



Maximilian Hohn. Foto: Daniel Schumann

Vor dem Hintergrund derzeitiger Herausforderungen in der Binnenschifffahrt, wie dem Mangel an nautischem Personal und dem Güterstruktureffekt, bedarf es an innovativen und zukunftsorientierten Konzepten. Eine vielversprechende Lösung stellt die Fernsteuerung von Schiffen dar. Dabei wird das Schiff von einem Fernsteuerstand an Land gesteuert. Insbesondere im Kontext der Automatisierung und Vernetzung bietet die Fernsteuerung nicht nur ökologische und ökonomische Potentiale, sondern eröffnet auch neue Vertriebswege.

Ferngesteuerte Binnenschifffahrt

Konzept und Lösungsansatz im Kontext vernetzter Mobilität

Von Maximilian Hohn & Thomas Weber

Warum Binnenschiffe fernsteuern?

Die Digitalisierung unseres täglichen Lebens schreitet voran. Im Zuge der Industrie 4.0 findet bereits eine Vernetzung von industriell eingesetzten Systemen statt, um die Effizienz von Prozessen zu steigern. Diese „digitale Revolution“ beeinflusst zunehmend auch den Mobilitätssektor. Unter dem Stichwort Maritim 4.0 wird seit einigen Jahren auch die digitale Transformation in der Schifffahrtsbranche zusammengefasst. Vor dem Hintergrund derzeitiger Herausforderungen in der Binnenschifffahrt, wie dem Mangel an nautischem Personal und dem Güterstruktureffekt¹, bedarf es an innovativen und zukunftsorientierten Konzepten. Moderne Breitbandkommunikationsmittel sowie der Ausbau des Mobilfunknetzes eröffnen neue Wege der Schiffführung und -vernetzung. Dadurch können größere Informationsmengen nahezu in Echtzeit übertragen werden, sodass Empfänger mit sehr geringem Zeitverzug auf ebendiese reagieren können.

Das Verbundprojekt „Ferngesteuertes, koordiniertes Fahren in der Binnenschifffahrt – FernBin“² ist Bestandteil der „Forschungsstrategie zum automatisierten Fahren in der Binnenschifffahrt“, welche weitere Forschungsprojekte miteinander verknüpft und deren Synergien nutzbar macht. Zur Bewältigung der komplexen und interdisziplinären Herausforderungen der ferngesteuerten Binnenschifffahrt sind verschiedene Expert*innen als Verbundpartner im Projekt tätig. Dazu zählen das Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST), die Argonics GmbH, die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), das Ingenieurbüro Kauppert (ibk), die innovative navigation GmbH (in), das Institut für Regelungstechnik (irt) der RWTH Aachen und die Lehrstühle für Schiffbau, Meerestechnik und Transportsysteme (ISMT), für Steuerung, Regelung und Systemdy-

namik (SRS) sowie für Mechatronik (IMECH) der Universität Duisburg-Essen.

Durch die Fernsteuerung von Binnenschiffen wird der Arbeitsplatz des Schiffsführers vom Schiff ans Land verlagert. Dadurch wird ein alternatives Arbeitsumfeld geschaffen, das zusätzliche Interessent*innen für nautische Berufe gewinnen kann. Im Zuge der Fernsteuerung wird ein Arbeitsplatz mit einem festen Arbeitsort und geregelten Arbeitszeiten geschaffen, wodurch der Beruf des Binnenschiffers familienfreundlicher und somit für viele Arbeitnehmer*innen attraktiver wird. Diese Aspekte stellen einen Lösungsansatz des aktuellen und zukünftigen Mangel an nautischem Personal dar¹.

Im Zuge der Fernsteuerung werden zudem zahlreiche Assistenzsysteme implementiert, die den*die Schiffsführer*in von ermüdenden Routineaufgaben entlasten. Der erhöhte Komfort sowie die Umfelderkennung, die Prädiktion des Verkehrsgeschehens und Warnsysteme bieten das Potential, die Binnenschifffahrt maßgeblich sicherer zu gestalten. Sowohl die Vernetzung von Binnenschiffen untereinander als auch die Vernetzung zur Umgebung und Infrastruktur bringen nicht nur sicherheitsperspektivische, sondern auch ökonomische Vorteile mit sich. Auf Situationen mit eingeschränktem Verkehrsfluss, wie es häufig bei Schleusen oder in Gewässern mit niedrigem Wasserstand der Fall ist, kann frühzeitig eingegangen werden, indem diese in der Routenplanung und in der Logistikkette berücksichtigt werden. Durch die Vernetzung der gesamten logistischen Kette kann die Fahrgeschwindigkeit hinsichtlich Ankunftszeitpunkt und Energieeffizienz optimiert werden.

Die Automatisierung verschiedener Verkehrsträger hat in den vergangenen Jahren große Fortschritte erzielt und zunehmend an Bedeutung gewonnen. Während die SAE J3016 Norm zur Klassifizierung und Definition von Begriffen

für Automatisierungssysteme von straßengebundenen Kraftfahrzeugen 2014 eingeführt wurde, wurde angelehnt daran 2018 die erste internationale Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt beschlossen³. Die Automatisierungsgrade 1 bis 5 erstrecken sich von der Steuerungsunterstützung bis hin zur Vollautomatisierung. Einhergehend mit dem Automatisierungsgrad 3 „Bedingte Automatisierung“ ist keine dauerhafte Überwachung durch einen Menschen notwendig. Das System erkennt seine Grenzen und fordert die Übernahme der Schiffführung durch einen Menschen an. In Kombination mit einer Fernsteuerung kann ein*e Schiffsführer*in mehrere Schiffe überwachen und bei Bedarf eingreifen. Dadurch wird weniger Schiffführungspersonal benötigt, was wiederum dem Personalmangel der Branche entgegenwirkt und erheblich zur Reduktion von Personalkosten beiträgt. Einhergehend mit der Reduktion von Personalkosten bieten ferngesteuerte und automatisierte Binnenschiffe das Potential, kleine Frachtmengen rentabler zu gestalten. Dadurch können neue Vertriebswege erschlossen und Transportmittel von überfüllten Straßen auf das Binnengewässer verlagert werden.

