



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Expertennetzwerk
Wissen Können Handeln

Digitale Technologien konsequent entwickeln und anwenden

Ergebnisbericht des Themenfeldes 4 im BMVI-Expertennetzwerk für die
Forschungsphase 2016 – 2019



BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE



bfg Bundesanstalt für
Gewässerkunde



Bundesanstalt für Straßenwesen

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

Inhalt

Kurzfassung	4
Executive summary	5
1 Hintergrund und Zielstellung	6
1.1 Definition Digitalisierung und zugehörige Trends	6
1.2 Potenziale der Digitalisierung.....	6
1.3 Aufgaben und Risiken aus der Digitalisierung für Behörden.....	7
1.4 Das BMVI-Expertennetzwerk Wissen – Können – Handeln	7
1.5 BMVI-Expertennetzwerk – Themenfeld 4.....	8
1.6 Zusammenfassung der Aufgaben des Themenfeldes 4.....	9
2 Datenmanagement und Datenhaltung	11
2.1 Datenhaltung und Datenaustausch.....	11
2.1.1 Erstellung eines Konzeptes zum Datenaustausch in den Behörden	11
2.1.2 Pilotprojekt Datenaustausch mittels SWIM.....	12
2.2 Datenverarbeitung.....	14
2.2.1 Stand der Technik in den Behörden.....	14
2.2.2 Neue Methoden zur Datenverarbeitung	15
2.2.3 Potenziale der Methoden für die Behörden	15
2.2.4 Konzept zur optimierten Datenverarbeitung in den Behörden	16
3 Digitalisierung in den Behörden	17
3.1 Beispielprojekte in den Behörden.....	17
3.2 Potenziale für BIM und das autonome Fahren.....	18
3.3 Anforderungsmanagement für Forschungsprojekte.....	19
4 Technologietrends erkennen und bewerten	22
4.1 Potenziale der Technologien Virtual und Augmented Reality	22
4.1.1 Einordnung des Technologietrends.....	22
4.1.2 Virtual und Augmented Reality	22
4.1.3 Exemplarische Anwendungspotenziale im Bauwesen.....	24
4.2 Bewertung des Technologietrends "Autonomisierung" am Beispiel der (See-)Schifffahrt	25
4.2.1 Flankierende Entwicklungen zum Technologietrend Autonomisierung	26
4.2.2 Beispiele aus Wissenschaft, Forschung und Entwicklung	27
4.2.3 Technologiebereitschaft und Technologievorausschau.....	29
4.2.4 Ökonomische Betrachtungen	30
4.2.5 Zusammenfassende Beurteilung des Technologietrends	32
5 Fazit und Ausblick	35
5.1 Wichtige Erkenntnisse	35
5.2 Nutzung der Ergebnisse	36
5.3 Schwerpunkte der nächsten Bearbeitungsphase ab 2020	36
6 Literatur	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Struktur der Vernetzung innerhalb des BMVI-Expertennetzwerks.....	8
Abbildung 2:	Themenfelder des BMVI-Expertennetzwerks im Kontext der Forschungsstrategie 2030.....	9
Abbildung 3:	Akteure der SWIM-Infrastruktur (Quelle: SWIM Fact Sheet/Eurocontrol).....	12
Abbildung 4:	AIRM - Beziehungen der Datenmodelle.....	13
Abbildung 5:	Funktionsweise SWIM (Quelle: SWIM Fact Sheet/Eurocontrol).....	13
Abbildung 6:	Prozess der Anforderungsermittlung.....	20
Abbildung 7:	Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (Milgram et al., 1995).....	23
Abbildung 8:	Beispiele für Ausgabegeräte.....	24
Abbildung 9:	Designvariante einer autonomen Fähre in Kiel (Quelle: Muthesius Kunsthochschule).....	28
Abbildung 10:	Design der YARA Birkeland (Quelle: Kongsberg).....	29
Abbildung 11:	Roadmap (Quelle: OFFIS).....	30
Abbildung 12:	Technology Readiness Levels im maritimen Sektor (Quelle: OFFIS).....	31
Abbildung 13:	Anteil der Ladung nach Schiffstypen (Quelle: Berenberg Bank & HWWI).....	32

Abkürzungsverzeichnis

AIRM	Air Traffic Management Information Reference Model
AIS	Automatisches Identifikationssystem
AIXM	Aeronautical Information Exchange Model
ALM	Additive Layer Manufacturing, 3D-Druck
AMHS	Advanced Message Handling System
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CAPTin Kiel	Clean Autonomous Public Transport in Kiel
CAVE	Cave Automatic Virtual Environments
CML	Fraunhofer Center for Maritime Logistics
DFS	Deutsche Flugsicherung
DWD	Deutscher Wetterdienst
DZSF	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
eMIR	eMaritime Integrated Reference
FIXM	Flight Information Exchange Model
GANP	Global Air Navigation Plan
GIS	Geoinformationssysteme
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHO	Internationalen Hydrografischen Organisation
IMO	Internationale Seeschifffahrts-Organisation
IWXMX	ICAO Weather Exchange Model
MASS	Maritime Autonomous Surface Ships
METAR	Meteorological Aerodrome Report
METP	Meteorological Panel
MIE	Meteorological Information Exchange
MR	Mixed Reality
MSC	Marine Safety Committee
MUNIN	Maritime Unmanned Navigation Through Intelligence In Networks
SIGMET	Significant Meteorological Information
SOA	Service Oriented Architecture
SWIM	System Wide Information Management
TAF	Terminal Aerodrome Forecast
TEU	Twenty-Foot Equivalent, Standard Container
TRL	Technology Readiness Level, Technologiereifegrad
V2X	Vehicle to Everything, Kommunikationsstandard
WMO	World Meteorological Organization
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Kurzfassung

