



Dieter Schramm (oben), Frédéric Kracht (unten). Fotos: Daniel Schumann

Im Rahmen der Forschungsstrategie „SmartShipping“ treibt die Universität Duisburg-Essen zusammen mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie die Automatisierung im Bereich der Binnenschifffahrt voran. Hier orientiert man sich zum Teil an technischen Lösungen der Kraftfahrzeugtechnik zu Lande. Im Detail existieren jedoch, beispielsweise hinsichtlich Fahrphysik und Verkehrsweggestaltung, auch deutliche Unterschiede.

Automatisiert und umweltfreundlich fahren zu Lande und auf dem Wasser

Forschungsstrategie für den Ausbau der
Automatisierung innerhalb des straßengebundenen
Verkehrs sowie der (Binnen)-Schifffahrt

Von Maximilian Jarofka, Frédéric Etienne Kracht & Dieter Schramm

Bei Kraftfahrzeugen haben sich Assistenzsysteme bis hin zu hochautomatisierten Fahrfunktionen in den letzten Jahren in großem Umfang etabliert. Ebenso ist in diesem Bereich die Standardisierung weit fortgeschritten. Getragen wird diese Entwicklung einerseits durch das Bestreben, die Sicherheit im Fahrzeugverkehr drastisch zu erhöhen, indem menschliche Fahrfehler weitgehend vermieden werden. Auf der anderen Seite werden diese Systeme als Mittel beworben, den Fahrkomfort zu erhöhen und gleichzeitig zeitliche Freiräume für Tätigkeiten abseits der eigentlichen Fahraufgabe zu schaffen. Auch bei Binnenschiffen gibt es seit vielen Jahren realisierte Ansätze, die Tätigkeit des Schiffsführungspersonals durch Assistenzsysteme zu unterstützen, die jedoch, ebenso wie beim Kraftfahrzeug, von der Realisierung einer vollautomatischen Schiffsführung noch weit entfernt sind. Bei allen Gemeinsamkeiten der Automatisierung dieser unterschiedlichen Verkehrssysteme, die sich auch in offenbar ähnlichen Standardisierungsansätzen niederschlagen (Abb. 1), gibt es doch auch wesentliche Unterschiede. Diese betreffen einerseits die fahrphysikalischen Unterschiede der Fahrzeuge, aber auch die unterschiedlichen Intentionen, die der Automatisierung zugrunde liegen. So wird zwar in beiden Fällen einer Erhöhung der Sicherheit durch die Eliminierung von Fahrfehlern durch den Menschen angestrebt. Steht jedoch bei Kraftfahrzeugen, zumindest im Bereich der Personenkraftfahrzeuge, die oben erwähnte Komfortsteigerung, aber auch die Reduzierung von Staus im Fokus, so wird die Entwicklung beim Binnenschiff eher durch wirtschaftliche Effekte, wie dem Mangel an Arbeitskräften im Bereich der Schiffsführung durch den demographischen Wandel, Kosten und Güterstruktureffekte beeinflusst.

Getrieben durch schärfere Abgasnormen und den Wunsch, lokal emissionsfrei fahren zu können,

setzt sich die Elektromobilität im Kfz immer mehr durch. Weiterhin wird an alternativen Antrieben wie Brennstoffzellenfahrzeugen geforscht. Auch in der Binnenschiffahrt sollen die Emissionen weiter reduziert werden. Bedingt durch den größeren Raum für Speichermedien unterschiedlicher Art, vereinfacht das Binnenschiff den Einsatz der erforderlichen Energiespeicher erheblich.

Historie

Die Geschichte der Binnenschiffahrt reicht deutlich weiter zurück als die des Kraftfahrzeugs. So verwendeten die Ägypter Schiffe auf dem Nil bereits in der prädynastischen Zeit (ca. 4000–3032 v. Chr.), um Handel zu betreiben und verschiedenste Güter oder Personen zu transportieren. Größere Boote wurden dabei über Land gezogen. Wesentlich später werden die ersten Schiffe auf dem Rhein erwähnt. So wurden um das Jahr 50 v. Chr. Menschen und Güter auf Flößen transportiert². Anfangs war das Binnenschiff noch auf Segel, Ruder, Staken (Stocherstangen) oder Treideln (Schiffziehen vom Land aus) für die Fortbewegung angewiesen. Die Erfindung der Dampfmaschine Ende des 18. Jahrhunderts hat auch die Binnenschiffahrt revolutioniert. Im Jahr 1910 wurde dann der erste Dieselmotor in einem Binnenschiff eingesetzt, welcher sich dann immer mehr etablierte.

Das Automobil wurde deutlich später erfunden, hat aber eine ähnliche Entwicklung der Antriebsmaschinen wie das Binnenschiff durchgemacht. So erbaute der Franzose Nicholas Cugnot 1769 einen Dampfwagen, welcher der erste Wagen war, der aus eigener Kraft fortbewegt wurde. Das erste moderne Automobil wurde im Jahr 1886 vom deutschen Erfinder Carl Benz erfunden und als Motordreirad „Benz Patent-Motorwagen Nummer 1“ zum Patent angemeldet. In automobilen Anwendungen wurde der Dieselmotor sogar bereits im Jahr 1898,

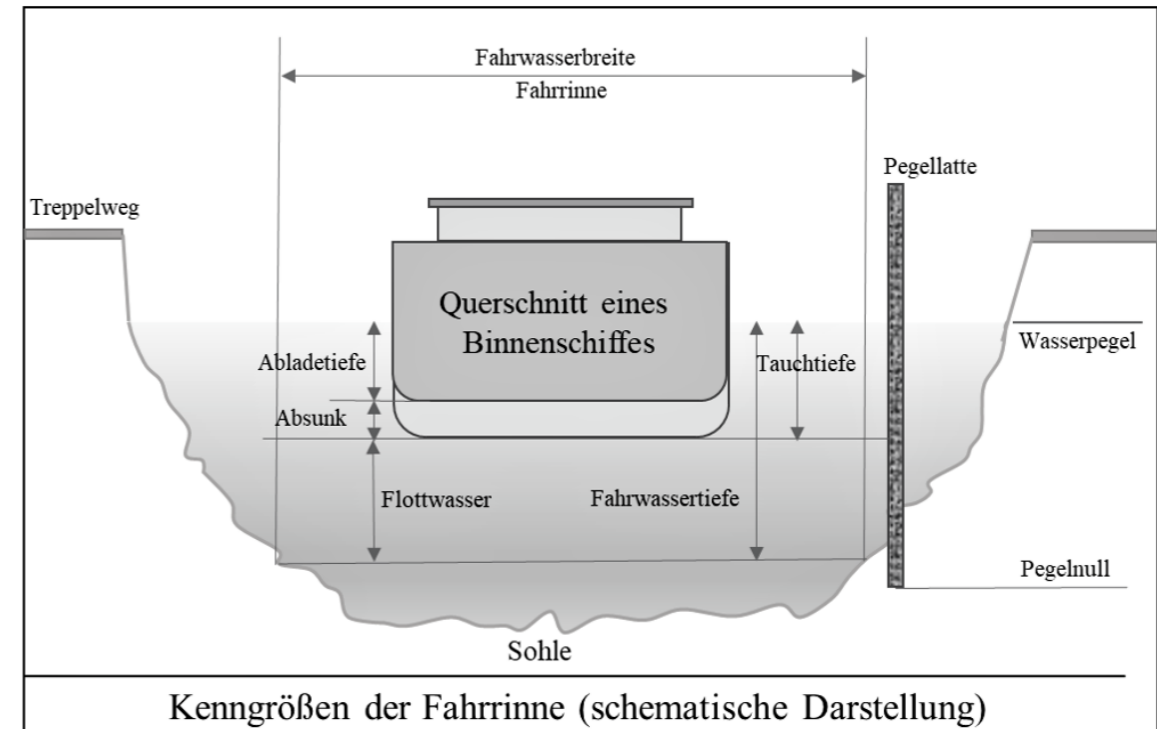
ausgeführt als Zweizylinder-Viertaktmotor, vor dem Binnenschiff eingesetzt. Für beide Verkehrsträger wurden somit im Rahmen ihrer Industrialisierung ähnliche Technologien eingesetzt.

