länge 6 Schleusen. Auch die Verkehrsdichte ist moderat. Durch den Chemiepark Marl ist allerdings ein hoher Anteil an Gefahrguttransporten anzutreffen, was bei Begegnungen ein erhöhtes Risiko darstellen kann.
- Der Rhein-Herne-Kanal verfügt über moderate bis geringe navigatorische Schwierigkeiten. Er hat allerdings auf seiner gesamten Länge von 45 km 7 Schleusen und 21 Häfen. Die Verkehrsdichte ist moderat.
- Mittellandkanal: Die navigatorischen Schwierigkeiten sind moderat bis gering. Im westlichen Teil sind keine Schleusen und keine bedeutenden Häfen zu finden. Die Verkehrsdichte ist moderat.
- Die Ruhr ist staugeregelt; Schiffsverkehr findet nur auf dem letzten Abschnitt zwischen Duisburg und Mülheim statt. Die Verkehrsdichte ist moderat bis gering. Die Häfen sind hier dominant: aufgrund der kurzen Fahrtstrecke würde das autonome Fahren einen Schwerpunkt auf das Manövrieren in den Häfen bekommen.
- Der Datteln-Hamm-Kanal verfügt über moderate bis geringe navigatorische Schwierigkeiten. Die Verkehrsdichte ist moderat. Der Abschnitt zwischen dem Kanalende (Hamm-Schmehausen) und der Schleuse Werries ist nur 7 km lang, so dass eine Fahrzeit von 1 h erreicht wird. Die Häfen sind sehr einfach aufgebaut und erlauben nur einfachste Manövrieren zwischen verschiedenen Hafengebieten.

Dem gegenüber erscheint der Abschnitt des Dortmund-Ems-Kanals zwischen dem Hafen Dortmund und der Schleuse Waltrop unter Berücksichtigung der genannten Kriterien für das angestrebte Testfeld aus folgenden Gründen am besten geeignet:

- Der Streckenabschnitt bietet ausgewogene navigatorische Schwierigkeiten.
- Die Verkehrsdichte ist aufgrund des Charakters als Stichkanal moderat bis gering. Begegnungen können in geringem Maße erprobt werden.
- Es befindet sich nur ein Ölterminal im Testgebiet. Die Gefahr der Kollision mit einem Gefahrgutschiff ist damit gering.
- Der Hafen Dortmund verfügt über eine Reihe von Hafengebieten, in denen verschiedenen Anlegemanöver getestet werden können.
- An der Schleuse Waltrop können Schleusenmanöver getestet werden.
- Die Strecke ist ca. 20 km lang. Dies ermöglicht einerseits eine mehrstündige kontinuierliche Streckenfahrt, andererseits ist der Abschnitt nicht zu lang, um begleitende Maßnahmen an der Landinfrastruktur einzuleiten.



Der Kartenausschnitt¹⁸ zeigt die als Testgebiet infrage kommenden Wasserstraßen.

Es wird deshalb vorgeschlagen, den o.g. Abschnitt des Dortmund-Ems-Kanals zwischen dem Hafen Dortmund und der Schleuse Waltrop für das angestrebte Testfeld und den Testbetrieb zu nutzen und zu entwickeln.

Nach erfolgreicher Erprobung in diesem Testfeld besteht darüber hinaus die Perspektive, den Testbetrieb in andere Kanalabschnitte auszuweiten – schließlich bis hin zum Hafen Duisburg und dem Rhein, der als frei fließendes Gewässer mit einer hohen Verkehrsdichte ganz andere Herausforderungen darstellt.

¹⁸ Ausschnitt aus https://www.wsv.de/service/karten_geoinformationen/bundeseinheitlich/pdf/DBWK1000_2017.pdf

6.4.4 Einbindung weiterer Partner und Initiativen

Der hier vorgeschlagene Ansatz nutzt somit die in der Region Rhein-Ruhr ausgeprägt vorhandenen Strukturen und Netzwerke der Binnenschifffahrt in Gewerbe, Forschung, und Verwaltung, die vorhandene Wasserstraßeninfrastruktur sowie die hier verfügbare, differenzierte Forschungsexpertise nachhaltig. Damit besteht eine solide Grundlage für die Entwicklung und den erfolgreichen Betrieb des angestrebten Testfeldes mit realen Testschiffen.