Dieser Bericht enthält die Ergebnisse des Themenfeldes "Digitale Technologien konsequent entwickeln und anwenden" (Themenfeld 4) nach der ersten Phase des BMVI-Expertennetzwerks. Der Fokus im Themenfeld liegt dabei auf der Erschließung bestehender Technologien und nicht auf der Neuentwicklung. Der Mehrwert digitaler Technologien für Verkehr und Infrastruktur (Schwerpunktthema 3, Kapitel 4) sowie daraus resultierende Anforderungen an das Datenmanagement und die Datenhaltung (Schwerpunktthema 1, Kapitel 2) sowie insbesondere Anforderungen an interne Prozesse in den beteiligten Behörden (Schwerpunktthema 2, Kapitel 3) werden betrachtet und analysiert. Diese Erkenntnisse dienen als Grundlage für den Wissenstransfer in Bezug auf die vorliegende Thematik im gesamten Netzwerk.

Ziel des Schwerpunktthemas 1 ist die Identifikation von Bedarfen in den Behörden und speziell im BMVI-Expertennetzwerk im Hinblick auf Datenformate und Datenauswertung. Dabei ist das übergeordnete Ziel, behördenübergreifende Analysen der Datensätze durchführen zu können. Die erarbeiteten Erkenntnisse aus der Standardisierung der Datenübertragung in der Flugmetereologie werden dabei helfen, eine möglichst allgemeingültige Definition für behördenübergreifende Datenformate zu finden. Zusätzlich sollen neue Formen der Datenanalysen für Behörden erschlossen werden. Die Voruntersuchung für die Nutzung neuer Analysemethoden für die Behörden des BMVI-Expertennetzwerks ermöglichte es, ein erstes Konzept zu entwickeln, an dessen Umsetzung zu Testzwecken gearbeitet wird.

Ein bedeutender Trend, der in den letzten drei Jahrzehnten zu großen wirtschaftlichen (Industrie 4.0) und gesellschaftlichen Veränderungen (digitale Gesellschaft) geführt hat, ist die Digitalisierung. Dieser Begriff umschreibt die Transformation von klassischen analogen Abläufen hin zu elektronisch gestützten Prozessen mittels Informations- und Kommunikationstechnik. Für die Bundesbehörden ist die Digitalisierung eine Chance, Prozesse effizienter und transparenter zu gestalten. Sie stellt sie aber auch vor Herausforderungen. Im Schwerpunktthema 2 des Themenfeldes 4 des BMVI-Expertennetzwerks wurde daher in der ersten

Phase untersucht, wie für die Behörden des BMVI-Expertennetzwerks Chancen besser genutzt und Herausforderungen gemeistert werden können.

Im Schwerpunktthema 3 werden aktuelle Technologietrends für das Verkehrswesen bewertet. Durch Nutzungsbeispiele werden die untersuchten Technologietrends der Politik und Administration veranschaulicht. Durch Handlungsoptionen werden Möglichkeiten aufgezeigt, die untersuchten Technologietrends für die Mobilität nutzbar zu machen. Für die Technologien Virtual und Augmented Reality wird zunächst der Stand der Technik verschiedener Systemkomponenten beleuchtet. Auf dieser Basis werden exemplarisch Nutzungspotenziale im Bauwesen aufgezeigt, die einen Beitrag zur Lösung aktueller Fragestellungen leisten können. Die aufgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Technologien potenziell Prozesse, unter anderem durch bessere Vorstellbarkeit und Veranschaulichung komplexer Daten, optimieren können.

Weiter wurde für den Verkehrsträger Wasser und Wasserstraße am Beispiel der Seeschifffahrt die zunehmende Automatisierung und Autonomisierung erörtert. Die Ergebnisse einer Umfeldanalyse bescheinigen den Prozess der Autonomisierung als einen wichtigen Innovationspfad der derzeitigen technologischen Entwicklung in der Seeschifffahrt. Die Autonomisierung als Prozess hat das Potenzial, die Sicherheit auf See zu steigern und die Umweltfreundlichkeit der Seeschifffahrt zu erhöhen.

Die Digitalisierung wird maßgeblich die weitere Entwicklung der Menschheit prägen. Die Optionen, die sich aus den digitalen Technologien ergeben, sind nicht absehbar und die Entwicklung ist in der aktuellen Phase noch stark beeinflussbar. Das Hauptziel der ersten Phase von Themenfeld 4 im BMVI-Expertennetzwerk war es, exemplarisch einige dominante Entwicklungen mit Einfluss auf die Verkehrssysteme zu identifizieren und darauf aufbauend erste Konzepte zu erarbeiten, die besagen, wie damit umgegangen werden kann. Ziel der zweiten Phase wird es sein, daraus konkrete Umsetzungen oder Handlungsoptionen abzuleiten.

Executive summary

This report contains the findings of Topic 4 – "Systematically Develop and Apply Digital Technologies" – following the first phase of the BMVI Network of Experts. The focus of this topic is on the migration of existing technologies and not on the development of new ones. The report addresses and analyses the added value of digital technologies for transport and infrastructure, the resultant requirements to be met by data management and data storage plus, in particular, requirements to be met by internal processes at the authorities involved. These findings serve as a basis for the transfer of technology with regard to the present issues in the entire network.

The objective of subtopic 1 is to identify needs at the authorities, and specifically at the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, with regard to data formats and data evaluation. The overarching objective is to be able to conduct cross-authority analyses of the datasets. The findings obtained from the standardization of data transmission in aviation meteorology will help in finding a definition for cross-authority data formats that is as generally accepted as possible. In addition, new forms of data analysis for authorities are to be unlocked. A scoping study for the use of new analysis methods for the authorities of the BMVI Network of Experts allowed to develop an initial strategy, and soon will be implemented for test purposes.