Besonders ab 1950 hat sich die Binnenschiffahrt sehr gewandelt. Statt großen Schleppzügen kamen Schubverbände zum Einsatz, die weniger Betriebspersonal benötigen. Mit den Jahren wurden die in Betrieb genommenen Schiffe auch immer größer, sodass heute Schiffe auf dem Rhein mit einer Länge von bis zu 135 Metern und einer Breite von 17,5 Metern verkehren. Seit den 1970er Jahren werden auch Container auf Binnenschiffen transportiert.

Auch das Auto hat sich in den über hundert Jahren sehr gewandelt. Dies betrifft alle Bereiche von Motor und Fahrleistungen bis hin zu Fahrwerk, Karosserie, Ausstattung und vielen weiteren Bereichen. Vor allem in den letzten Jahrzehnten fand die Digitalisierung immer mehr Einzug in das Auto. Von der Integration von Informationselektronik, wie Navigationssysteme, Optimierung der Motorsteuerung, der Einführung von Fahrerassistenzsystemen und zukünftig auch Steer-by-Wire und Brake-by-Wire Systemen bis hin zum autonomen Fahren wird immer mehr Digitaltechnik verwendet. Ähnlich sieht es auch in der Binnenschifftechnik aus, wobei aufgrund geringerer Stückzahlen, die technische Entwicklung deutlich langsamer verläuft. Digitaltechnik wie Radar, GPS, elektronische Karten, Schiffsfunk und Autopilot sind bei neuen Schiffen heute allerdings bereits Standard. Das Marktvolumen für Digitalisierung im Schiffbau im Jahr 2019 betrug 591,63 Millionen US-Dollar. Dieses Volumen soll gemäß Prognosen im Jahr 2027 auf 2.736,57 Millionen US-Dollar steigen.³ Es zeigt sich somit, dass sowohl auf asphaltierten Straßen, ebenso wie auf Wasserstraßen, große Veränderungen realisiert wurden und weitere noch bevorstehen.

| Stufe | Bezeichnung | Schiffsführung | Überwachung | Rückfallebene | Fernsteuerung |
|-------|----------------------------|----------------|-------------|---------------|---------------------------|
| 0 | Keine Automatisierung | | | | nein |
| 1 | Steuerungsunterstützung | | | | |
| 2 | Teilautomatisierung | | | | Je nach Anwendung möglich |
| 3 | Bedingte Automatisierung | | | | |
| 4 | Erweiterte Automatisierung | | | | |
| 5 | Vollautomatisierung | | | | |

(1) Automatisierungsgrade im Bereich der Schifffahrt
 Quelle: ZKR, Automatisierung der Navigation – Definition der verschiedenen Automatisierungsgrade in der Binnenschiffahrt – https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Automatisation-Nav/NoteAutomatisation_de.pdf. 2020, ZKR Zentralkommission für die Rheinschiffahrt.



(2) Querschnitt durch eine Wasserstraße
 Quelle: eigene Darstellung

Forschungsstrategie

Die zwei großen Veränderungen und die damit verbundenen Forschungsfelder sind in der Fahrzeugtechnik die Elektromobilität auf der einen und die Automatisierung auf der anderen Seite. Hierbei sind die Treiber der Entwicklung bei Kraftfahrzeugen die lokal erreichbare Emissionsfreiheit und der Wunsch, den Menschen von der primären Fahraufgabe zu entlasten und dadurch nach Möglichkeit die Fahrsicherheit zu erhöhen. Im Bereich der Binnenschifffahrt wird der Trend der Entwicklung durch die Entwicklung der Transportlogistik dominiert. Die Veränderung der Transportarten hin zu containerisierter Ladung in kleineren Losgrößen (Güterstruktureffekt) erfordert zunehmend eine Anpassung der Flottenzusammensetzung durch kleine, flexibler einsetzbare Schiffseinheiten. Der daraus resultierende Bedarf an mehr Schiffspersonal verschärft den bereits heute bestehenden Mangel an qualifiziertem Betriebspersonal weiter. Darüber hinaus stellt der demografische Wandel weiterhin eine Herausforderung dar.⁴

Auf der anderen Seite ist zu beobachten, dass die konkurrierenden, bereits heute überausgelasteten Verkehrsträger Straße und Schiene die Entwicklung des automatisierten Fahrens vorantreiben. Durch die zu erwartenden Personaleinsparungen kann der bereits bestehende Kostenvorteil gegenüber der Binnenschifffahrt, die als einziges und sehr effizientes Transportmittel noch über freie Kapazitäten verfügt, weiter vergrößert werden. Als logische Konsequenz muss daher die Automatisierung gerade auch in der Binnenschifffahrt vorangetrieben werden. Durch den Einsatz von Assistenz- und (Teil-) Automatisierungsfunktionen könnten die Fahrzeiten von Schiffen, die heute im A1/A2-Modus (14/18 Stunden tägliche Fahrzeit) fahren, bei gleicher Besatzungsstärke verlängert

werden – verbunden mit einer Reduzierung der Personalkosten. Schiffe, die heute schon im B-Modus (Dauerbetrieb) fahren, könnten mit weniger Personal auskommen, was den Fachkräftemangel teilweise kompensieren würde. Schließlich könnten am Ende der Entwicklung Schiffe autonom und damit ohne Schiffsführungspersonal fahren, wodurch auch sehr kleine Schiffseinheiten (z.B. Container-Shuttles, City-Logistik auf Wasserstraßen) rentabel betrieben werden könnten. Forschungsergebnisse im Bereich der autonomen Seeschifffahrt deuten darauf hin, dass technologische Weiterentwicklungen in der Schifffahrt zu den genannten Vorteilen führen können.⁵

Die automatisierte Navigation von Binnenschiffen wird im Projekt AutoBin – Autonomes Binnenschiff – Simulation und Demonstration von automatisiertem Fahren in der Binnenschifffahrt (Förderkennzeichen: EFRE-0801714 – www.autobin.de) adressiert.

Ein weiterer Ansatz zur Linderung des Fachkräftemangels ist die Anpassung der Arbeitszeiten des Schiffsführungspersonals an die Lebenspläne junger Menschen, um so den Beruf wieder attraktiver zu machen. Wenn Schiffe ferngesteuert werden, kann das Schiffsführungspersonal seinen Aufgaben in Form regulärer Bürojobs nachgehen und das Schiff im Drei-Schicht-Betrieb von Land aus gesteuert werden. Entsprechende Forschungsthemen werden im Rahmen des Verbundprojekts FernBin (Ferngesteuertes, koordiniertes Fahren in der Binnenschifffahrt – Förderkennzeichen: 03SX506F – www.fernbin.de, finanziert durch das BMWI, heute BMWK), erprobt. Im Rahmen des Teilprojekts werden Verfahren zur Fernsteuerung von Binnenschiffen sowie Assistenzsysteme für die ferngesteuerte Navigation entwickelt, validiert und implementiert. Dazu wird das im Jahr 2020 in Betrieb genommene Test- und Kontrollzentrum VeLABi (www.velabi.de) zentral genutzt, das in diesem

Artikel beschrieben wird. Neben der virtuellen Darstellung von Testgebieten ist auch die Simulation des umgebenden Binnenschiffsverkehrs basierend auf Verkehrsflusssimulationen möglich. Innerhalb der Teilprojekte werden Methoden zur Fernsteuerung von Binnenschiffen sowie Assistenzsysteme für die ferngesteuerte Navigation entwickelt, validiert und implementiert. Die gesamte Forschungsstrategie ist in Abbildung (2) dargestellt.