Das angestrebte „Kompetenzzentrum autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt“ und die jährlichen wissenschaftlichen Konferenzen schaffen gleichzeitig die Voraussetzungen dafür, weitere komplementäre Erfahrungen aus anderen Regionen gewinnbringend in das Netzwerk einzubinden und zu integrieren und damit weitere Synergien zu erschließen. In diesem Kontext sind z. B. die RWTH Aachen mit dem Lehrstuhl von Prof. Abel (Regelungstechnik), führende Unternehmen im Bereich der automatischen Navigation, wie z. B. innovative-navigation GmbH (Kornwestheim), argonics GmbH (Stuttgart) oder weitere Initiativen aus anderen Bundesländern wie z.B. aus Brandenburg, Niedersachsen oder Hamburg anzuführen.

6.4.5 Ausarbeiten von Vorschriften

Das Kompetenzzentrum soll auch alle die Verwaltungen und anderen zuständigen Organisationen (ZKR, CESNI, Donaukommission) bei der Ausarbeitung von Vorschriften für die Zulassung und den Betrieb von autonomen Fahrzeugen unterstützen. Die Vorschriften müssen gleichermaßen die Sicherheit in der Binnenschifffahrt sicherstellen, ein überschaubares Zulassungsverfahren definieren und genug Freiraum lassen, dass technische Entwicklungen nicht verhindert werden. Dabei müssen die Besonderheiten der Binnenschifffahrt (geringe Stückzahlen und individuelle, langlebige Schiffe) berücksichtigt werden. Eine direkte Übernahme der Vorschriften von anderen Verkehrsträgern ist nicht möglich.

6.4.6 Ressourcen für Kompetenzzentrum, Testfeld und Testschiffe

Die vorgesehenen Aufgaben „Kompetenzzentrum“ und „Testfeld“ und die damit verbundenen wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen erfordern die Bereitstellung entsprechender Ressourcen und Mittel.

Wie bereits dargestellt, soll das Kompetenzzentrum die Entwicklung, Koordination und Betreuung des Testfeldes und des Testbetriebs übernehmen. Es soll darüber hinaus die Projektentwicklung und -steuerung von Forschungsprojekten sowie die Netzwerk- und Öffentlichkeitsarbeit im nationalen und internationalen Rahmen wahrnehmen und die jährliche wissenschaftliche Konferenz ausrichten. Hierfür wird ein Bedarf von vier wissenschaftlichen Mitarbeitern kalkuliert. Für die beiden Testschiffe können gebrauchte Trockengüterschiffe mit den genannten Größen- und Ausstattungsmerkmalen

verwendet werden. Für den Kauf der Schiffe wird überschlägig mit jeweils etwa 0,5 Mio. € gerechnet; dazu kommen die Kosten für die erforderlichen Um- und Ausrüstungen.

Vor diesem Hintergrund werden für die Aufgaben des Kompetenzzentrums einschließlich des Testfeldes nach überschlägiger Schätzung Ressourcen in Höhe von im Mittel ca. 1 bis 1,5 Mio €/Jahr veranschlagt. Bei einer angenommenen Dauer von zunächst rund 10 Jahren ergibt sich damit ein Gesamtbetrag von ca. 10 bis 15 Mio. €. Darin sind eingeschlossen die Kosten für Erwerb, Ausrüstung und Betrieb (einschließlich Wartung und Reparatur) der Testschiffe, die Kosten für das Personal, das die Aufgaben des Kompetenzzentrums übernimmt, sowie alle weiteren Ausgaben für die Durchführung von Workshops, Konferenzen oder Öffentlichkeitsarbeit. In diesem Zeithorizont wird erwartet, dass die Technik zum autonomen Fahren einen praxistauglichen Stand erreicht hat.