Over the last three decades, an important trend resulted in major economic (Fourth Industrial Revolution) and societal changes (digital society) – digital transformation. This term is used to describe the transformation from classic analogue processes to electronically based processes using information and communications technology. For the federal authorities, the digital transformation is an opportunity to make processes more efficient and transparent. However, it also confronts them with challenges. In sub-topic 2 of Topic 4 of the BMVI Network of Experts, a study was thus conducted on how the authorities of the BMVI Network of Experts can make

better use of opportunities and how accompanying challenges can be tackled.

In sub-topic 3, recent technology trends are being assessed with regard to the transport system. The technology trends are illustrated to policymakers and the administration by a collection of potential applications. Policy options are used to identify possible ways in which the technology trends studied can be exploited for the benefit of mobility. For the technologies of virtual and augmented reality, the state of the art of various system components is first highlighted. On this basis, examples of potential applications in the construction sector are identified that may contribute towards resolving current issues. The aforementioned studies showed that the technologies can potentially optimize processes by, inter alia, making it easier to present and illustrate complex data.

In addition, for the waterway mode, the increasing automation and autonomization were discussed, taking maritime shipping as an example. The results of a context analysis confirmed that the process of autonomization is an important pathway of innovation of the current technological developments in maritime shipping. Autonomization as a process has the potential to enhance safety at sea and make maritime shipping more environmentally friendly.

The digital revolution will have a significant influence on how mankind evolves. Not all opportunities that will result from the digital technologies are yet foreseeable but forethought at the current state allows us to shape future developments. The main objective of the first phase of Topic 4 in the BMVI Network of Experts was to identify examples of some dominant trends influencing the transport systems and, building on this, to develop initial strategies for dealing with them. The objective of phase 2 will be to derive specific implementations and policy options from them.

1 Hintergrund und Zielstellung

Inhalt:

Dieser Bericht enthält die Ergebnisse des Themenfeldes "Digitale Technologien konsequent entwickeln und anwenden" (Themenfeld 4) nach der ersten Phase des BMVI-Expertennetzwerks. Der Fokus liegt auf der Erschließung bestehender Technologien und nicht auf der Neuentwicklung. Der Mehrwert digitaler Technologien für Verkehr und Infrastruktur (Schwerpunktthema 3, Kapitel 4) sowie daraus resultierende Anforderungen an das Datenmanagement und die Datenhaltung (Schwerpunktthema 1, Kapitel 2) sowie insbesondere Anforderungen an interne Prozesse in den beteiligten Behörden (Schwerpunktthema 2, Kapitel 3) werden betrachtet und analysiert. Diese Erkenntnisse dienen als Grundlage für den Wissenstransfer in Bezug auf die vorliegende Thematik im gesamten Netzwerk.

1.1 Definition Digitalisierung und zugehörige Trends

Der Begriff der Digitalisierung wird heute in einer weit gefassten Bedeutung verwendet. Ursprünglich war damit die Umwandlung analoger Daten (z. B. Messreihen, Tonaufnahmen, Bilder, Videos) in digitale gemeint. Aktuell wird der Begriff aber oft synonym mit den Begriffen digitale Transformation oder digitale Revolution genutzt. Damit werden auch Änderungen in allen Bereichen des Lebens umfasst, die durch die Erschließung von Möglichkeiten der Informationstechnik bedingt sind. Diese breite Bedeutung des Begriffes "Digitalisierung" wird in diesem Bericht verwendet, da sich diese bereits weitgehend etabliert hat.

Kaum ein Thema wird in Forschung und Entwicklung momentan stärker hinterlegt als die Informationstechnik. Einige der größten Unternehmen der Welt sind erst im Zuge der Digitalisierung entstanden und haben dabei viele etablierte Unternehmen verdrängt. Die Forschung, die in diesem Sektor betrieben wird, bringt permanent neue Entwicklungen hervor, die sehr schwer vorherzusehen sind. Dabei stehen aktuell die Entwicklungen bezüglich virtueller Realität, Big Data, künstlicher Intelligenz und Automatisierung im Mittelpunkt. Diese Begriffe werden dabei ebenfalls weit gefasst verwendet, wodurch gerade im Bereich der künstlichen Intelligenz eine klare Bedeutung nicht immer zu erkennen ist.

1.2 Potenziale der Digitalisierung

Die primäre Stärke digitaler Systeme liegt in der verlustfreien Übertragbarkeit der Daten und der wiederholbaren Verarbeitung der Daten mit sehr großen Durchsatzraten. Durch Weiterentwicklungen im Bereich hoher Rechenleistung und weltweiter Übertragungsnetze wird die Verbreitung von Datensätzen immer einfacher möglich. Aktuell wird bezüglich der Datenauswertung sehr stark darauf hingearbeitet, nicht bereits vorher erwartbare Korrelationen in Datensätzen zu finden. Diese Auswertungen funktionieren besonders dann gut, wenn große Datenmengen vorhanden sind.

Das eigentliche Ziel der Datenauswertung ist die Informationsgenerierung. Eine Information kann dabei ein Datum sein, das vom Menschen erfasst und genutzt werden kann. Das aus vielen Daten zusammengesetzte Wissen nutzt der Mensch für die Entscheidungsfindung. Ziel der Automatisierung ist es, Prozesse zu optimieren und Fehler zu reduzieren. Dabei werden immer weniger Bewertungen und Entscheidungen dem Menschen überlassen. Anhand des Grades der Vorauswertung kann je nachdem, wann und ob der Mensch im Prozess benötigt wird von Entscheidungsunterstützung, Automatisierung oder Autonomisierung gesprochen werden. Der Nutzen liegt darin, dass technische Systeme weit umfassendere Eingangsdaten verwerten können. Durch den Einsatz solcher Unterstützungsmittel kann

z. B. der Wissensunterschied zwischen handelnden Personen ausgeglichen werden, indem auch spezielles Expertenwissen erfasst und anwendbar gemacht wird. Zusätzlich werden so getroffene Entscheidungen und Empfehlungen überprüfbar und besser nachvollziehbar. Daraus können auch verbesserte Prozesse für die Entscheidungsfindung abgeleitet werden, indem konsequent die Auswirkungen früherer Entscheidungen eingebunden werden können. Insgesamt wird es somit möglich, über sehr lange Zeiten hinweg zu lernen und zu optimieren.