Voraussetzungen und Ziele der Automatisierung

Sowohl in der Automobil- als auch der Schiffsindustrie existieren bereits seit Jahren Standards für Automatisierungsstufen.¹ Ein Entwurf für eine internationale Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt zeigt Abbildung (1). Der in der Kraftfahrzeugtechnik bereits seit einigen Jahren vorhandene Standard ist zum Beispiel bei Schramm⁶ nachzulesen. Der Aufbau der Standards in beiden Bereichen ist sehr ähnlich und enthält jeweils fünf Automatisierungsgrade. Trotz der ähnlichen Strukturierung der Automatisierungsgrade gibt es gleichwohl große Unterschiede bei den Treibern dieser Entwicklungen. Im Bereich der Automobiltechnik wird heute hauptsächlich über den Bereich des Individualverkehrs diskutiert. Hier stehen Vorteile wie der Gewinn von Komfort und die für fahrfremde Tätigkeiten gewonnene Zeit im Vordergrund.

Ganz anders ist die Situation in der Schifffahrt auf Binnengewässern. Hier stehen, allein schon wegen der durch den Güterverkehr geprägten Nutzung von Schiffen, andere Themen im Vordergrund.

Bereits in der Zielsetzung der Automatisierung bei den beiden Verkehrsträgern lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Bei Straßenfahrzeugen soll durch die voranschreitende Automatisierung vor allem die Sicherheit und der

Komfort für die Passagiere weiter gesteigert werden. Leitlinie bei der Sicherheit ist hier unter anderem die sogenannte „Vision Zero“, deren Grundlage die These ist, dass Menschen Fehler machen. Systeme im Arbeitsschutz, aber auch in der Mobilität müssen daher so gestaltet werden, dass diese Fehler von vorneherein verhindert werden, zumindest aber keine fatalen Auswirkungen haben.

Die Automatisierungsstufen 1 und 2 sind heute in vielen Serienfahrzeugen als Grund- oder Sonderausstattung verfügbar. Hier liegt die Verantwortung vollständig bei der fahrzeugführenden Person, die das Fahrgeschehen überwachen und dies in der Regel während der Fahrt bestätigen muss. Bei der Stufe 3 übernimmt ein Fahrzeugführungssystem in der Regel die vollständige Kontrolle über das Fahrzeug. Erst in Situationen, die systemseitig nicht mehr beherrschbar sind, erfolgt eine Aufforderung an den fahrzeugführenden Menschen, die Kontrolle wieder zu übernehmen.

Durch eine Automatisierung nach den Stufen 4 und 5 sind keine menschlichen Lenkeingriffe mehr erforderlich, beziehungsweise möglich und alle Passagiere können sich vollständig anderen Aufgaben widmen, da sie nicht mehr an der Fahrzeugführung beteiligt sind. In Stufe 5 fehlen schließlich auch alle Eingriffsmöglichkeiten wie Lenkrad und Fahr- und Bremspedal. Die aktuell in Serienfahrzeugen verfügbaren Assistenzsysteme sind derzeit maximal der Stufe 2 der Einteilung zuzuordnen. Systeme der Stufe 3 sind zwar in Entwicklung, haben derzeit aber noch keine Serienreife und keine Straßenzulassung. Hier kommt als Komplikation hinzu, dass bei einem Systemabwurf, zum Beispiel bei einer Verkehrssituation, die von dem System nicht mehr beherrscht werden kann, die Kontrolle über das Fahrzeug innerhalb eines kurzen Zeitfensters wieder übernommen werden muss.

Automatisierung ist nicht gleich Automatisierung

Während die bisher im Bereich der Schifffahrt definierten fünf Automatisierungsstufen denen im Automobilbereich durchaus ähneln, ergeben sich deutliche Unterschiede bei der Motivation für die Integration derartiger Systeme. In beiden Fällen ist eine Intention die Senkung des Betriebsrisikos durch die Vermeidung von Risiken, die durch menschliches Fehlverhalten verursacht werden. Hingegen dient im Gegensatz zu den Unterstützungs- und Automatisierungssystemen im Kraftfahrzeug die Automatisierung von (Binnen-)Schiffen primär nicht auch der Erhöhung des Komforts für das Schiffspersonal, sondern der Senkung der Kosten für den Transport von Gütern, unter anderem durch die Einsparung von Personalkosten. Hinzu kommt als weiterer Antrieb die Tatsache, dass sich im Bereich der Binnenschifffahrt ein erheblicher Personalmangel bei Schiffsbesatzungen aufgebaut hat. Anders als im Bereich der Kraftfahrzeuge werden bei Binnenschiffen auch Lösungen betrachtet, die auf einer (ggf. teilweisen) Fernsteuerung der Fahrzeuge beruhen.

Betrachtet man nun das jeweilige industrielle Umfeld, so sind weitere erhebliche Unterschiede festzustellen:

Während derzeit zum Beispiel in Deutschland jährlich etwa 3,5 Millionen Kraftfahrzeuge, darunter ungefähr 300.000 Lkw, neu zugelassen werden, sind die Zahlen bei der Zulassung neuer Binnenschiffe ganz erheblich geringer und bewegen sich zwischen 40 und 70 Stapelläufen pro Jahr. Dies schlägt sich in den Umsätzen nieder. So erreicht zum Beispiel der VW-Konzern im Mittel einen Gesamtumsatz von circa 90 Milliarden Euro, während im gesamten Bereich der Binnenschiffe weniger als 250 Millionen Euro pro Jahr umgesetzt werden könnten. Hinzu kommt ein signifikanter Unterschied beim Alter der im Verkehr

befindlichen Fahrzeuge. Während das durchschnittliche Alter eines Lkw in Deutschland heute bei etwa acht Jahren liegt, erreichen Binnenschiffe Betriebsdauern von teilweise mehr als 60 Jahren. In der Folge sind auch die Innovationszyklen der aktiven Fahrzeuge stark unterschiedlich. Dies wirkt sich so aus, dass alle vier bis sechs Jahre eine neue Generation von Kraftfahrzeugen in den Verkehr geht und diese Fahrzeuge bisher in der Regel während ihrer Betriebsdauer hardwaretechnisch nicht auf- oder umgerüstet werden. Bei Binnenschiffen erfolgt die Einführung neuer Funktionen hingegen in vielen Fällen als „retrofit-Maßnahme“, das heißt durch technische Nachrüstmaßnahmen.