Eines der größten Hindernisse für den weit verbreiteten Einsatz von autonomen Fahrzeugsystemen in unserem Alltag ist jedoch die öffentliche Sicherheit und die öffentliche Akzeptanz, Menschenleben der Kontrolle autonomer Maschinen/Fahrzeuge zu überlassen. Zum Beispiel sind Verkehrsflugzeuge in der Lage, selbstständig zu starten und zu landen. Es ist gut zu wissen, dass das Flugzeug automatisch landen kann, wenn den Pilot*innen etwas passiert, aber wer möchte schon mit einer Flugesellschaft reisen, deren Flugzeuge ausschließlich von selbst starten und landen, anstatt von menschlichen Piloten mindestens überwacht zu werden? Autonome Fahrzeuge,

vor allem solche, die in Bereichen eingesetzt werden, die das menschliche Leben betreffen, müssen mit Fähigkeiten entwickelt werden, die es ihnen ermöglichen, wie ein*e menschliche*r Bediener*in zu handeln und zu entscheiden, vor allem in anormalen Situationen oder wenn Hardwarefehler an Bord auftreten. Auf dem Weg zur Vollautomatisierung schlägt die Fernsteuerung eine Brücke zwischen Teilautomatisierung und möglichen Eingreifen durch eine*n menschliche*n Bediener*in. So obliegt den Algorithmen nur bedingt die Kontrolle über das Schiff, und in anomalen Situationen kann durch eine*n entfernt sitzende*n Schiffsführer*in eingegriffen werden.

Stand der Technik

In den letzten Jahren haben die erfolgreichen Anwendungen unbemannter Systeme zu Land, zu Wasser, zu Luft, im Weltraum, in der Tiefsee und in anderen gefährlichen und weit entfernten Umgebungen viel Forschungsinteresse geweckt. Zu den unbemannten Systemen gehören Tiefseesonden, Raumfahrzeuge, unbemannte Luftfahrzeuge (UAV), unbemannte Bodenfahrzeuge (UGV), unbemannte See-/Oberflächenfahrzeuge (USV), unbemannte Unterwasserfahrzeuge (UUV) und unbemannte Sensoren. Autonomie wurde in vielen Studien definiert, aber die von der Arbeitsgruppe Autonomiestufen für unbemannte Systeme (ALFUS) des National Institute of Standards and Technology (NIST) vorgeschlagene Definition eines unbemannten Systems (UMS) ist die umfassendste:

„die eigene Fähigkeit eines UMS, zu erkennen, wahrzunehmen, zu analysieren, zu kommunizieren, zu planen, Entscheidungen zu treffen und zu handeln, um seine Ziele zu erreichen, wie sie von ihren menschlichen Bediener*innen durch gestaltete Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) zugewiesen wurden. Die Autonomie wird durch Faktoren

wie die Komplexität der Mission, die Schwierigkeit der Umgebung und den Grad der HRI zur Erfüllung der Mission in Stufen unterteilt.“⁴

Fahrzeuge können als UMS definiert werden, wenn sie entweder ferngesteuert, teilautonom oder vollautonom betrieben werden. Im teilautonomen Betrieb behält ein menschlicher Bediener die Kontrolle über das Fahrzeug, während einige Steuerfunktionen der Fahrzeugfunktion autonom sind. Obwohl es für die Anwendung vollständig autonomer und unbemannter Technologien für den öffentlichen Einsatz in unserem täglichen Leben noch zu früh ist, eröffnen die technologischen Fortschritte in der Robotik und der künstlichen Intelligenz zunehmend ein breites Spektrum an möglichen Anwendungen für sie. Die autonome und unbemannte Fahrzeugtechnologie hat bereits einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Die meisten modernen Autos verfügen über Funktionen, die es ihnen ermöglichen, halbautonom zu fahren, wie zum Beispiel Einparkautomat und adaptiver Tempomat, während unbemannte Flugsysteme (UAVs) bereits seit Jahrzehnten für militärische Zwecke eingesetzt werden. Es wird erwartet, dass kommerzielle und öffentliche Anwendungen dieser Entwicklungen in autonomen Technologien innerhalb weniger Jahrzehnte zu einem Teil unseres täglichen Lebens werden. Da autonome Fahrzeuge Aufgaben potenziell sicherer und effizienter als Menschen ausführen können, werden sie für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten äußerst interessant sein. So wurden autonome und unbemannte Fahrzeuge bereits eingesetzt, um Tunnel zu vermessen, Proben in Vulkanen zu nehmen, die Tiefsee zu erforschen, Aufklärung über unzugänglichen Regionen zu betreiben und sogar wissenschaftliche Forschung auf dem Mars zu betreiben.

Visionen von unbemannten und autonomen Maschinen sind nicht neu. Experimente mit unbemannten

Flugzeugen begannen im Ersten Weltkrieg, und ein funkgesteuertes Auto wurde bereits 1925 in den Straßen von New York vorgeführt⁵. Selbstfahrende Schienenfahrzeuge sind seit den 1960er Jahren in U-Bahn-Systemen im Einsatz. In den letzten Jahren wurden beträchtliche Fortschritte auf dem Weg zu autonomen und unbemannten Fahrzeugen erzielt, die immer ausgefeiltere Fähigkeiten der künstlichen Intelligenz und Robotik nutzen. Diese technologischen Fortschritte sind sehr vielversprechend, vor allem in zwei Hauptkategorien von autonomen und unbemannten Fahrzeugen: (i) autonome Bodenfahrzeuge und (ii) unbemannte Luftfahrtsysteme. Die Fortschritte bei autonomen Autos werden wahrscheinlich die größte Veränderung bei Fahrzeugen einleiten, seit der Motorwagen das Pferd und den Wagen ersetzt hat.