Gerade datenbasierte Prozesse sind geeignet, digitalisiert zu werden. Dabei sind einige Bereiche bereits so weit umgestellt, dass die analoge Systematik nahezu komplett abgelöst wurde (Bankenwesen, Kommunikation). Die Umstellung der Prozesse ist aber auch der Punkt, an dem die größten Widerstände zu spüren sind, weil dabei direkt in den gewohnten Alltag der Menschen eingegriffen wird. Da sich digitale Prozesse und Werkzeuge jedoch in der Regel nach der Einführung durchsetzen, ist davon auszugehen, dass insgesamt Verbesserungen erzielt werden. Die Einführung der E-Akte (Elektronische Aktenführung) ist hierbei eine exemplarische aktuelle Entwicklung.

1.3 Aufgaben und Risiken aus der Digitalisierung für Behörden

Wie bei allen Technologien resultieren auch aus der Digitalisierung mögliche Bedrohungen und Aufgaben für Behörden. Jede Behörde, die für Zulassungen und Genehmigungen zuständig ist, muss der Aufgabe gewachsen sein, die Entwicklung neuartiger Systeme innerhalb des Handlungsbereiches fachkundig begleiten und den Rahmen für die Nutzung definieren zu können. Dabei haben die Behörden zunehmend die Aufgabe, Entwicklungen aus Bereichen einzuschätzen, mit denen sie vorher keinen Kontakt hatten. Zusätzlich kann das verwendete Regelwerk Vorgaben enthalten, die neue Technologien nicht erfüllen können. Die frühzeitige Steuerung der Entwicklung durch die Definition von Leitlinien kann den Behörden dabei helfen, die Interessen der Bürger bestmöglich zu schützen und den Entwicklern den erforderlichen Spielraum für ihre Technologien zu geben. Dabei müssen gerade Anforderungen in Gesetzen und Regelwerken, die nicht funktional formuliert sind, überprüft und eventuell neu gefasst werden.

Des Weiteren ergeben sich aus der Umstellung analoger Prozesse hin zu digitalen auch Angriffsszenarien, die eine grundlegende Bewertung der Sicherheit in Systemen verlangen. Es geht dabei nicht nur um den Schutz vor unbefugtem Zugriff, sondern auch speziell um die Integrität und Zuverlässigkeit der verwendeten Daten und Prozesse.

1.4 Das BMVI-Expertennetzwerk "Wissen – Können – Handeln"

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat im Jahr 2016 die Gründung des BMVI-Expertennetzwerks Wissen – Können – Handeln veranlasst, um das Zusammenwirken seiner Ressortforschungseinrichtungen und Behörden hinsichtlich verkehrsträgerübergreifender Forschung zu fördern. Erstmals wurde damit in der Ressortforschung ein verkehrsträgerübergreifendes Forschungsnetzwerk entwickelt, erprobt und etabliert.

Im BMVI-Expertennetzwerk forschen das Bundesamt für Güterverkehr (BAG), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrs-forschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF/EBA) zusammen. Mehr als 70 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit unterschiedlichen Kompetenzen forschen vernetzt und transdisziplinär, um Lösungsansätze zu zukunftsorientierten Fragestellungen rund um das Verkehrssystem zu erarbeiten. Dabei sind die Forscherinnen und Forscher in die Behörden eingebettet und werden dort fachlich und organisatorisch unterstützt. Die Abstimmung zu den Forschungsinhalten und organisatorischen Abläufen erfolgt zwischen BMVI, Bundesoberbehörden sowie Expertinnen und Experten (Abbildung 1). Dadurch wird eine praxisorientierte fachwissenschaftliche Beratung des BMVI sichergestellt.

Der Forschungsprozess wird darüber hinaus von kontinuierlicher Interaktion mit Anwenderinnen und Anwendern begleitet, z. B. mit den Landesstraßenbaubehörden, der Deutschen Bahn AG und der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Dieser Praxisbezug er-

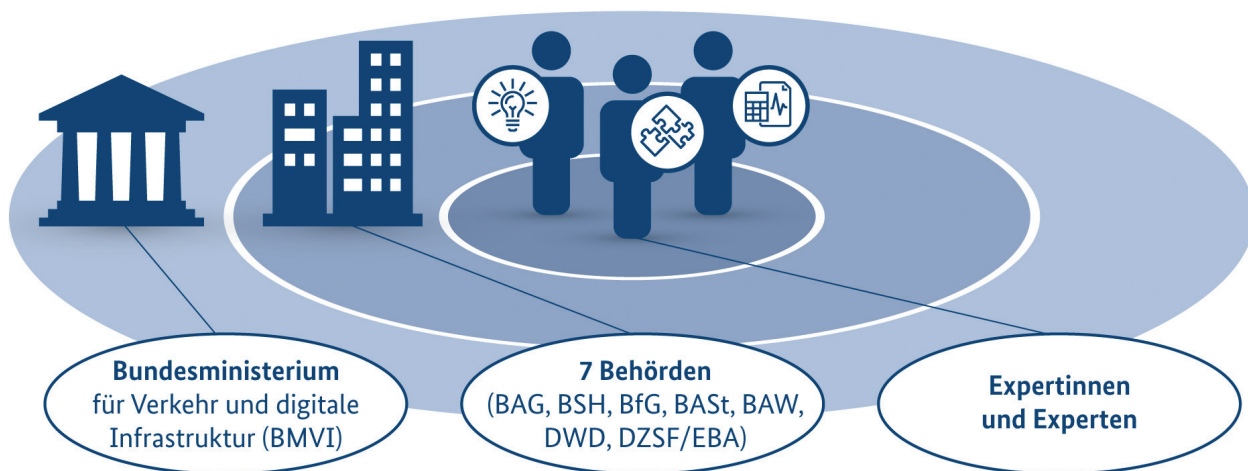


Abbildung 1: Struktur der Vernetzung innerhalb des BMVI-Expertennetzwerks.

möglicht die zielgerichtete Entwicklung von anwendungsorientierten Innovationen.