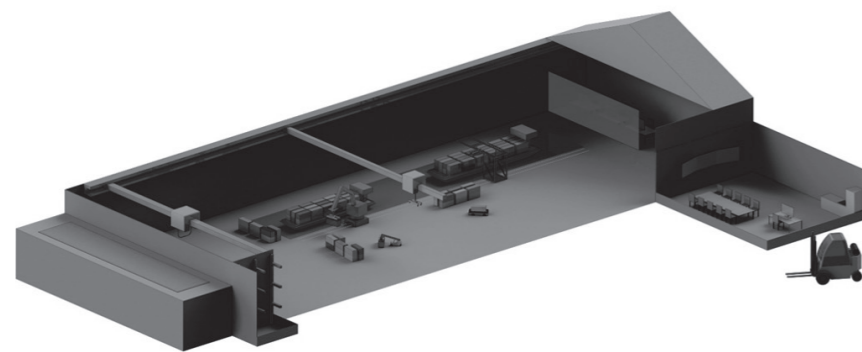
Verkehrsnetze

Die Infrastruktur der beiden Verkehrsträger Kraftfahrzeug beziehungsweise Schiff sind grundlegend verschieden. Bereits eine erste zahlenmäßige Betrachtung der Größe beider Verkehrsnetze lässt diese grundlegenden Unterschiede erahnen. Während sich das Binnengewässerstraßennetz innerhalb von Deutschland auf lediglich rund 7.300 Kilometern erstreckt, umfasst das Kraftfahrzeug-Straßennetz über 800.000 Kilometer.⁷ Durch die deutlich höhere Anzahl an Straßenkilometern ist bereits erkennbar, dass für eine Automatisierung innerhalb der Straßennetze deutlich mehr Szenarien berücksichtigt werden müssen. Sowohl bei Pkw wie auch bei Lkw müssen beispielsweise bei einer Überland- beziehungsweise Autobahnfahrt signifikant unterschiedliche Verkehrssituationen berücksichtigt werden als bei einer Fahrt innerorts. Bei Binnenschiffen hingegen reduzieren sich die unterschiedlichen Situationen während der Fahrt auf eine überschaubare Menge. Die am meisten herausfordernden Fahrsituationen innerhalb der Automatisierung erwachsen auf Wasserstraßen aus Schleusungs-, Überhol- und Rangiervorgängen.

Neben der reinen Größe sind die beiden Verkehrsnetze darüber hinaus ebenfalls in ihren Beschaffenheiten verschieden. Bei Straßen ist der Untergrund befestigt und daher weitgehend statisch und in der Regel vergleichsweise einfach durch entsprechende Sensorik zu detektieren. Die seitlichen Begrenzungen der Fahrbahn sind meist durch Markierungen deutlich zu erkennen. Bei Wasserstraßen gestaltet sich diese automatisierte Erkennung deutlich schwieriger. Selbst wenn auf Binnenwasserstraßen der Wellengang oftmals vernachlässigt werden kann, so ist die Wasseroberfläche deutlich schwieriger zu detektieren. Abbildung (2) zeigt schematisch den Querschnitt einer Wasserstraße. Es ist deutlich zu erkennen, dass die seitliche Begrenzung sowie auch die Tiefe des Kanals aufgrund des Bodenprofils teilweise deutlich schwanken. Hinzu kommt die zeitliche Veränderung der Wassertiefe aber auch des Untergrunds. Trotz des stetigen Verlaufs der Fahrerinne kann dadurch die Flottwassertiefe deutlich unterschiedlich sein. Besonders bei stark beladenen Schiffen mit großer Tauchtiefe kann dies zu einem Problem werden.

Einfluss der Umwelt

Auf Straßen stellen Aquaplaning sowie die Vereisung der Fahrbahnoberfläche ein großes Risiko dar. Durch die Verringerung des Reibungskoeffizienten zwischen Straße und Bereifung des Kraftfahrzeugs wird die Möglichkeit zur sicheren Führung des Fahrzeugs eingeschränkt. Vergleichbare Probleme treten bei Binnenschiffen bei extremen Wasserständen auf. Durch Hoch- beziehungsweise Niedrigwasser kann es zu Behinderungen kommen. Ist der Pegelstand zu niedrig, so haben beladene Schiffe nicht mehr genügend „Wasser unter dem Kiel“, um Teile der Wasserstraße sicher zu passieren. Zusätzlich treten Strömungseffekte auf, deren Auswirkung mit niedrigen Reibungskoeffizienten bei Kraftfahrzeugen durchaus vergleichbar sind. Ein zu hoher Pegelstand auf der anderen Seite führt ebenfalls zu Problemen. Bereits jetzt werden Container auf Binnenschiffen in den meisten Fällen auf mehreren Ebenen gestapelt. Kommt ein erhöhter Pegelstand hinzu, können viele Schiffe die teilweise sehr niedrigen Brücken über



(3) Hafenforschungslabor HaFoLa
Quelle: <https://www.uni-due.de/mechatronik/forschung/hafola>

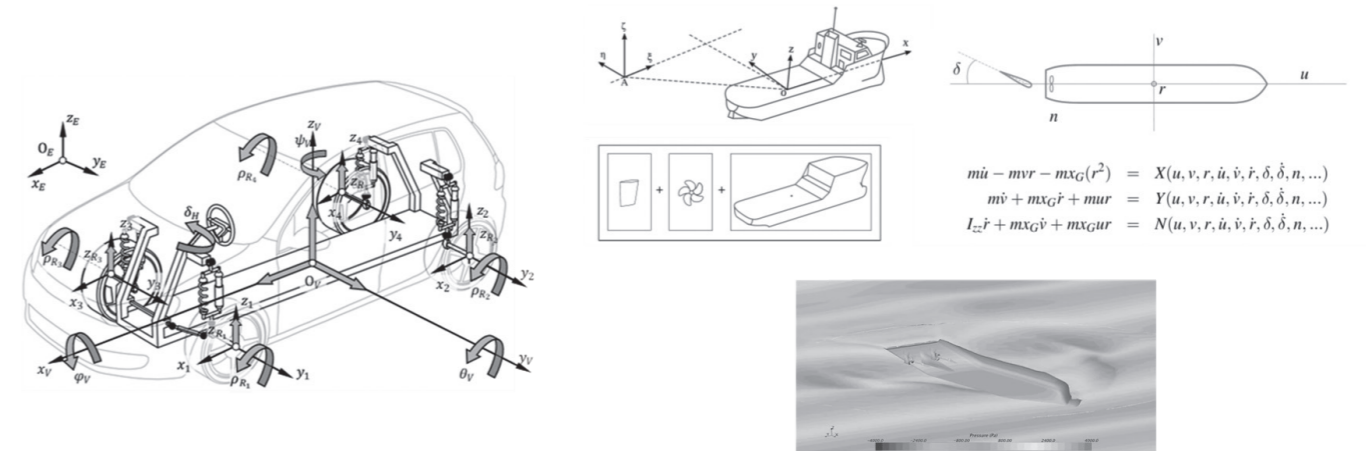
die Wasserstraßen nicht mehr passieren. Marode Brücken stellen hierbei sowohl für die Schifffahrt als auch für den Straßenverkehr gleichermaßen ein Risiko dar.

Verkehrsregeln

Auf Binnenwasserstraßen gibt es im Gegensatz zum Straßenverkehr keine fest vorgeschriebenen Spuren. Zwar gilt auch auf den Wasserstraßen ein Rechtsfahrgebot, das durch zusätzliche Regelungen jedoch außer Kraft gesetzt werden kann. Möchte der Schiffsführer aufgrund von dynamischen Bedingungen, wie beispielsweise Strömungen bei Berg- oder Talfahrt (also dem Fahren flussauf- oder -abwärts), auf der linken Seite des Flusses/Kanals fahren, so kann er die sogenannte blaue Tafel setzen.⁸ Hierdurch wird für den umgebenden Verkehr das Passieren auf der „falschen“ Seite angezeigt. Für eine Automatisierung des Verkehrs stellt diese Regelung eine weitere Besonderheit da. Neben der Detektion von anderen Objekten muss hier ebenfalls eine eventuell vorhandene blaue Tafel detektiert und entsprechend reagiert werden.

Bei der Automatisierung des Straßenverkehrs ergibt sich diese Problematik nicht. Hier sind die Spuren und deren Fahrtrichtungen immer fest definiert und unterscheiden sich nur graduell zwischen einzelnen Ländern.