Durch die angestrebte Nutzung sowohl der Schiffe als auch des Testfeldes nicht nur für das autonome Fahren, sondern auch für andere Forschungsprojekte werden substanzielle Synergieeffekte erwartet. In diesem Kontext ist z. B. die Flottenmodernisierung bzw. die Umrüstung der Schiffsantriebe auf sauberere und emissionsärmere Kraftstoffe und Technologien, wie z. B. Elektroantriebe zu nennen.

Gleichzeitig kann sich der Standort Nordrhein-Westfalen durch diesen Ansatz zur Pilotregion in der Entwicklung und Implementierung innovativer und zukunftsorientierter Technologien weiterentwickeln und seine nationale und internationale Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig stärken. Er kann darüber hinaus weitere Forschungs- und Innovationspartner anziehen, z.B. durch Spill-Over Effekte auf andere Forschungsfelder. Hierdurch wird ein Mehrwert in Form von Investitionen und Arbeitsplätzen deutlich über die investierten Forschungsbeträge hinaus generiert.

6.4.7 Zeitplan

Aufgrund des intensiven Wettbewerbs zwischen den Verkehrsträgern wird ein zügiger Beginn der nötigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum automatisierten und (teil-)autonomen Fahren in der Binnenschifffahrt angestrebt. Erste Forschungsprojekte werden schon beantragt (DST und Universität Duisburg-Essen), weitere sind in Vorbereitung (DST und RWTH Aachen).

Dabei ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Testfeldes eine wichtige Voraussetzung für den Test und die Demonstration der verschiedenen Schritte des automatisierten bzw. (teil-)autonomen Fahrens; erste Test- und Demonstrationsfahrten bereits in 3 Jahren werden erwartet. Aufgrund der notwendigen administrativen und technischen Vorlaufzeiten ist somit eine zügige Entscheidung zur Festlegung und Ausweisung eines Testfeldes angezeigt. Dieses soll über einen Zeitraum von zunächst rund 10 Jahren betrieben werden.

7 Zusammenfassung

Die Wasserstraßen haben für NRW eine sehr große verkehrliche Bedeutung. Rund 25% aller Gütermengen werden mit dem Binnenschiff transportiert. Um die Wettbewerbsfähigkeit des Systems Wasserstraße zu stärken, muss die Binnenschifffahrt im Wettbewerb mit den anderen Verkehrsträgern insbesondere der Straße und der Schiene weiter mithalten.

Sowohl auf der Straße wie auch auf der Schiene werden derzeit verstärkt Anstrengungen zur Automatisierung bzw. Autonomisierung der Fahrzeuge unternommen. Auch für die Binnenschifffahrt bietet das autonome Fahren erhebliche Potenziale, wie die vorliegende Studie zeigt.

Mit der Entwicklung des automatisierten und (teil-)autonomen Fahrens in der Binnenschifffahrt werden vor allem folgende Chancen verbunden:

- Assistenzsysteme und Systeme zum automatisierten Fahren entlasten das nautische Personal und entschärfen den Fachkräftemangel.
- Dies eröffnet die Chance, die Kosten zu senken und auch kleine Partigrößen mit kleineren Schiffen wirtschaftlich zu transportieren. Damit wird die Innovationskraft der Binnenschifffahrt gestärkt.
- Es wird erwartet, dass diese Technologie dazu beitragen kann, Unfälle infolge menschlichen Versagens zu vermeiden und das Sicherheitsniveau weiter zu erhöhen.
- Die mit dem autonomen Fahren einhergehende Digitalisierung und Vernetzung schafft die Voraussetzungen für eine bessere Verknüpfung der Verkehrsträger zu intermodalen und integrierten Transportketten sowie für eine Transparenz der Verkehrsströme.
- Gleichzeitig eröffnen zunehmende Automatisierungen die Chance, Prozesse und Dienstleitungen neu zu strukturieren und dabei auch die Häfen aktiv einzubinden. Die Frage, wie landseitige Dienstleistungen anders organisiert werden können, schafft das Potenzial vor allem für die Häfen, möglicherweise neue Dienstleistungen zu etablieren.