Kraftfahrzeuge

Ein vollständig autonomes Kraftfahrzeug ist in der Lage, seine Umgebung wahrzunehmen, zu entscheiden, welche Route es zu seinem Ziel nehmen soll und diese zu fahren. Die Entwicklung dieser Technologie könnte erhebliche Veränderungen im Reiseverkehr ermöglichen; jede*r im Fahrzeug könnte ein*e Passagier*in sein, oder das Fahrzeug könnte sogar ganz ohne Insass*innen fahren.⁶

Schritte in Richtung Fahrzeugautomatisierung finden bereits seit Jahren statt. Antiblockiersysteme (ABS), automatisch aktivierte Sicherheitsmechanismen, sind seit 2007 für neue Pkw in der Europäischen Union (EU) obligatorisch. Assistierte Fahrfunktionen wie Satellitennavigation und Tempomat gehören inzwischen selbst in der Economy-Klasse fast zur Standardausstattung. Moderne Autos enthalten viele elektronische Steuergeräte (ECUs), Computer, die alles steuern, vom Motor eines Autos bis zu den Unterhaltungssystemen an

Bord. Auch die „Drive-by-wire“-Technologie, bei der traditionell mechanische Verbindungen durch elektrische Systeme ersetzt werden (analog zum „Fly-by-wire“ in der Luftfahrt), hat sich zunehmend durchgesetzt. Es wird erwartet, dass sich der Trend zur Automatisierung fortsetzt, und durch die Innovation neuer Funktionen werden sich alltägliche Kraftfahrzeuge wahrscheinlich schrittweise der vollständigen Autonomie annähern. In den nächsten fünf bis zehn Jahren werden wahrscheinlich mehr Fahrerassistenzsysteme (ADAS) zum Standard werden, und es wird erwartet, dass Autos zunehmend digitalisiert und vernetzt werden. Ihre computergestützten Funktionen werden besser integriert werden, mit dem Ziel, vollständig autonome Fähigkeiten zu entwickeln. Die Entwicklung von autonomen Navigationssystemen wird ein wesentlicher Beitrag auf dem Weg zu diesem Ziel sein. Das bedeutet, dass ein Auto nicht nur gefährliche Situationen vermeiden und eine direkte Route zum Ziel einhalten sollte, sondern auch in der Lage sein sollte, verschiedene Routen zu seinem endgültigen Ziel zu wählen, basierend auf Faktoren wie den Verkehrsbedingungen.⁷ Es ist schwer vorherzusagen, wie lange diese Dinge dauern könnten, und sie könnten Zeit brauchen, aber autonomes Fahren wird wahrscheinlich immer fortschrittlicher und alltäglicher werden.

Flugzeuge

Im Bereich der Luftfahrt, verwenden moderne Flugzeuge bereits seit Jahren automatische Landesysteme. Großflughäfen wie der Flughafen Paris-Charles-de-Gaulle lassen nur noch automatisch landende Flugzeuge zu und sind auf diese Weise fast jeden Tag des Jahres in Betrieb. Das Instrumentenlandesystem (ILS) ist ein bodengestütztes Instrumentenanflug-Hilfssystem, das auf zwei Funkstrahlen basiert, die den Pilot*innen während des Landean-

flugs sowohl eine vertikale als auch eine horizontale Führung bieten. Es gibt drei Kategorien von ILS-Geräten in Abhängigkeit von der Sichtweite und Höhe, von Kategorie I, die am wenigsten präzise ist, bis hin zu Kategorie IIIc, die auch bei Null-Sicht funktioniert.

Flugzeuge, die sich einer Landebahn nähern, werden von ihren eingebauten ILS-Empfängern geführt. Viele moderne Flugzeuge können diese Signale in ihren Autopiloten leiten, um automatisch anzufliegen und zu landen. Unter Sichtbedingungen der Kategorie III, das heißt bei einer Sichtweite von weniger als 210 Metern, ist keine manuelle Landung erlaubt, und die automatische Landung ist obligatorisch. Die Rolle der Pilot*innen in diesem Zustand besteht darin, dass sie bei Zweifeln an einer sicheren Landung die Landung abbrechen und durchstarten (engl. go-around). Kurz gesagt, auf den meisten westlichen internationalen Flughäfen landen Verkehrsflugzeuge autonom mit menschlicher (Pilot*innen-)Aufsicht.⁸

Schienerfahrzeuge

Selbstfahrende Züge werden bereits seit den 1960er Jahren in Metro-Systemen eingesetzt und sind heute in Städten auf der ganzen Welt zu finden. Viele haben eine*n Fahrer*in oder Schaffner*in an Bord, um einige Funktionen zu bedienen oder als Sicherheitsvorkehrung, aber Metro-Systeme werden zunehmend ohne jegliches Personal an Bord betrieben.

Der Einsatz von autonomer Technologie wurde bisher nicht in überirdischen, geländegängigen Zügen eingesetzt, da diese in weniger kontrollierten Umgebungen arbeiten und mit höheren Geschwindigkeiten fahren.

Dementsprechend wäre es für Fußgänger*innen oder ein Hindernis leichter, auf die Gleise zu gelangen, und es wären wesentlich leistungsfähigere Sensoren zur Erkennung von Hindernissen erforderlich, um einen ausreichenden Anhalteweg zu

erreichen. Zudem ist der Anhalteweg eines Zuges viel länger als der eines Autos, das heißt er kann aus hohen Geschwindigkeiten sogar mehrere Kilometer betragen. Dies bleibt ein Entwicklungsbereich für die Zukunft. In den letzten Jahren wurden bereits einige autonome Zugsysteme eingesetzt, darunter eines in Ohio, das Kohle von einer Mine zu einem Kraftwerk transportierte. Dieser Zug befand sich jedoch in einem abgelegenen Gebiet mit minimalen Gefahren, wie es auch für U-Bahnen gilt. Da U-Bahn-Systeme zudem von eigenen, separaten Netzwerken gesteuert werden, sind sie auch weniger anfällig für Cyberangriffe, vorausgesetzt, die lokale Netzwerkverkabelung ihres Steuerungssystems ist physisch geschützt, und es wird keine Funktechnologie verwendet.⁹

Schiffe

USVs werden als Schiffe definiert, die hauptsächlich durch automatisierte Entscheidungssysteme an Bord geführt werden, aber von einem Bediener in einer landseitigen Kontrollstation ferngesteuert werden können. Sie wurden auch als autonome Oberflächenfahrzeuge (ASC) bezeichnet. Wie der Name schon sagt, entfernen sie die Bediener von der Plattform und ermöglichen neue Betriebsarten. Da die globalen Positionierungssysteme (GPS) kompakter, effektiver und erschwinglicher geworden sind, sind die USVs leistungsfähiger geworden. Erschwingliche drahtlose Daten-systeme mit großer Reichweite und höherer Bandbreite waren ebenfalls ein Schlüssel zum schnellen Wachstum von USVs für viele Anwendungen. Zu den häufigen Anwendungsfällen gehören Wissenschaft, bathymetrische Kartierung, Verteidigung und allgemeine Robotikforschung.¹⁰ Im Rahmen des Catlin Sea-View-Vermessungsprojekts¹¹ werden ferngesteuerte autonome Unterwasserfahrzeuge (AUVs) eingesetzt, um die mesosphärische

Zone in einer Tiefe von 30 bis 100 Metern zu erkunden. Die AUVs können stundenlang Korallenriffe ohne die Grenzen der menschlichen Physiologie erforschen, Proben aus dieser Tiefe sammeln, Ausrüstung zu Tauchern transportieren oder sogar Erkundungsfahrten durchführen. Sie verfügen auch über ein Ultra-Short-Baseline (USBL)-Geopositionierungssystem, um genaue GPS-Fixes unter Wasser zu erfassen, und verwenden Sensoren für Tiefe, Temperatur, Kurs, Neigung und Höhe (Abstand vom Boden).