Bei der Führung eines Kraftfahrzeugs ist eine aktive Kommunikation mit anderen Fahrzeugen in der Regel nicht erforderlich. Lediglich in besonderen Gefahrensituationen ist eine eingeschränkte Kommunikation über Licht- oder Schallsignale erforderlich und möglich. Im Gegensatz dazu ist das Schiffsführungspersonal jederzeit verpflichtet, den Sprechfunk abzuhören, um im Notfall kommunizieren zu können.⁸ Besonders beim Schleusen besteht dabei ein ständiger Kontakt mit der entsprechenden Gegenstelle. Ein automatisiertes System muss ebenfalls in der Lage sein, entsprechend zu kom-



(4) Typische Simulationsmodelle für Kraftfahrzeuge und Binnenschiffe und Vergleich der Kurvenfahrt eines Kraftfahrzeugs und eines Schiffs bei unterschiedlichen Straßeneigenschaften bzw. Wassertiefen.
Quelle: eigene Darstellung

munizieren. So sollte es als minimale Voraussetzung auf sein eigenes Rufzeichen reagieren und andere Verkehrsteilnehmer über Sprechfunk darüber in Kenntnis setzen können, dass es sich um ein automatisiertes Schiff handelt.

„Green Ship“ vs. „Green Car“

Getrieben von dem Ziel einer zumindest lokal emissionsfreien Mobilität rückt die Brennstoffzellentechnologie neben der batteriebasierten Elektromobilität für Fahrzeugantriebe zunehmend in den Fokus der Forschung. In den letzten Jahren hat die Anwendung der Brennstoffzellentechnologie im Bereich der Fahrzeugtechnik große Fortschritte gemacht. Dennoch stellen die Eigenschaften Wirkungsgrad, Kosten und Haltbarkeit noch erhebliche technische Hindernisse für den breiten Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen mit Elektroantrieb dar. Wasserstoff als Kraftstoff stellt einen wichtigen Baustein zur Realisierung einer zukünftigen lokal emissionsfreien Mobilität dar. Der Hauptgrund für die geringe Durchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen ist, dass die Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEMFC) von Brennstoffzellenfahrzeugen nicht für raue Einsatzbedingungen geeignet ist, eine kurze Lebensdauer hat und

sehr teuer ist. Die Topologie des Antriebsstrangs ist komplizierter und enthält sowohl eine Brennstoffzelle als auch ein sekundäres Batteriesystem, was oft zu Platzproblemen („Packaging“) führt. Derzeit gibt es Brennstoffzellen mit einer stabilen Betriebsdauer von 50.000 Stunden. Beim Betrieb eines Kraftfahrzeugs kann sich die Lebensdauer der Brennstoffzelle jedoch stark verkürzen. Verfügbare Brennstoffzellen haben weniger als 10.000 Betriebsstunden für Nutzfahrzeuge und weniger als 5.000 Betriebsstunden für Personenkraftwagen. Übertragen auf Binnenschiffe wäre der Brennstoffzellen-Antrieb wesentlich besser geeignet. So ist zum Beispiel die Platzbeschränkung für die verschiedenen Komponenten des Antriebsstrangs auf einem Schiff wesentlich unkritischer als bei einem Straßenfahrzeug. Außerdem ist die Dynamik viel geringer und es gibt weniger Betriebszustände. Eine besondere Belastung für die Brennstoffzelle sind die auftretenden Vibrationen. Diese sind bei Schiffen deutlich geringer. Eine detaillierte Untersuchung im Bereich der Binnenschifffahrt ist jedoch noch nicht erfolgt. Dementsprechend gibt es bis heute keine fertigen Wasserstoff-Antriebssysteme für Binnenschiffe auf dem Markt.

Elektrisch angetriebene Schiffe mit Batterien als Energiespeicher sind im

kommerziellen Bereich noch nicht etabliert. Dennoch lassen sich in zahlreichen Projekten Anwendungen finden. Eines der ersten batterieelektrischen Schiffe ist wohl die von Siemens & Halske gebaute Elektra, die 1886 als Demonstrationsschiff für die Region Berlin Probefahrten auf der Spree durchführte. Seit 2015 verkehrt die vollelektrisch angetriebene Fähre „Ampere“ (früherer Name ZeroCat) auf einer sechs Kilometer langen Strecke über den Sognefjord in Norwegen.⁹ Die Fähre wird jeweils an den Anlegestellen geladen, wofür die Landstromversorgung gepuffert werden muss, um das lokale Stromnetz nicht zu überlasten. Inzwischen sind weitere vollelektrische Fähren in Planung beziehungsweise im Bau. Ebenfalls unter dem Namen Elektra, verkehrt in Finnland seit 2017 eine Fähre auf einem 1,6 Kilometer langen Streckenabschnitt in den Schären von Turku. Das Schiff wird hauptsächlich über Batterien angetrieben, verfügt allerdings noch über Dieselgeneratoren.¹⁰ Es ist erkennbar, dass die vorgestellten Beispielanwendungen auf kurze Distanzen und klar definierte Einsatzszenarien fokussieren. Erfahrungen mit Systemen höherer Anwendungsflexibilität existieren nicht, und es existieren auch keine Versuchsträger, mit denen diese, ins-

besondere im Zusammenhang mit hybriden Antriebssystemen und mit moderatem Aufwand untersucht werden können. Deshalb soll in der Zukunft durch ein Versuchsträgerschiff in Duisburg diese Lücke geschlossen werden. Für diesen Versuchsträger ist sowohl ein batterieelektrischer wie auch ein Brennstoffzellenantrieb geplant. Damit wird das Binnenschiff der Zukunft auch „green“.

Transportlogistik

In der Bundesrepublik Deutschland spielt die Transportlogistik als drittgrößter Wirtschaftszweig eine wichtige Rolle. Viele Unternehmen agieren hier, viele Menschen sind beschäftigt, und sie gilt als Vorreiter in Sachen Leistungsfähigkeit und Effizienz im weltweiten Vergleich. In Zeiten des wirtschaftlichen Aufschwungs wirkt die Logistik als Katalysator, in Zeiten der Not ist sie die Lebensader einer Volkswirtschaft. In diesem Zusammenhang ist die Infrastruktur von zentraler Bedeutung. Im weltweiten Vergleich erhält Deutschland regelmäßig Bestnoten für seine logistische Infrastruktur. Um diese hervorragende Ausgangsposition zu halten und sogar auszubauen, sind ständige Innovationen und Fortschritte erforderlich.

Um die Automatisierung der logistischen Prozesse am Hafen zu testen, wird im An-Institut Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST) der Universität Duisburg-Essen ein miniaturisierter Hafen erstellt. Das Testzentrum für innovative Hafen- und Umschlagtechnologien (HaFoLa) in Duisburg wird über eine Versuchshalle verfügen, in der die Topografie eines Hafens abgebildet wird. Darüber hinaus wird die zugehörige Kran- und Umschlagsinfrastruktur für den Versuchsbetrieb aufgebaut und die notwendigen Container- und Binnenschiffsmodelle (im Maßstab 1:16) bereitgestellt (Abb. 3).

Im Einzelnen handelt es sich um einen automatisierbaren Hallenkran, der für die Be- und Entladung von Binnenschiffen eingesetzt wird und als Basis für die Entwicklung von sensorbasierten Nachrüstungskonzepten für derzeit im Einsatz befindliche Krane dient. Dazu kommt eine maßstabsgerechte Containerbrücke, die den Betrieb eines Ship-to-Shore-Krans nachbildet, einen Schwenkkran im gleichen Maßstab und einen Reach Stacker, der ebenfalls für die Be- und Entladevorgänge rund um das Binnenschiff sowie für die Umschlagsprozesse im Bereich der Containerstauung eingesetzt werden soll. Bei den Hafenumschlaggeräten wird es sich um automatisierte mechatronische Prototypen handeln, die über Komponenten im Industriestandard verfügen werden. Zum Testzentrum gehören auch ein Modelllager zur wettergeschützten Lagerung der Modelle sowie das Living Lab „Digital Port“, ein Experimentier- und Interaktionsraum für Hard- und Softwareentwicklungen im Rahmen zukünftiger Digitalisierungsprojekte.