Vor allem die Chance, durch die Automatisierung auch kleinere Schiffe wettbewerbsfähig betreiben zu können, wird als sehr wertvoll eingestuft. Das Feedern von Gütern mittels kleinerer Schiffseinheiten zu größeren Umschlag hubs könnte gerade für das Ruhrgebiet und die Unternehmen in der Region besonders attraktiv sein. Mit automatisiertem Umschlag und autonomen kleineren Schiffseinheiten steigt die Attraktivität, Güter, die in großen Schiffs-

einheiten auf dem Rhein transportiert werden, für die Fahrt in die Kanäle, z. B. Rhein-Herne-Kanal und Wesel-Datteln-Kanal, erneut umzuschlagen.

Welche Hemmnisse für die Automatisierung der Binnenschifffahrt gibt es?

Im Unterschied zum LKW wird die Entwicklung zum autonomen Fahren der Binnenschifffahrt nicht durch die Fahrzeughersteller vorangetrieben. Auch die Partikuliere oder Reedereien verfügen in der Regel nicht über die erforderliche Marktmacht und die notwendigen finanziellen Ressourcen, um eine auf mehrere Jahre angelegte Intensivierung der Forschungsarbeit leisten zu können. Auch verfügen sie über keinerlei F&E-Kapazitäten. Hinzu kommt, dass die Branche aufgrund der hohen Lebenszeit der Motoren und des Schiffsraums mit den sehr viel kürzeren Entwicklungszyklen im LKW-Segment nicht Schritt halten kann. Die Innovationsprozesse bedürfen daher externer Impulse und einer Forschungsförderung.

Wie könnte eine Förderung aussehen?

Um die Entwicklungszeiten zu verkürzen und marktfähige Lösungen durch Hochschul- und Forschungseinrichtungen zu entwickeln, erscheinen drei Dinge zwingend notwendig zu sein:

1. Die verstärkte Bündelung der Kompetenzen und das Zusammenführen von verschiedenen Forschungsdisziplinen.
2. Die Einrichtung eines Testfeldes für autonom fahrende Binnenschiffe.
3. Die verstärkte Zusammenarbeit mit internationalen Forschungsteams, z. B. aus den Niederlanden, Ungarn oder Norwegen.

Bündelung der Kompetenzen

Für die Vernetzung und Kooperation der notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wird die Einrichtung eines **„Kompetenzzentrums Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt“** vorgeschlagen. Dieses Kompetenzzentrum soll neben den genannten Funktionen auch den Testbetrieb mit realen Testschiffen vorbereiten, entwickeln, koordinieren und betreuen. Es soll im Weiteren eine jährliche wissenschaftliche Konferenz zum automatisierten bzw. autonomen Fahren in der Binnenschifffahrt ausrichten, die Öffentlichkeitsarbeit übernehmen und dabei als internationale Schnittstelle fungieren. Da das Kompetenzzentrum zeitnah einsatzbereit sein sollte, wird vorgeschlagen, es an eine qualifizierte, bereits etablierte Institution anzugliedern, die über die gebotene Neutralität verfügt.

Testfeld

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Einrichtung eines real existierenden Forschungsraumes, in dem unter kontrollierten Bedingungen Versuche zur Automatisierung des Fahrens, des Manövrierens, des Umschlages und anderer mit dem Transport auf der Wasserstraße verbundenen Vorgänge ausprobiert und auch demonstriert werden können, besonders geeignet erscheint, um die Entwicklung des autonomen Fahrens zu beschleunigen. Das Testfeld trägt dazu bei, dass Fachwissen in verstärktem Maße aufgebaut wird, um international wettbewerbsfähige Lösungsansätze zu entwickeln.

Außerdem zieht das Testfeld Unternehmen und Forschungseinrichtungen an, die Teilelemente des autonomen Fahrens entwickeln und ausprobieren möchten. Das Testfeld wirkt integrierend für die verschiedenen Forschungsdisziplinen wie Maschinenbau, Sensorik, Navigation oder Logistik. Es entwickelt für die Region zusätzlich eine Ausstrahlungs- und Anziehungskraft, von der auch die bestehenden Universitätsstandorte profitieren werden.

Vor diesem Hintergrund scheint es in hohem Maße geeignet, um positive Impulse für die Wettbewerbsfähigkeit des Systems Wasserstraße zu entwickeln.