Heute gibt es auch Forschungsaktivitäten zur Entwicklung autonomer, unbemannter Hochseefrachtschiffe. Eines der Projekte ist Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN)¹². Es ist ein kollaboratives Forschungsprojekt, das von der Europäischen Kommission mitfinanziert wird. MUNIN zielt darauf ab, ein Konzept für ein autonomes Schiff zu entwickeln und zu verifizieren, da der Seeverkehr innerhalb der EU vor Herausforderungen steht, wie zum Beispiel eine erhebliche Zunahme des Transportvolumens, wachsende Umwelanforderungen und ein Mangel an Seeleuten in der Zukunft. Das Konzept des autonomen Schiffs birgt das Potenzial, diese Herausforderungen zu überwinden. Es ermöglicht einen weitaus effizienteren und wettbewerbsfähigeren Schiffsbetrieb und erhöht die Umweltleistung der Schiffe.

USVs der Zukunft können ferngesteuert oder autonom agieren. In beiden Fällen könnte das Schiff unbemannt oder mit einer Notbesatzung bemannt sein. Natürlich kann es in beiden Fällen viele verschiedene Lösungen geben, zum Beispiel in Bezug auf die Anzahl und Qualifikation der Besatzung (falls vorhanden) oder die Methode der Fernsteuerung, entweder von der Landstation oder von einem Begleitschiff (Master-Slave-Konzept, bei dem das „Master-Schiff“ mehrere begleitende „Slave-Schiffe“ fernsteuern

kann). Aber auch bei vollautonomen Schiffen wird der Mensch immer auf die eine oder andere Weise beteiligt sein, um solche Schiffe sicher zu betreiben. Wenn das Schiff von einer Landstation oder einem anderen Schiff ferngesteuert wird, haben wir das Konzept des „Fernkapitäns“, der das Schiff über eine digitale Fernverbindung steuert, und das Steuerungssystem wird an Land oder auf ein anderes Schiff übertragen, wo es eine Navigationscrew gibt, die der normalerweise an Bord vorhandenen Crew ähnelt, aber mehreren Schiffen zugeordnet ist. Wenn das Schiff völlig autonom ist, dann haben wir das Konzept des „Computerkapitäns“ und das Schiff wird mit einem leistungsstarken Computer und einer Software ausgestattet sein, die mit Hilfe von künstlicher Intelligenz alle Entscheidungen selbst trifft. Sicherlich muss ein solches Schiff von der Landstation aus beobachtet werden, aber die Entscheidung, die Systeme des Schiffes außer Kraft zu setzen, werden nur im Notfall getroffen. In der Praxis ist es möglich, dass eine Mischung aus beiden Systemen verwendet wird. Nach allgemeiner Meinung ist die für den Bau und Betrieb intelligenter Schiffe notwendige Technologie bereits vorhanden oder zumindest in der Endphase der Entwicklung. Das gilt für das Sammeln, Verarbeiten und Übertragen der Daten von Sensoren und Geräten an Bord des Schiffes und die Weiterleitung an die Landstation, für eine einheitliche Brücke für ferngesteuerte unbemannte Schiffe, für effektive autonome Kollisionsvermeidungssysteme und für fortschrittliche Sensorik.¹³ Im Folgenden wird das Konzept und der Lösungsansatz für eine Fernsteuerung von Binnenschiffen beschrieben, wie es im Rahmen des Projektes FernBin² umgesetzt werden soll.

Konzepte und Lösungen

Für die Fernsteuerung von Schiffen ist ein umfassendes Konzept aus hochauflösender Sensorik, digital