Die Vision des BMVI-Expertennetzwerks ist es, das Verkehrssystem resilient und umweltgerecht zu gestalten. Das BMVI-Expertennetzwerk stellt hierfür wissenschaftlich fundierte Grundlagen bereit. In diesem neuen Forschungsformat in der Ressortforschung wurden verkehrsträgerübergreifende Ziele definiert und in der Forschungsstrategie 2030 (BMVI-Expertennetzwerk 2018) festgehalten. Dieser strategische Forschungsrahmen beschreibt den Umgang des BMVI-Expertennetzwerks mit Herausforderungen wie Klimawandel, Umweltschutz, Alterung der Infrastruktur sowie Digitalisierung und zeigt den Weg auf, wie die Vision schrittweise erreicht werden kann (Abbildung 2).

Zur Gewährleistung einer effizienten Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellungen wurde die Forschung in Themenfelder gegliedert (Abbildung 2). Die Arbeiten in den Themenfeldern 1 bis 3 wurden bereits 2016 aufgenommen. Die Themenfelder 4 und 5 wurden in Form von Pilotprojekten ab 2017 bearbeitet. 2019 wurde Themenfeld 6 etabliert. Die sechs Themenfelder des BMVI-Expertennetzwerks ergänzen sich inhaltlich und schaffen Grundlagen, um die Forschungsstrategie 2030 im Dialog mit Anwenderinnen und Anwendern erfolgreich umsetzen zu können.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des Themenfeldes 4 aus der ersten Phase des BMVI-Expertennetzwerks (2016–2019) dar. Die Forschungsergebnisse wurden unter Koordination des DZSF/EBA von der BASt, der BfG, dem BSH und dem DWD gemeinschaftlich erarbeitet.

1.5 BMVI-Expertennetzwerk – Themenfeld 4

Das Ziel des Themenfeldes 4 im BMVI-Expertennetzwerk Wissen – Können – Handeln ist es, die Potenziale digitaler Technologien für die im Bereich Verkehr und Infrastruktur aktiven Behörden zu erschließen, konsequent weiterzuentwickeln und nutzbar zu machen. Vorhandene konzeptionelle Ansätze für ein praktikables (Daten-)Management und eine sichere Nutzung der digitalen Informationstechnik sind in diesem Zuge auf die Bereiche Verkehr und Verkehrsinfrastruktur zu übertragen und nutzbarzumachen. Themenfeld 4 startete 2018, zwei Jahre nach Gründung des BMVI-Expertennetzwerks. Von Beginn an ist es darauf aufgebaut, die zweite Phase des BMVI-Expertennetzwerks von 2020 bis 2025 vorzubereiten. Dieser Bericht fasst zusammen, was bislang erreicht wurde.

Das Themenfeld 4 verfolgt, wie auch das BMVI-Expertennetzwerk als Ganzes, einen verkehrsträgerübergreifenden Ansatz, um gemeinsame Lösungen für die drängenden

FORSCHUNGSSTRATEGIE 2030

Das Verkehrssystem resilient und umweltgerecht gestalten



Abbildung 2: Themenfelder des BMVI-Expertenetzwerks im Kontext der Forschungsstrategie 2030.

Forschungsfragen der Zukunft zu finden. Das Ziel des Themenfeldes besteht nicht darin, die Digitalisierung und den Entwicklungsprozess digitaler Technologien insgesamt zu prägen, sondern das Potenzial dieser Entwicklungen für Verkehr und Mobilität zu identifizieren und zu erschließen. Der Mehrwert der Entwicklungen ist aus Sicht der am BMVI-Expertenetzwerk beteiligten Behörden abzuschätzen. Falls es sinnvoll und möglich ist, wird untersucht, wie neue Technologien in die Prozesse der Behörden integriert werden könnten.

Da die Aufgaben und Prozesse der beteiligten Behörden sehr unterschiedlich sind, wird primär darauf geachtet, dass die in den Behörden erzeugten Ergebnisse auch dort genutzt werden können. Das liegt auch daran, dass Entwicklungen, die im Themenfeld begleitet werden, sehr schnell vollzogen werden und neue Strömungen berücksichtigt werden müssen, sodass flexibel reagiert werden können muss. Die in den Behörden gefundenen Ergebnisse und Methoden werden den Partnern dann zur Verfügung gestellt, um damit den Aufwand zur Implementierung eigener Lösungen zu vereinfachen. Gerade in Bereichen, die

absehbar für die anderen Beteiligten interessant werden, wurde aktiv in Projekten anderer Behörden mitgearbeitet. Teil der Projekte des Themenfeldes 4 ist jedoch auch, aktiv die Ergebnisse in die Partnerbehörden zu tragen und dabei Anforderungen und Bedarfe aufzunehmen.