Unterschiede in den Physikalischen Eigenschaften

Während bei der Ausstattung mit Sensoren durchaus Ähnlichkeiten bestehen, sind bei der Auslegung der eingesetzten Steueralgorithmen die erheblich unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Kraftfahrzeugen und typischen Lastschiffen zu beachten. Tabelle (1) zeigt exemplarisch eine Gegenüberstellung der Kenngrößen eines Kleintransporters und eines mittleren Binnenschiffs. Man erkennt, dass das Navigieren eines Schiffes aufgrund der großen Abmessungen sowie der hohen Massen und Trägheitsmomente, verbunden mit der Unmöglichkeit echter Bremsaktivitäten, erheblich schwieriger ist als das Lenken eines Kraftfahrzeugs. Andererseits bewegen sich Schiffe erheblich langsamer als

Kraftfahrzeuge, verbunden mit dem Umstand, dass der Verkehr auf einer Schifffahrtsstraße übersichtlicher als der typische Straßenverkehr ist. Einige wesentliche Unterschiede bei den Einsatzgebieten von Kraftfahrzeugen und Binnenschiffen sind in Tabelle (2) zusammengefasst.

Fahrverhalten und Bewegungsmodell

Durch die deutlichen Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften von Kraftfahrzeugen und Binnenschiffen muss sich auch deren mathematische beziehungsweise physikalische Modellierung unterscheiden (Abb. 4).

Für die Berechnung von Kraftfahrzeugen können unterschiedlich komplexe Modelle herangezogen werden. Für die Modellierung der Lateralbewegung eines Kraftfahrzeugs können beispielsweise physikalische Ein- oder Zweispurmodelle eingesetzt werden. Die eingesetzten Modellierungen basieren in der Regel auf einem sogenannten Mehrkörpermodell.

Hierbei werden statische Bauteile durch starre, massebehaftete Körper und masselose Kraftelemente modelliert. Einwirkungen von außen werden durch Kontaktkräfte zwischen Straße und Rad sowie Luftwiderstände modelliert. Mithilfe der Newtonschen und Eulerschen Grundgesetze entstehen dann mathematische Modelle in Form von gewöhnlichen Differentialgleichungen, die numerisch gelöst werden. Ein im Ansatz vergleichbares Modell in der Schifffahrt ist hier das sogenannte Abkowitz-Modell. Durch dieses mathematische Modell ist die Berechnung der seitlichen Bewegung des Schiffes bei einer Kurvenfahrt möglich. Über eine Differentialgleichung können hier in Abhängigkeit der Längs- sowie Quergeschwindigkeiten die auf das Schiff wirkenden Kräfte berechnet werden.

Ein bedeutender Unterschied bei der Modellierung ist hier die unter-

| Physikalische Daten | Kleintransporter (MB Sprinter) | Mittleres Binnenschiff |
|---|--------------------------------|------------------------|
| Masse (t) | 3,5 | 4.999 |
| Nutzlast (t) | 2,5 | 2.500 |
| Trägheitsmomente um die Vertikalachse (kgm ²) | 2,7 · 10 ³ | 1,4 · 10 ⁹ |
| Höchstgeschwindigkeit (km/h) | 160 | 20 |
| Maximale Gierrate (°/s) | 30 | 0,7 |
| Kinetische Energie bei Höchstgeschwindigkeit (kWh) | 0,86 | 21,43 |
| Motorleistung (kW) | 190 | 1.118 |
| Länge (m) | 5,3 – 7,4 | 110 |
| Breite (m) | 1,95 | 10,5 |

(T 1) Exemplarische Gegenüberstellung der unterschiedlichen Kerngrößen von Kraftfahrzeugen und Binnenschiffen
Quelle: eigene Darstellung

| Autonome Kraftfahrzeuge | Autonome Binnenschiffe |
|---|--|
| + Hohes Potenzial für private und industrielle Nutzung | + Hohes Potenzial für den Einsatz im Transportwesen der Industrie |
| + Große internationale Hersteller und Lieferanten mit hohem Volumen | – Wenige, kleine Hersteller mit geringen Mengen, < 10 Frachtschiffe / a |
| + Einführung neuer Technologien mit Entwicklungszyklen (ca. 4-6 Jahre) Durchschnittliches Fahrzeugalter: < 10 Jahre | – Lange Entwicklungszyklen; Flottenalter 20 - 70 Jahre. Erneuerung erfordert Nachrüstung Industrie zögert mit Innovation |
| – Hohe Anzahl von Verkehrsteilnehmern und Variationen | + Geringe Anzahl von Verkehrsteilnehmern und Variationen |
| – Hohe Geschwindigkeiten, kurze Reaktionszeiten | ± Niedrige Geschwindigkeiten, lange Reaktionszeiten |
| – Hohe Umweltdiversität | + Geringe Umweltdiversität |
| + Leicht erfassbare statische Verkehrsfläche (befestigte Straßen) | – Schwer erfassbare, variierende Verkehrsfläche |

(T 2) Unterschiede zwischen hochautomatisierten Kraftfahrzeugen und Binnenschiffen
Quelle: eigene Darstellung



(5) Simulatoren für Kraftfahrzeuge und Schiffe
Quelle: eigene Bilder

schiedliche Modellart. Beim physikalischen Einspurmodell des Kraftfahrzeugs wird der Fahrzeugaufbau vereinfacht und anhand von physikalischen Zusammenhängen beschrieben. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei dem Abkowitz-Modell um eine rein mathematische Modellierung. Hier wird das Verhalten des Schiffs in einem Modellversuch bestimmt und daraus entsprechende Koeffizienten für das Modell hergeleitet. Der große Unterschied besteht somit in der Verständlichkeit der Parameter sowie der Gleichungen. Die Koeffizienten innerhalb des Kraftfahrzeugmodells entsprechen direkt den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften, wie beispielsweise Masse, Trägheitsmoment etc. Im Abkowitz-Modell hingegen sind die jeweiligen Koeffizienten ohne direkten Zusammenhang zu einzelnen physikalischen Eigenschaften des Schiffes. Hierdurch wird die Anpassung der Schiffsmodele deutlich erschwert und zieht somit meist erneute Modellversuche im Experiment oder der Simulation nach sich.

Neben den aufgezeigten Unterschieden bei der Modellierung von Kraftfahrzeugen und Schiffen lassen sich jedoch auch einige Gemeinsamkeiten finden. Bei der genaueren Betrachtung des Einflusses vom Reibungskoeffizienten bei der Modellierung eines Kraftfahrzeugs lassen sich Ähnlichkeiten zum Einfluss der Wassertiefe auf die Manövrierbarkeit des Schiffes erkennen. Bei der seitlichen Bewegung eines Kraftfahrzeugs stellt der Reibungskoeffizient zwischen Straße und Reifen eine elementare Größe für die korrekte Modellierung dar. Ein kleinerer Koeffizient entspricht hier weniger Haftung auf der Straße. Die gefahrenen Kurvenradien des Kraftfahrzeugs steigen somit mit kleiner werdendem Reibungskoeffizienten. Ein ähnliches Verhalten ist für die Modellierung eines Schiffes beim Zusammenhang zwischen dem Wasserstand unter dem Kiel und dem Kurvenradius zu erkennen (Abb. 6).

Je weniger Wassertiefe unterhalb des Schiffsrumpfes vorhanden ist, desto größer wird auch hier der gefahrene Kurvenradius.