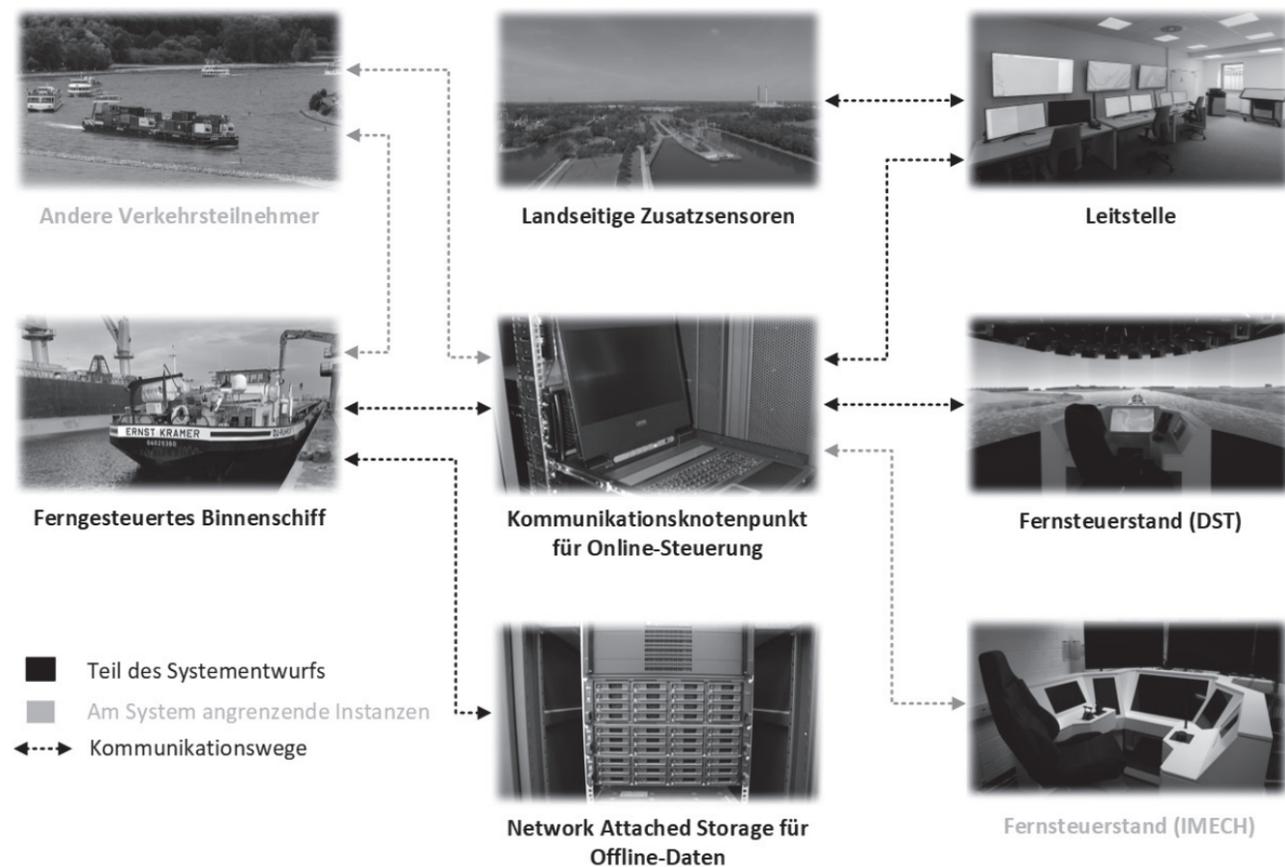
ansprechbarer Aktuatorik und modernen Breitbandkommunikationsmitteln notwendig. Für unterstützende Assistenzsysteme und die Erhöhung der Sicherheit werden Modelle verschiedener Komplexitätsstufen entwickelt.

In Abbildung (1) sind die Instanzen, die Bestandteil des Systems sind, sowie Instanzen, die Schnittstellen zum Gesamtsystem besitzen, dargestellt. Das Binnenschiff kann über den Kommunikationsknotenpunkt von einem Fernsteuerstand gesteuert werden. Über einen zweiten Fernsteuerstand kann die Übernahme der Schiffsführung zweier entfernt sitzender Schiffsführer*innen ermöglicht werden.

Während über den Kommunikationsknotenpunkt alle erforderlichen Informationen für eine Remote-Steuerung bereitgestellt werden, werden über eine zweite Schnittstelle weitere Daten in einen Network attached Storage (NAS) zur Entwicklung von Modellen und Subsystemen aufgezeichnet. Verkehrsteilnehmer*innen auf Binnengewässern kommunizieren in der Regel direkt über Sprechfunk und AIS (Automatisches Identifikationssystem). Im Falle der Fernsteuerung leitet das Schiff die Kommunikation über den Kommunikationsknotenpunkt zum Fernsteuerstand weiter. Die Leitstelle nimmt eine überwachende und koordinative Rolle ein, welche vor dem Hintergrund eines Verkehrs aus ferngesteuerten, automatisierten und konventionellen Schiffen an Relevanz gewinnt. Während die Leitstelle über den Kommunikationsknotenpunkt direkt mit ferngesteuerten und automatisierten Schiffen kommunizieren kann, werden weitere Informationen durch landseitige Zusatzsensoren, wie zum Beispiel Lichtschranken, gewonnen.

Kommunikation

Zentrale Voraussetzung für die Fernsteuerung von Binnenschiffen ist die zuverlässige Übertragung von



(1) Systemübersicht ferngesteuertes Binnenschiff
Quelle: eigene Aufnahmen der Projektpartner

Informationen nahe Echtzeit. Die Übertragung zwischen Landseite und Schiff stellt einen besonderen Engpass dar. In Tabelle (1) ist ein Überblick über verfügbare terrestrische Kommunikationssysteme für autonome respektive ferngesteuerte Schiffe dargestellt. Nicht alle Kommunikationssysteme eignen sich für die hohen Anforderungen einer Schiffsfernsteuerung. Das Kurzwellen- und Ultrakurzwellenband scheiden aufgrund niedriger Datenübertragungsraten aus. Während 802.11p für Verkehrstelematik (ITS) und WiFi eine ausreichende Datenübertragungsraten bieten, sind sie jedoch aufgrund mäßiger Reichweiten oder unzureichenden Ausbaus der Infrastruktur ungeeignet. 4G bietet neben hohen Datenübertragungsraten auch eine gute Netzabdeckung. Nach Angaben der Bundesnetzagentur liegt die 4G-Netzabdeckung von mindestens einem Mobilfunknetzbe-

treiber bei 96,5 Prozent der Fläche in Deutschland. Der Anteil der Fläche in Deutschland ganz ohne Mobilfunkversorgung liegt bei nur 0,3 Prozent (Stand Oktober 2020)¹⁴. Das 5G-Mobilfunknetz ist bisher nur in einzelnen Städten verfügbar. Sein geplanter intensiver Ausbau birgt zukünftig ein großes Potential zur zuverlässigen Übertragung großer Datenmengen.

Im Rahmen des Projekts wird vorwiegend die 4G Telekommunikation eingesetzt. An Orten mit einem verfügbaren 5G Telekommunikationsnetz wird dieses ebenfalls verwendet. Um die maximale Netzabdeckung auszunutzen, werden Telekommunikationsnetze verschiedener Anbieter verwendet. Aufgrund der Länge gängiger Binnenschiffe von über 100 Metern werden mehrere Mobilfunkrouter und Mobilfunkantennen auf dem Schiff verteilt. Die örtliche Distanz bietet eine zuverlässige

Mobilfunkverbindung. Insbesondere bei Brückendurchfahrten kann die örtliche Distanz entscheidend zur zuverlässigen Kommunikation beitragen.