Internationale Zusammenarbeit

Das autonome Fahren ist in allen europäischen Ländern, in denen die Binnenschifffahrt eine wahrnehmbare Rolle spielt, ein aktuelles Forschungsthema. In dem auf Horizon 2020 folgende Forschungsprogramm der EU wird das Thema automatisiertes Fahren eine wesentliche Rolle spielen. Bereits jetzt gibt mit Novimar ein europäisches Forschungsprojekt, das sich mit dem teilautomatisierten Fahren beschäftigt. Das Testfeld kann somit in den folgenden Forschungsprojekten auch im europäischen Rahmen eine bedeutende Rolle spielen.

Ebenso ist die geplante Konferenzreihe international ausgelegt und soll dem Austausch und der Zusammenarbeit der Forschung dienen.

Einrichtung eines Testfeldes Rhein-Ruhr

Die Region Rhein-Ruhr verfügt über hervorragende Voraussetzungen für die Implementierung eines Testfeldes.

Hierzu gehören neben einer differenzierten Wasserstraßen- und Hafeninfrastruktur sowohl namhafte Schiffsbetreiber und -ausrüster als auch Forschung und Lehre in Form zahlreicher Institute und Lehrstühle verschiedener Disziplinen, die für die Entwicklung des autonomen Fahrens unabdingbar sind. In der Region sind die Voraussetzungen gegeben, unter realen Bedingungen zu testen sowie das Testfeld systematisch auf größere Hafenareale und die Flussfahrt zu erweitern. Zudem sind in der Region das Fachwissen, die Fracht und das Interesse der verladenden Wirtschaft vorhanden.

Für das **Testfeld**, welches eine Erprobung des autonomen Fahrens unter Realbedingungen ermöglichen soll, gelten für den ersten Entwicklungsschritt folgende Anforderungen:

- Die navigatorischen Eigenschaften sollten moderat sein. Vor allem sollten Strömungen und stark wechselnde Wasserstände wie bei frei fließenden Flüssen, die zu einer Verlagerung der Fahrrinne führen, vermieden werden. Diese Anforderungen werden von Kanälen mit standardisierten Querschnitten erfüllt. Dabei dürfen Engstellen und auch Schleusen vorkommen.
- Auch die Verkehrsdichte sollte gering bis moderat sein. Begegnungs- und Überholmanöver sollten jedoch vorkommen.
- Gefahrgutverkehre sollten möglichst nicht stattfinden. Autonom gefahrene Begegnungs- und Überholmanöver mit Gefahrgutschiffen (Tankern) sollten vermieden werden.
- Im Testfeld sollte sich mindestens ein Hafen befinden, so dass An-, Ab- und Wendemanöver gefahren werden können. Beim vollständig autonomen Schiff muss eine Vorrichtung zum automatischen Festmachen installiert werden.

Die Region Rhein-Ruhr verfügt über Wasserstraßen verschiedener Klassifizierung sowie unterschiedlicher Verkehrsdichte und Eignung für das geplante Testfeld. Als erstes Testfeld eignet sich am besten auf dem **Dortmund-Ems-Kanal** der **Abschnitt zwischen dem Hafen Dortmund und der Schleuse Waltrop**. Darüber hinaus verfügt der Hafen Dortmund über mehrere Hafenbecken, in denen verschiedene Anlegemanöver getestet werden können; an der Schleuse Waltrop können Schleusenmanöver getestet werden. Die Strecke ist ca. 20 km lang; dies ermöglicht einerseits eine mehrstündige kontinuierliche Streckenfahrt, andererseits ist der Abschnitt nicht zu lang, um die Landinfrastruktur entsprechend auszurüsten. Dieser Abschnitt wird deshalb für das Testfeld vorgeschlagen.

Perspektivisch kann das Testfeld in einem nächsten Entwicklungsschritt auf eine andere Wasserstraße mit höheren Anforderungen ausgeweitet werden. Es bietet sich an, das Testgebiet später nach Westen hin zum Rhein und Hafen Duisburg auszuweiten. Im Hafen Duisburg können komplexere Manövrierszenarien getestet werden. Schließlich stellt der Rhein als natürlicher Fluss mit seinem hohen Verkehrsaufkommen, starker Strömung und wechselnden Wasserständen die höchste Anforderung an das automatisierte Fahren.