1.6 Zusammenfassung der Aufgaben des Themenfeldes 4

Für eine Nutzung digitaler Daten sind die Datenerzeugung und die Datenhaltung von besonderem Interesse. Daten müssen in einem nutzbaren und "verständlichen" Format vorliegen. Die Verwendung entsprechend aussagekräftiger Metadaten wird eine dauerhafte Verfügbarkeit und Weiterverarbeitbarkeit der Daten sicherstellen und einen gegenseitigen barrierefreien Datenaustausch ermöglichen, insbesondere zwischen Behörden und Institutionen. Aspekte der Datensicherheit sind bei Erzeugung, Haltung, Bereitstellung und insbesondere Weiterverarbeitung von Daten ebenfalls umfassend zu berücksichtigen. Das Schwerpunktthema 1 "Datenmanagement und Datenhaltung" hat ent-

sprechende Ansätze im Rahmen des Themenfeldes 4 aufgezeigt und einen Ansatz zum weiteren Vorgehen entwickelt (siehe Kapitel 2).

Prozesse im Umgang mit digitalen Daten und digitalen Technologien ("Prozesse im digitalen Umfeld") bedürfen zumeist einer Modifizierung, Anpassung und/oder Ergänzung bisheriger Prozesse und Abläufe. Diese Anpassung der Prozesse ist eine Grundvoraussetzung für die Nutzbarmachung der Potenziale digitaler Technologien und der Digitalisierung. Daher sind Grundanforderungen an Systeme zu definieren und in geeignete, standardisierte Prozesse zu

überführen. Dieses Thema wurde im Schwerpunktthema 2 bearbeitet (siehe Kapitel 3).

Die Potenziale digitaler Technologien und der Digitalisierung für Verkehr und Infrastruktur sind vielfältig. Technologien sind zu identifizieren, die Möglichkeiten der Nutzung im Bereich Verkehr und Infrastruktur zu bewerten und der Mehrwert der Nutzung und gegebenenfalls notwendige Weiterentwicklungen aufzuzeigen. Entsprechende Arbeiten wurden exemplarisch durch das Schwerpunktthema 3 "Potenziale digitaler Technologien" durchgeführt (siehe Kapitel 4).

2 Datenmanagement und Datenhaltung

Inhalt:

Ziel des Schwerpunktthemas 1 ist die Identifikation von Bedarfen in den Behörden und speziell im BMVI-Expertennetzwerk im Hinblick auf Datenformate und Datenauswertung. Dabei ist das übergeordnete Ziel, behördenübergreifende Analysen der Datensätze durchführen zu können. Die erarbeiteten Erkenntnisse aus der Standardisierung der Datenübertragung in der Flugmeteorologie werden dabei helfen, eine möglichst allgemeingültige Definition für behördenübergreifende Datenformate zu finden. Zusätzlich sollen neue Formen der Datenanalysen für Behörden erschlossen werden. Die Voruntersuchung für die Nutzung neuer Analysemethoden für die Behörden des BMVI-Expertennetzwerks ermöglichte es, ein erstes Konzept zu entwickeln, an dessen Umsetzung zu Testzwecken gearbeitet wird.

2.1 Datenhaltung und Datenaustausch

2.1.1 Erstellung eines Konzeptes zum Datenaustausch in den Behörden

In den am BMVI-Expertennetzwerk beteiligten Behörden erfolgt der Datenaustausch von Fachdaten primär über die folgenden Wege:

- (i) als Datei per E-Mail-Anhang
- (ii) als Dateien per FTP oder http
- (iii) über Webdienste
- (iv) über Webportale
- (v) über den Versand von Datenträgern

Ziel ist ein einfacher und flexibler Datenaustausch zwischen den Behörden des Geschäftsbereichs BMVI.

These: Eine Lösung ist nur dann dauerhaft durch die Benutzer akzeptiert, wenn die technischen und organisatorischen Hürden für den Datenaustausch niedrig sind. Diese hängen stark vom Einsatzszenario ab.

Szenario 1: Austausch über Bereitstellung von Ordnerstrukturen

Die Arbeit mit Daten, die in Ordnerstrukturen abgelegt sind, ist Bestandteil der täglichen Arbeit der Mitarbeiter der Behörden im Geschäftsbereich des BMVI. Ein direktes

Arbeiten auf Daten, die über FTP und http über Institutionsgrenzen hinaus bereitgestellt werden, erfolgt in den meisten Fällen nicht; die Daten werden in die eigenen Ordnerstrukturen überführt.

Die technischen Hürden sind beim Einsatz von FTP und http zwar gering, die mangelnde Performanz ist einer der Hauptgründe dafür, dass solche Ordnerstrukturen vorerst als reines Austauschmedium genutzt werden. Zudem erleichtert die Überführung in eigene Ordnerstrukturen die eigene Datenverarbeitung, und die Datenverarbeitung ist auch bei Ausfall der Weitverkehrsverbindung möglich.

Szenario 2: Web-Dienste, technische Systeme sind vorhanden und akzeptiert

Für die Verarbeitung von Geo-Daten haben sich Webdienste weitestgehend durchgesetzt. Zum einen gibt es ein flächendeckendes Angebot an Geo-Diensten in den Behörden, das durch eigene personelle Ressourcen betrieben wird. Zum anderen sind die Sachbearbeiter in den Behörden im Umgang mit solchen Webdiensten geschult. Eine Einbindung in die Werkzeuge der täglichen Arbeit ist ohne ein Verständnis der Datenstrukturen und der technischen Bereitstellung der Daten möglich.

Auch bei anderen Produktionsketten setzen sich Webdienste durch (siehe Pilotprojekt SWIM, Kapitel 2.1.3), sofern die Datenformate für den Austausch standardisiert sind und entsprechende IT-Werkzeuge bereitgestellt und verlässlich betrieben werden.