Um die notwendige zu übertragenden Datenmengen zwischen Landseite und Schiff möglichst gering zu halten, findet die Kommunikation über einen zentralen Knotenpunkt statt. Jegliche Kommunikation zwischen ferngesteuertem Schiff, Fernsteuerstand und Leitstelle verläuft über diesen Knotenpunkt. Als Kommunikationslösung zwischen den örtlich entfernten Instanzen wird ein virtuelles privates Netzwerk (VPN) erstellt. Die hohe Komplexität des Gesamtsystems erfordert eine geregelte und plattformunabhängige Kommunikation zwischen einzelnen Modulen. Eine geeignete Lösung stellt die Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) dar. Der

	802.11p für ITS	WiFi	LTE/4G	5G mmW	Ultrakurzwellen (VHF)	Kurzwellen (HF)
Spektrum	5.9 GHz	2,4/5 GHz	450 MHz - 3,7 GHz	24-86 GHz	30-300 MHz	3-30 MHz
Bandbreite	10 MHz	20/40 MHz	von 1,4 MHz bis 20 MHz	bis zu wenigen GHz	25 kHz-Kanäle, können gebündelt werden z.B. auf 100 kHz	bis zu 48 kHz
Maximale Bitrate	27 Mbit/s	600 Mbit/s	75/300 Mbit/s für UL/DL	bis zu 20 Gbit/s	VDES: bis zu 307 kb/s	bis zu 240 kb/s
TX-Reichweite	< 1 km	typisch < 100 m, bis zu 10 km mit festem Dienst	typischerweise < 2 km bis zu 70 km mit Richtantennen	< 10 m bei 60 GHz WiFi, Dutzende von Kilometern bei festen Verbindungen	bis zu 85 km	Tausende von Kilometer
Kosten	günstig	günstig	teuer	günstig (WiFi) teuer (Mobilfunk)	günstig	günstig

(T 1) Vergleich von terrestrischen Kommunikationssystemen für autonome Schiffe
Quelle: übersetzt aus Hoytya M, Huusko J, Kiviranta M, Solberg K, Rokka J. Connectivity for autonomous ships: Architecture, use cases, and research challenges. In: ICT convergence technologies leading the fourth industrial revolution. ICTC 2017: International Conference on ICT Convergence 2017: October 18–20, 2017, Lotte City Hotel Jeju, Jeju Island, Korea. IEEE, Piscataway, NJ, 2017

Kommunikationsknotenpunkt beinhaltet verschiedene Dienste zum echtzeitnahen Austausch von Zustandsgrößen, Steuerungs-, Meta-, Video-, Audio- sowie weiteren Sensordaten. Zentrale Bausteine des Kommunikationsknotenpunktes sind VPN-, OPC UA-, Voice over IP- und Video-Server. Durch diesen zentralen Kommunikationsansatz kann auch die Übernahme der Schiffsführung durch einen zweiten Fernsteuerstand mit Schiffsführer verhältnismäßig einfach realisiert werden.

Aufbau Fernsteuerstand

Zentrale Anforderungen an den Fernsteuerstand sind ein ergonomisches und ein den Schiffsführer*innen vertrautes Arbeitsumfeld, situationsgerechte Darstellung an Informationen sowie eine variable, geeignete Darstellung und Steuerung für verschiedene Schiffstypen. Der Aufbau des Fernsteuerstandes erfolgte nach der DIN EN 1864. Als visuelles Darstellungsmedium der Schiffsumgebung dient ein zylinderförmiges 360°-Projektionssystem mit acht Metern Durchmesser und 19 Projektoren (Abb. 1). In Kombination mit einer 360° Fisheye Kamera wird die Sicht aus dem Steuerhaus des fernzusteuern Schiffs projiziert. Weiterhin wird der*die

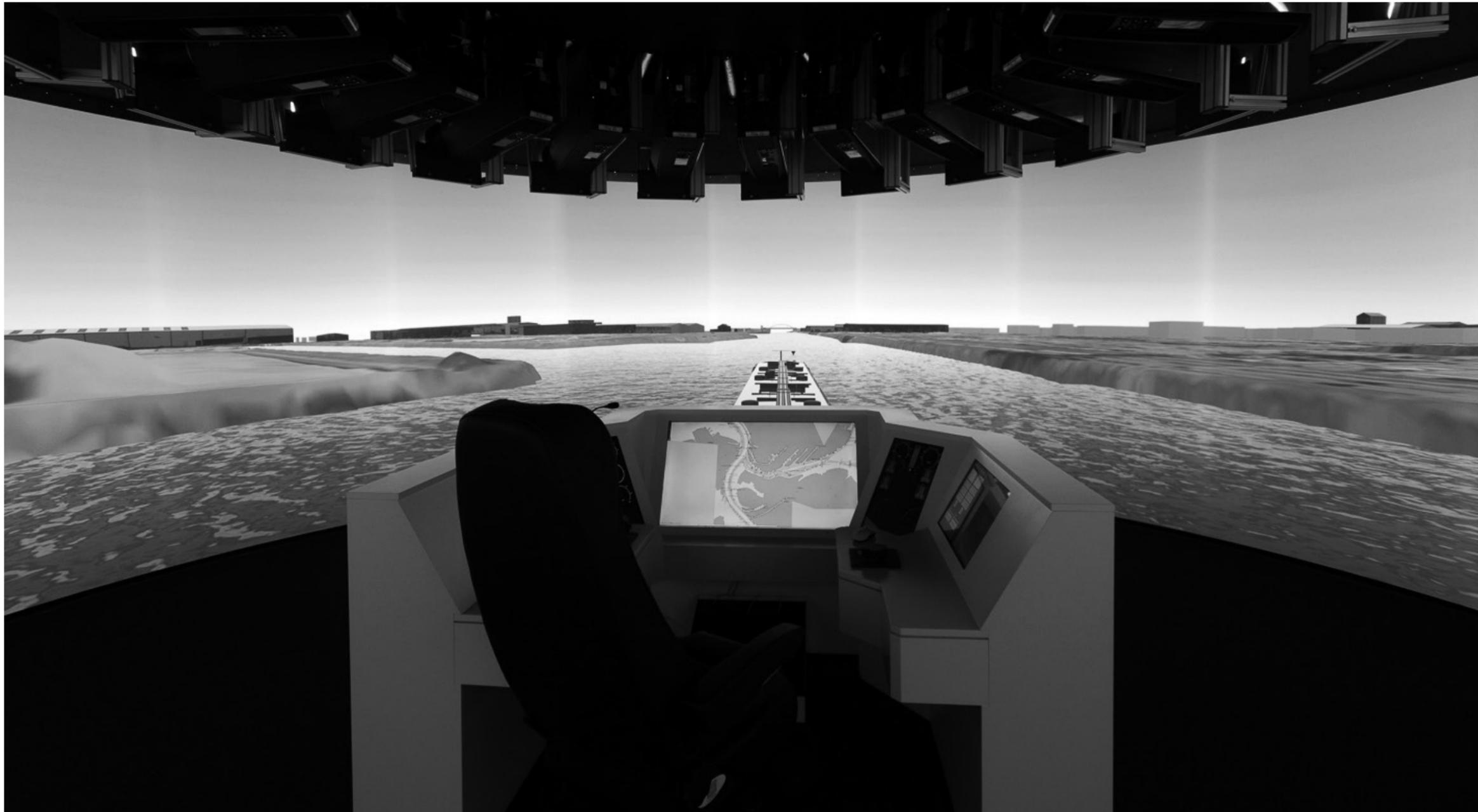
entfernt sitzende Schiffsführer*in durch Algorithmen aus dem Bereich der Mixed Reality unterstützt, indem zum Beispiel Hindernisse umrahmt und Details zur Schiffsumgebung eingeblendet werden. Die direkte Steuerung des Schiffes erfolgt durch moderne Brückenhebel auf Industriestandard. Bis auf wenige Ausnahmen, wie zum Beispiel Taster für Funkkommunikation, werden alle weiteren Bedienelemente virtualisiert. Die Darstellungen und Bedienungen erfolgen über Touchscreens. Dadurch kann die Funktionsweise des Steuerstands auf unterschiedlichste Schiffstypen mit verschiedenen Bedienmöglichkeiten gewährleistet werden. Weiterhin ist eine optimierte und individuelle Anordnung der Bedien- und Anzeigeelemente möglich.