Simulationsmöglichkeiten

Ähnlich wie im Automobilsektor wird die Automatisierung der Schifffahrt in Stufen verlaufen. Nach den vielfach bereits eingesetzten Assistenzsystemen ist die Fernsteuerung von Schiffen ein realistischer nächster Schritt. Auch

hierfür bietet die Region Rhein-Ruhr mit dem Flachwasserfahrersimulator SANDRA ideale Voraussetzungen: Teile des Flachwasserfahrersimulators können verwendet werden, um Schiffe fernzusteuern. Der Flachwasserfahrersimulator ist auch geeignet, um die für die autonome Steuerung erforderliche künstliche Intelligenz zu schulen und weiterzuentwickeln. Auf diese Weise wird die Einrichtung eines Testfeldes und eines Kompetenzzentrums Impulse auch für die Weiterentwicklung des Flachwassersimulators und damit für die Schulung und Ausbildung von Fachkräften sowie die Entwicklung neuer Schiffstypen liefern.

Zeitplan

Da die ersten Forschungsprojekte schon beantragt werden und weitere in Vorbereitung sind, sind bereits in rund **3 Jahren** erste Test- und Demonstrationsfahrten geplant. Weitere Forschungsanträge sind in Vorbereitung und werden Anfang 2019 eingereicht. Aufgrund der notwendigen administrativen und technischen Vorlaufzeiten ist somit eine zügige Entscheidung zur Festlegung und Ausweisung eines Testfeldes angezeigt.

Eine erste Konferenz zum Thema „Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt“ im Frühjahr 2019 in Duisburg wird bereits vorbereitet.

Ressourcen

Die vorgesehenen Aufgaben „Testfeld“ und „Kompetenzzentrum“ und die damit verbundenen wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen erfordern die Bereitstellung entsprechender Ressourcen und Mittel.

Konkret wird für die beiden Testschiffe davon ausgegangen, dass gebrauchte Trockengüterschiffe mit geeigneten Größen- und Ausstattungsmerkmalen verwendet werden können. Für den Kauf der Schiffe wird überschlägig mit jeweils etwa 0,5 Mio. € gerechnet; hinzu kommen die Kosten für die erforderlichen Um- und Ausrüstungen und den Betrieb (einschließlich Wartung und Reparaturen). Für das Kompetenzzentrum wird ein Bedarf von vier wissenschaftlichen Mitarbeitern kalkuliert.

Vor diesem Hintergrund werden für die Aufgaben „Testfeld“ und „Kompetenzzentrum“ nach überschlägiger Schätzung Ressourcen in Höhe von **im Mittel ca. 1 bis 1,5 Mio. €/Jahr** veranschlagt. Aufgrund der notwendigen Investitionen für den Erwerb der Schiffe sowie für die Ausrüstung von Schiffen und Infrastruktur mit der erforderlichen Technik dürften die Kosten zu Beginn eher am oberen Ende der Spanne liegen. Dabei wird von einer Betriebsdauer von zunächst **rund 10 Jahren** ausgegangen.

Synergieeffekte

Durch die angestrebte Nutzung sowohl der Schiffe als auch des Testfeldes nicht nur für das autonome Fahren, sondern auch für andere Forschungsprojekte werden substanzielle Synergieeffekte erwartet. In diesem Kontext ist z. B. die Flottenmodernisierung bzw. die Umrüstung der Schiffsantriebe auf sauberere und emissionsärmere Kraftstoffe und Technologien, wie z. B. Elektroantriebe zu nennen.

Gleichzeitig kann sich der Standort Nordrhein-Westfalen durch diesen Ansatz zur Pilotregion in der Entwicklung und Implementierung innovativer und zukunftsorientierter Technologien weiterentwickeln und seine nationale und internationale Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig stärken. Er kann darüber hinaus weitere Forschungs- und Innovationspartner anziehen, z.B. durch Spill-Over Effekte auf andere Forschungsfelder. Hierdurch wird ein Mehrwert deutlich über die investierten Forschungsbeträge hinaus generiert.