2.1.2 Pilotprojekt Datenaustausch mittels SWIM

Ziele

Ziel dieses Pilotprojektes ist es, Flugwetterdaten in eine neu entstehende Flugverkehrsdateninfrastruktur SWIM (System Wide Information Management) zu integrieren, um diese Daten mit verbesserten Datenaustauschtechniken und standardisierten Datenformaten maschinenlesbar zu machen und für mehr Effizienz im Flugverkehr zu sorgen. Die WMO (World Meteorological Organization) und die ICAO (International Civil Aviation Organization) haben dafür das XML-basierte Format IWXXM (ICAO weather exchange model) entwickelt, das für den Datenaustausch genutzt werden soll (Abbildung 3). In einem ersten Schritt werden die bisher textbasierten Flugwetterdaten in das XML-basierte Datenformat transformiert. Das BMVI-Expertennetzwerk kann mit den Ergebnissen aus diesem Projekt profitieren, indem es die Techniken von SWIM für das eigene Netzwerk evaluiert und gegebenenfalls nutzt und/oder in anderer Form verbessert einsetzt.

SWIM

SWIM ermöglicht einen nahtlosen Informationszugriff und -austausch zwischen allen Anbietern und Nutzern von Flugverkehrsdaten und -diensten. Neben dem DWD als Bereitsteller von Wetterdaten gibt es noch weitere Bereitsteller und Nutzer, wie z. B. der Flughafen, das Airline Operation Center oder das Flugzeug selbst.

Für den Datenaustausch werden unterschiedliche Formate genutzt:

- für die Wetterdaten das von der ICAO entwickelte IWXXM-Format,
- für statische Information zu den Flughäfen, Flugrouten etc. das AIXM-Format (Aeronautical Information Exchange Model)
- und für die Status, des einzelnen Fluges das FIXM-Format (Flight Information Exchange Model).

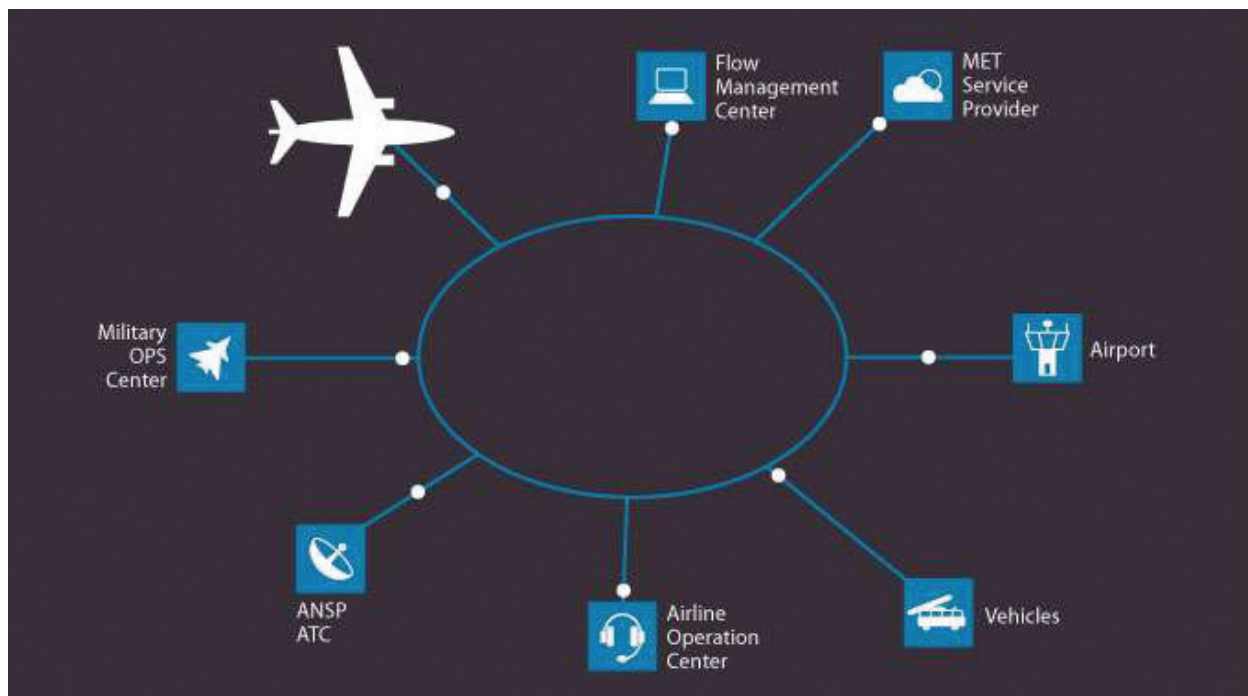


Abbildung 3: Akteure der SWIM-Infrastruktur (Quelle: SWIM Fact Sheet/Eurocontrol).

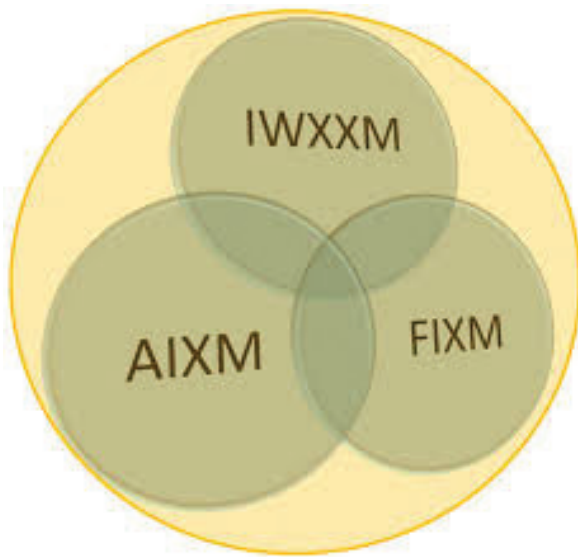


Abbildung 4: AIRM – Beziehungen der Datenmodelle.

Die Beziehungen der drei Formate untereinander werden in einem globalen Modell, dem AIRM (Air Traffic Management Information Reference Model), abgebildet (Abbildung 4).