Unterstützung durch Assistenzsysteme

Zur sicheren ferngesteuerten Schiffsführung werden moderne und bereits erprobte Fahrerassistenzsysteme eingesetzt, eigene Assistenzsysteme entwickelt und bestehende erweitert. Dazu zählt der ArgoTrackPilot der Argonics GmbH, welcher die Bahnführung des Schiffes entlang einer vorgegebenen Leitlinie automatisiert. Die Leitlinie kann vom Schiffsführer vorgegeben oder angepasst werden.

Durch die Optimierung der Leitlinie unter Berücksichtigung der Abladung (Eintauchtiefe eines Schiffes), Strömung und Wasserstand wird eine Treibstoffersparnis möglich. Weiterhin wird im Rahmen des Projekts ein modellbasierter Trajektorienplanungsalgorithmus entwickelt, der dem*der Schiffsführer*in optimierte Trajektorien zur automatisierten Schiffsführung vorschlägt. Durch Analyse der Leitlinie wird ein vorausschauendes und energiesparendes Fahren realisiert. Für Begegnungs- und Überholvorgänge steht den Schiffsführer*innen eine anwendungsfreundliche Möglichkeit zum Einstellen eines Querversatzes zur Verfügung. Mit modernster Sensorik wie Lidar-, Kamera- und Radarsystemen und deren Fusion werden Hindernisse in der Umgebung identifiziert und getrackt. Relevante Metadaten werden den Schiffsführer*innen eingeblendet. Weiterhin werden identifizierte Hindernisse in der Trajektorien Planung berücksichtigt.

Zur Erhöhung der Sicherheit werden Situationen mit etwaigen Gefahrenpotential erfasst. Durch die statistische Aufbereitung umfassender Verkehrsdaten, wie Pegelstände, Begegnungs- und Überholvorgänge, ufernahe Fahrten, enge Kurvenfahrt werden solche Situationen zunächst in Anlehnung an „PIANC



(2) Fernsteuerstand mit 360° Projektionssystem.
Auf der Projektionsfläche ist eine Simulationsumgebung dargestellt.
Quelle: eigene Aufnahmen der Projektpartner

InCom WG 141: Design Guidelines for Inland Waterway Dimensions“¹⁶ typisiert. Im laufenden Betrieb wird die aktuelle Situation erfasst und den Schiffsführer*innen der Situationstyp entsprechend visualisiert. Dadurch kann der*die Schiffsführer*in das Gefahrenpotential der aktuellen Verkehrssituation schnell und zuverlässig einschätzen. Gleichzeitig werden sowohl der Schiffsführung als auch

der wachhabenden Person in der Leitstelle konkrete Handlungsstrategien vorgeschlagen. Die Vereinigung von Umfelderkennung und Prädiktion der Trajektorie des Eigenschiffes sowie anderer Verkehrsteilnehmer*innen ist Bestandteil eines Kollisionswarnsystems. Situationen mit etwaigem Risiko für eine Kollision oder einer Havarie führen zu einer unmittelbaren Warnung der Schiffsführer*innen. Neben den herkömmlichen Informationen wie Umgebungsbild und ECDIS-Karte werden den Schiffsführer*innen zusätzlich aufbereitete Informationen zur Verfügung gestellt, um auf die Verkehrssituation angemessen zu reagieren. Im Falle von Verbindungsabbrüchen werden automatisiert Notfallfunktionen eingeleitet, die das Schiff in einen sicheren Zustand versetzen.

führer*innen. Neben den herkömmlichen Informationen wie Umgebungsbild und ECDIS-Karte werden den Schiffsführer*innen zusätzlich aufbereitete Informationen zur Verfügung gestellt, um auf die Verkehrssituation angemessen zu reagieren. Im Falle von Verbindungsabbrüchen werden automatisiert Notfallfunktionen eingeleitet, die das Schiff in einen sicheren Zustand versetzen.