Simulation

Die erstellten Bewegungsmodelle von Kraftfahrzeugen und Schiffen können anschließend verwendet werden, um eine Human-in-the-Loop Simulation aufzubauen. Bei dieser Simulation wird der Mensch direkt in die Simulation eingebunden und kann diese live beeinflussen. Um dies zu ermöglichen, braucht es entsprechende Simulatoren mit passenden Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS). Am Lehrstuhl für Mechatronik der Universität Duisburg-Essen sind bereits verschiedene Simulatoren im Bereich der Kraftfahrzeuge vorhanden. In Abbildung (5, unten) ist exemplarisch der stationäre Simulator auf Basis eines Ford Fiesta zu erkennen. Herzstück ist ein modifizierter Pkw, um welchen herum in allen Blickrichtungen eine virtuelle Umgebung dargestellt wird. Neben diesem stationären Simulator existiert ebenfalls ein dynamischer Kraftfahrzeugssimulator auf Basis eines aktuierten Viertelfahrzeugmodells.

In den letzten beiden Jahren sind darüber hinaus zwei Schiffssimulatoren entwickelt worden. Am DST wurde ein Versuchs- und Leitungszentrum autonome Binnenschiffe (VeLABi, www.velabi.de) eingerichtet. Diese Forschungseinrichtung wurde vom Verkehrsministerium des Landes NRW finanziert. Herzstück des Zentrums ist ein Schiffssimulator mit einem realitätsnahen Brückennachbau. Der Steuerstand sowie die Projektionsfläche sind in Abbildung (5, oben) dargestellt. In beiden Simulatoren kommt die Game-Engine Unity zum Einsatz. Durch sie kann die Umgebung der Städte beziehungsweise der Flüsse und Kanäle realitätsnah wiedergegeben werden. Mittels fotorealistischer Texturen sowie der Möglichkeit zur Nutzung von stereoskopischem 3D

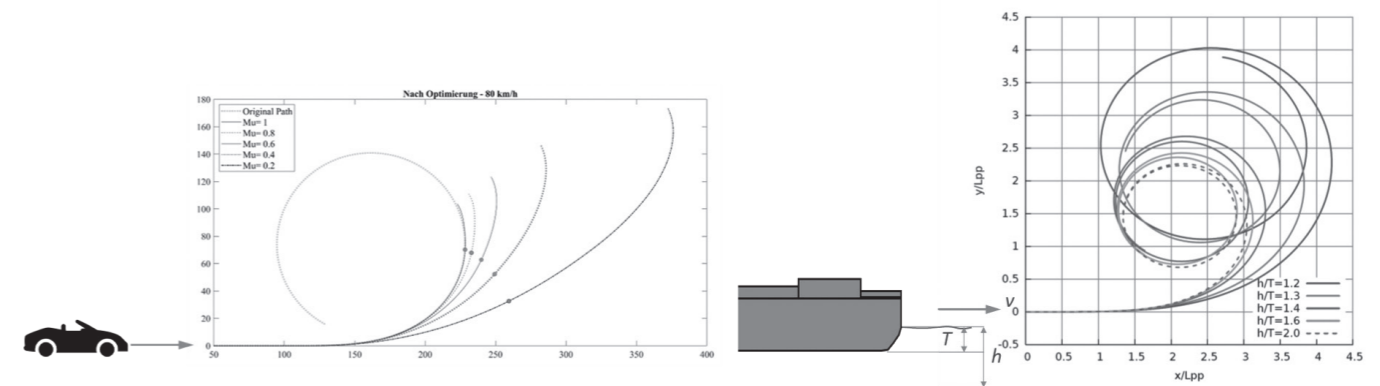
wird der realistische Eindruck für Personen innerhalb des Simulators weiter gesteigert.¹¹

Innerhalb des Projektes AutoBin (www.autobin.de) wird für die genannte Game-Engine eine virtuelle Umgebung entwickelt, in der sich das Schiff bewegen kann. Für diese virtuelle Umgebung wird auf verschiedene, öffentlich zugängliche Datenquellen zurückgegriffen. So werden beispielsweise die nautischen Karten der WSV für die Modellierung der Kanäle und die OpenStreetMap für die Modellierung der Gebäude verwendet.¹² Darüber hinaus wäre es in Zukunft ebenfalls denkbar, Methoden der Photogrammetrie für die Erstellung solcher Szenarien zu verwenden.¹³

Über das Egofahrzeug beziehungsweise -schiff hinaus ist jedoch auch die Simulation von anderen Fahrzeugen für einen realistischen Eindruck von besonderer Wichtigkeit. Innerhalb des Straßenverkehrs können hierfür entsprechende Softwarepakete wie zum Beispiel SUMO (<https://sumo.dlr.de/>) verwendet werden. Diese ermöglicht es, ganze Städte mit den entsprechenden Straßennetzen zu simulieren und mit mehreren hundert Fahrzeugen zu bevölkern.

Alle kommerziell betriebenen Schiffe sind durch die Gesetzesgrundlagen dazu verpflichtet, einen Sender beziehungsweise Empfänger von Nachrichten des Automatischen Identifikationssystems (AIS) zu besitzen. Über dieses Kommunikationssystem werden die jeweiligen Positionen anderer Fahrzeuge empfangen sowie die eigene Position gesendet. Durch die Simulation entsprechender AIS-Signale kann über dieses System somit der Verkehr simuliert und direkt allen Egoschiffen zur Verfügung gestellt werden.

Während der Verkehrsflusssimulation innerhalb des Straßenverkehrs sind besonders Störungen im Verkehrsfluss interessant. Die häufigste Störung im Verkehrsfluss ist der allzu gut bekannte Stau. Dieser entsteht auf dem Straßennetz vor allem



(6) Kurvenfahrten
Quelle: eigene Darstellung

durch eine Überlastung durch viele Fahrzeuge. Dem entgegen hat die Wasserstraße deutlich weniger Verkehrsaufkommen in Bezug auf die Anzahl der Fahrzeuge. Dennoch kommt es, besonders in der Binnenschifffahrt, oft zu Verzögerung durch Störungen des Verkehrsflusses. Dies ist insbesondere auf die Schleusen zurückzuführen. Wo im Straßenverkehr enge Kreuzungen und Ampeln einen Stau auslösen, sind dies die Schleusungsvorgänge in der Schifffahrt. Die immer größer werdenden Schiffe passen meist nur einzeln in die Schleuse, wodurch der restliche Verkehr warten muss. Somit bilden Schleusen trotz der deutlich verringerten Zahl an Fahrzeugen im Verkehr ein Nadelöhr für den Transport von Gütern in der Binnenschifffahrt.

Durch veraltete Schleusentechnik wird darüber hinaus ähnlich wie bei veralteter Straßeninfrastruktur der Verkehr auf den Wasserstraßen weiter behindert.

Ausblick

Das autonome Fahren verspricht sowohl für den Individualverkehr von Kraftfahrzeugen als auch bei Binnenschiffen erhebliche Potentiale, die allerdings unterschiedlich motiviert und ausgeprägt sind. In beiden Bereichen ist ein starkes Argument eine Erhöhung der

Sicherheit durch die Vermeidung von Unfällen infolge menschlichen Versagens und dadurch eine weitere Erhöhung des Sicherheitsniveaus. Hinzu kommt beim Kraftfahrzeug die Aussicht komfortabler zu reisen und Fahrzeiten für andere Aktivitäten nutzen zu können. Bei der Binnenschifffahrt stehen hingegen die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und die Ausnutzung der Potentiale dieses umweltfreundlichen und ressourcenschonenden Transportmittels im Vordergrund. Mit der Entwicklung des automatisierten und (teil-)autonomen Fahrens in der Binnenschifffahrt werden vor allem folgende Ziele verbunden:

- Entlastung des nautischen Personals und perspektivisch Reduzierung des Personalbedarfs,
- Senkung der Kosten, sodass auch kleine Partiegößen mit kleineren Schiffen wirtschaftlich transportiert werden können sowie
- vor allem die Chance, auch kleinere Schiffe wettbewerbsfähig betreiben zu können.