Fazit

Die ferngesteuerte, vernetzte und automatisierte Binnenschifffahrt bietet großes Potential, die Sicherheit, Wirtschaftlichkeit sowie Ökologie positiv zu beeinflussen und stellt eine geeignete Antwort auf die derzeitigen Herausforderungen der Branche dar. Der zunehmende Ausbau moderner Breitbandkom-

munikationsmittel und sinkende Kosten für moderne und hochauflösende Sensorik öffnen neue Wege an Mobilitätslösungen in der Binnenschifffahrt. Solche „Smart Ships“ können nicht nur dem aktuellen Personalmangel der Branche entgegenwirken, sondern auch kraftstoffeffizienter und ökologischer fahren. Insbesondere reduzierte Personalkosten können Binnenschiffe mit kleinen

Frachtmengen rentabel gestalten. So können neue Vertriebswege erschlossen beziehungsweise bestehende Vertriebswege von der Straße zum Binnengewässer verlagert werden. Im Gegensatz zur Straße, die zunehmend an ihre Kapazitätsgrenze stößt, bieten Binnengewässer weitere ungenutzte Verkehrskapazitäten. Auf dem Weg zum vollautomatisierten Schiff repräsentiert die Fernsteuerung eine Schlüssellösung, die die Automatisierung frühzeitig rentabel gestaltet. Weiterhin trägt die Möglichkeit des Eingreifens aus der Ferne der Sicherheit und der öffentlichen Akzeptanz unbemanneter Schiffe bei.

Summary

Remote-controlled, interconnected and automated inland navigation offers great potential to positively influence safety, economy and ecology. Moreover, it represents a suitable response to the current challenges of the industry. The increasing development of modern broadband communication and decreasing costs for modern and high-resolution sensor technologies open up new ways of mobility solutions in inland navigation. Such ‘smart ships’ can not only counteract the current shortage of personnel in the industry, but also operate more fuel-efficiently and ecologically. In particular, reduced personnel costs can make inland vessels with small freight volumes profitable. In this way, new distribution channels can be developed or existing distribution channels can be shifted from the road to inland waterways. In contrast to the road, which is increasingly closer to reaching its capacity limits, inland waterways offer further unused transport capacity. On the way to a fully automated ship, remote control represents a key solution that makes automation profitable at an early stage. Furthermore, the-

possibility of remote intervention contributes to safety and the public acceptance of unmanned vessels.

Amerkungen/Literatur

- 1) Henn R, Holtmann B. Autonomes Fahren in der Binnenschifffahrt. Machbarkeitsstudie für ein Testfeld im Ruhrgebiet, Duisburg 2018.
- 2) FernBin. Ferngesteuertes, koordiniertes Fahren in der Binnenschifffahrt. <https://www.uni-due.de/mechatronik/forschung/fernbin/>, Zugriff: 14.01.2021.
- 3) Ccnr. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt – Pressemitteilungen. Erste internationale Definition der Automatisierungsgrade in der Binnenschifffahrt. <https://www.ccr-zkr.org/files/documents/cpresse/cp20181219de.pdf>, Zugriff: 04.06.2021.
- 4) NIST. Autonomy Levels For Unmanned Systems. <https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/cognition-and-collaboration-systems/autonomy-levels-unmanned>, Zugriff: 21.05.2021.
- 5) Maurer M, Gerdes JC, Lenz B, Winner H. Autonomes Fahren. technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Springer-Verlag 2015.
- 6) Schramm D, Hesse B, Maas N, Unterreiner M. Vehicle technology. Technical foundations of current and future motor vehicles. [1. Auflage] De Gruyter Oldenbourg, Berlin 2020.
- 7) Weber T, Frey J, Schramm D. Weather Module Extension of a Driving Simulation Environment for ADAS and DAS Research. In: 7th Symposium Driving Simulation 2021, Stuttgart, 2021.
- 8) Airbus. getting to grips with CAT II/CAT III operations 2001.
- 9) Fendrich L, Fengler W (Hrsg. 2019). Handbuch Eisenbahninfrastruktur. 3. Aufl. 2019 Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019.
- 10) Manley JE. Unmanned surface vehicles, 15 years of development. In: Oceans 2008. Quebec City, QC, Canada, 15–18 September 2008 1–4. IEEE, Piscataway, NJ, 2008.
- 11) XL Catlin Seaview Survey. <https://www.catlinseaviewsurvey.com/>, Zugriff: 21.05.2021.
- 12) MUNIN. Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks. <http://www.unmanned-ship.org/munin/>, Zugriff: 21.05.2021.
- 13) Kobyli ski L. Smart ships – autonomous or remote controlled? Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie 2018; nr 53 (125).
- 14) Bundesnetzagentur – Mobilfunknetze. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html, Zugriff: 26.05.2021.
- 15) Hoyhtya M, Huusko J, Kiviranta M, Solberg K, Rokka J. Connectivity for auto-

nomous ships: Architecture, use cases, and research challenges. In: ICT convergence technologies leading the fourth industrial revolution. ICTC 2017: International Conference on ICT Convergence 2017: October 18–20, 2017, Lotte City Hotel Jeju, Jeju Island, Korea. IEEE, Piscataway, NJ, 2017. 16) Söhngen B, Rettemeier K. Design Guidelines for Inland Waterways (PIANC-INCOM WG 141). SMART RIVERS 2013 Liege (BE), Maastricht (NL), 23–27 September 2013 2013: 1–9.

Die Autoren

Maximilian Hohn, M.Sc., studierte von 2012 bis 2019 Maschinenbau mit der Fachrichtung Mechatronik an der Universität Duisburg-Essen. Seit seinem Studienabschluss ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig, arbeitet und forscht an intelligenten Mobilitätslösungen im Bereich der Binnenschifffahrt und der E-Mobilität.

Dr.-Ing. **Thomas Weber**, M.Sc., erhielt 2008 ein Diplom in Luft- und Raumfahrttechnik von der Universität der Bundeswehr München und war dann bis 2015 im Bereich der Flugsicherung als Lotse und Systemingenieur eingesetzt. Nach seiner Dienstzeit bildete er sich an der Universität Duisburg-Essen im Masterprogramm Automotive Engineering & Management fort. Seit 2017 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mechatronik der Universität Duisburg-Essen, wo er sich seitdem insbesondere mit Projekten zukünftiger Fahrzeug- und Fahrerassistenzsysteme beschäftigt. Neben dem BMWi geförderten Projekt Seeroad war er auch für ein Industrieprojekt mit der Daimler AG verantwortlich. Seit 2021 arbeitet er an dem Forschungsprojekt FernBin und verantwortet dort das Arbeitspaket zur landseitigen Umsetzung des Fernsteuerstandes für Binnenschiffe.



Thomas Weber. Foto: Daniel Schumann

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
D U I S B U R G
E S S E N

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/78102

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230331-152902-3

Erschienen in: UNIKATE 59 (2023), S. 140-151

Alle Rechte vorbehalten.