Der letztgenannte Punkt wird nicht nur, aber gerade auch im Ruhrgebiet, dazu beitragen, zahlreiche Betriebe des verarbeitenden Gewerbes beziehungsweise der Verkehrs- und Logistikwirtschaft für die Binnenschifffahrt zu erschließen. Ein ebenso wichtiger Punkt ist die mögliche Verlagerung von Transportverkehr von den überlasteten Straßen auf die heute

nicht ausgelasteten Wasserstraßen.

Sowohl im Bereich des Straßenverkehrs als auch im Bereich der Binnenschifffahrt werden sich, in unterschiedlicher Entwicklungsgeschwindigkeit, auch im Bereich des Antriebsstrangs mittel- bis langfristig zumindest lokal emissionsfreie Antriebssysteme durchsetzen.

Summary

Considerable efforts are currently being made in the automotive industry to automate the task of driving or at least to make it significantly easier by means of innovative driver assistance systems. The focus here is on enhancing driving safety and comfort. A similar development is taking place in the inland waterway transport sector, even if the motivations there are more likely to be found in efforts to reduce personnel costs and, at the same time, to attract qualified operating personnel. The guiding principle is the realization that the automation of inland navigation could be a target-oriented answer to the strategic challenges of inland waterway transport. This paper describes the development trends in the automation of inland navigation vessels as well as the similarities, but also the differ-

ences, in the development of appropriate systems. These differences relate both to the technologies of land vehicles and vessels on the one hand, and to the framework conditions resulting from the differences in transport ways on the other hand. For the development of inland vessels, a research strategy has been developed at the University of Duisburg-Essen and its affiliated institute DST, together with other partners from academia and industry, and is being implemented in a number of funded projects. For this purpose, the Test and Management Centre for Autonomous Inland Waterway Vessels (VeLABi) research facility and the Port Research Laboratory (HaFoLa) have been designed and built during the last years. In addition, there is a reality test field in the Dortmund-Ems canal. These infrastructure facilities represent an essential basis for the implementation of the envisaged research and development goals.

Literatur

- 1) ZKR, Automatisierung der Navigation, Definition der verschiedenen Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/AutomatisationNav/NoteAutomatisation_de.pdf. 2020, ZKR Zentralkommission für die Rheinschifffahrt.
- 2) Von Looz-Corswarem, C., Zur Entwicklung der Rheinschifffahrt vom Mittelalter bis ins 19. Jahrhundert. Düsseldorf und seine Häfen. Zur Verkehrsgeschichte und Wirtschaftsgeschichte der Stadt aus Anlass des 100jährigen Hafenjubiläums. 1996.
- 3) Markets, R., Marktvolumen für Digitalisierung im Schiffbau im Jahr 2019 und Prognose für das Jahr 2027 (in Millionen US-Dollar) [Graph]. Statista, 2020.
- 4) Winter, H., Binnenschifffahrt 2013. Wirtschaft und Statistik, 2014(7).
- 5) Johansen, T.A. and T. Perez. Unmanned aerial surveillance system for hazard collision avoidance in autonomous shipping. in 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). 2016. IEEE.
- 6) Schramm, D., et al., Fahrzeugtechnik, in Fahrzeugtechnik: Technische Grundlagen aktueller und zukünftiger Kraftfahrzeuge. 2017, De Gruyter Oldenbourg. p. 331–390.
- 7) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Verkehr in Zahlen 2020/2021. 2020.

- 8) Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Binnenschifffahrtsstraßen-Ordnung. 2011.
- 9) Ship of the Year 2014: All-electric car ferry ZeroCat120. SMM – Daily News, 2014.
- 10) The Minister of Transport and Communications christened Finland's first electric ferry. 2017.
- 11) Kracht, F.E., et al., Auf dem Weg zum hochautomatisierten Binnenschiff-Versuchs- und Leitungszentrum für autonome Binnenschiffe. Springer Books, 2021: p. 189–202.
- 12) Jarofka, M.S., Philipp Maximilian; Hürten, Christian; Peters, Ricarda; Kracht, Frédéric Etienne; Schramm, Dieter, From Reality to a Virtual Environment – Integration of Public Available Geodata in a Simulation Environment, in AISS2021. 2021.
- 13) Jarofka, M.S., Stephan; Maas, Niko; Kracht, Frédéric E.; Schramm, Dieter. Application of Photogrammetric Object Reconstruction for Simulation Environments in the Context of Inland Waterways. in Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications. 2021. Springer.

Die Autoren

Dieter Schramm studierte von 1974 bis 1980 Mathematik in Stuttgart, war von 1981 bis 1986 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl B für Mechanik der Universität Stuttgart und promovierte dort 1986 zum Dr.-Ing. Von 1986 bis 1992 arbeitete er als Gruppenleiter Simulationstechnik bei der Robert Bosch GmbH in Stuttgart und leitete dort von 1992 bis 1997 die Abteilung „Neue Systeme“ sowie von 1997 bis 1999 die Hauptabteilung „Neuentwicklung Starter“. Danach war Dieter Schramm von 1999 bis 2001 Entwicklungsleiter bei Tyco Electronics und ab 2001 Geschäftsführer und Produktbereichsleiter Mechatronische Produkte bei der Tyco Electronics Pretema GmbH, Pforzheim. Seit Oktober 2004 hat er die Professur und das Fachgebiet Mechatronik an der Universität Duisburg-Essen inne. Seit 2006 ist er Dekan der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen und seit 2007 Vorsitzender des Verwaltungsrates des IUTA. Im Jahr 2014 verlieh ihm die Universität Miskolc die Ehrendoktorwürde. Neben seiner Tätigkeit an der Universität Duisburg-Essen ist Dieter Schramm Mitgründer und Partner mehrerer Unternehmen im Bereich der wissenschaftlichen Aus- und Fortbildung.

Frédéric Kracht ist Postdoktorand am Lehrstuhl für Mechatronik der Universität Duisburg-Essen. Er schloss den Master und seine Promotion jeweils mit Auszeichnung ab. Während seines Studiums arbeitete er drei Jahre lang als studentische Hilfskraft bei der SIEMENS AG für Gasturbinentechnik und erhielt ein Stipendium der Deutschen Studienstiftung. Seine Promotion wurde mit dem Innovationspreis 2020 der Sparkasse am Niederrhein und als herausragende Promotion im Bereich Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen im Rahmen des dies academicus 2021 prämiert. Seine Forschungs-

arbeiten befassen sich mit der Entwicklung von Fahrzeugaufhängungsmodellen mit elastischem Verhalten für Echtzeitanwendungen. Neben seiner Beschäftigung an der Universität Duisburg-Essen ist Frédéric Kracht Geschäftsführer, Mitgründer und Partner mehrerer Unternehmen im Bereich der universitären Fortbildung, einschließlich digitaler Prüfungsmethoden.

Maximilian Jarofka studierte von 2013 bis 2019 Maschinenbau in der Vertiefungsrichtung Mechatronik an der Universität Duisburg-Essen. Bereits während des Studiums arbeitete er von 2014 bis 2019 fast durchgängig als studentische beziehungsweise wissenschaftliche Hilfskraft an verschiedenen Lehrstühlen der Universität. Seit 2019 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mechatronik an der Universität Duisburg-Essen und strebt seine Promotion zum Dr.-Ing. an.



Maximilian Jarofka. Foto: Daniel Schumann

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/78091

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230331-114712-3

Erschienen in: UNIKATE 59 (2023), S. 8-21

Alle Rechte vorbehalten.