SWIM übernimmt dabei Methoden für das Informationsmanagement aus dem Informations- und Kommunikationssektor wie z. B. die serviceorientierte Architektur (SOA) sowie die Verwendung offener Standards und Webtechnologien und wendet diese auf das Flugverkehrsmanagement an (Abbildung 5).

Der SOA-Ansatz stellt die Verfügbarkeit interoperabler, wiederverwendbarer und nutzergesteuerter Informationsdienste sicher. Durch die Verwendung offener Standards und gängiger Webtechnologien werden die Kosten für die Interoperabilität gesenkt und der Luftfahrtmarkt wettbewerbsfähiger.

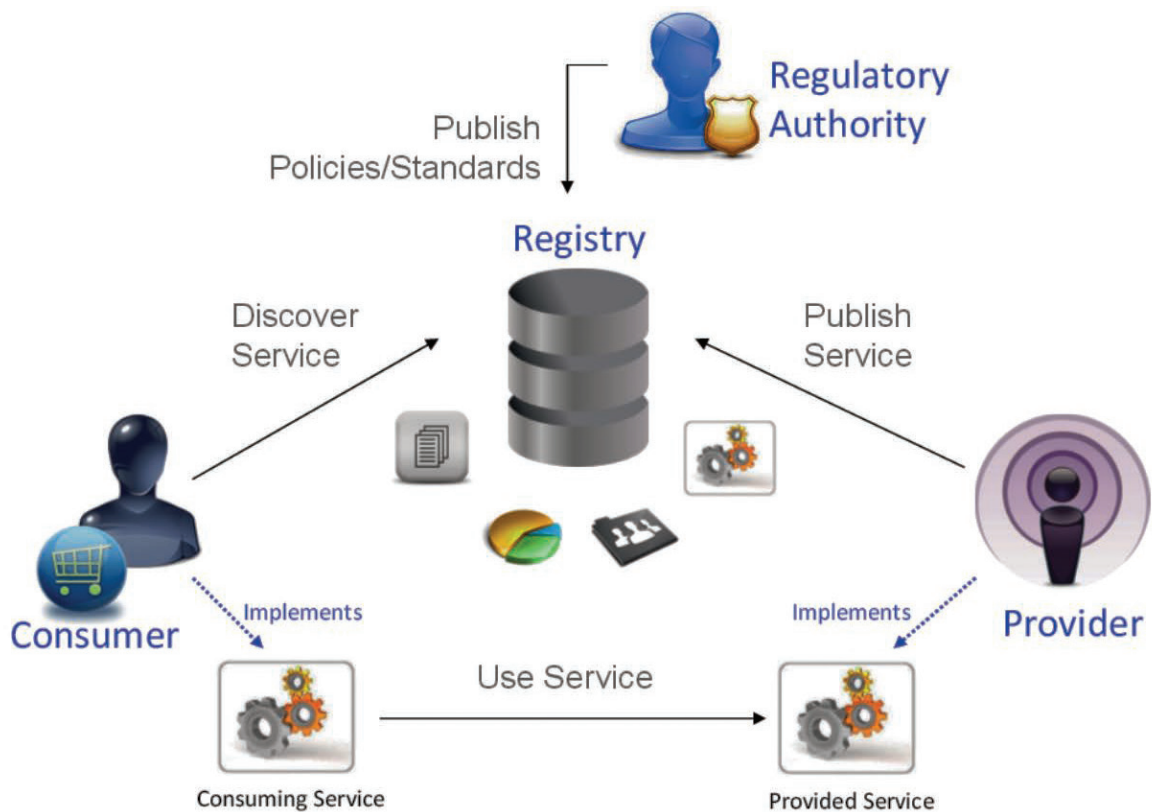


Abbildung 5: Funktionsweise SWIM (Quelle: SWIM Fact Sheet/Eurocontrol).

Ermöglicht wird dies durch eine Registry, in der Datenbereitsteller (z. B. Meteorologie) ihre Informationsdienste registrieren können und Datennutzer die registrierten Informationsdienste durchsuchen und konsumieren können.

SWIM als Konzept ist entscheidend, um den Luftraum so effizient wie möglich zu nutzen, den Luftverkehr bei jedem Wetter zu steuern und das allgemeine Situationsbewusstsein vor Ort zu stärken. Mit den SWIM-Kerndiensten können Systeme Informationen bei Bedarf anfordern und empfangen, den automatischen Empfang abonnieren und Informationen und Dienste nach Bedarf veröffentlichen. Dies ermöglicht den Austausch von Informationen zwischen verschiedenen Systemen. Auf diese Weise können Luftraumnutzer und Fluglotsen effizienter auf die aktuellsten Informationen zugreifen, die sich auf ihren Verantwortungsbereich auswirken könnten. SWIM wird die Entscheidungsfindung verbessern und den Informationsaustausch optimieren, um die Planung und Ausführung zu verbessern.

Laut dem Global Air Navigation Plan (GANP) der ICAO ist der Aufbau dieser Infrastruktur erst im übernächsten Jahrzehnt komplett abgeschlossen. Für die in diesem Projekt behandelten Flugwetterdaten ist laut GANP eine Abgabe der Daten in dem von der ICAO entwickelten IWXXM Format ab 2020 vorgesehen. Eine Abgabe der Daten über SWIM-konforme Services ist erst in einer weiteren Ausbaustufe von SWIM nötig.

Projektablauf

Ausgangsdaten des Projektes waren textbasierte Flugwetterdaten, die es in SWIM zu integrieren galt. Die Ausgangsdaten sind zum einen Flugwetterwarnungen (SIGMET), zum anderen Flugwetterbeobachtungen (METAR) und Flugwettervorhersagen (TAF). Das Zielformat IWXXM, das in SWIM integriert werden soll, wird von der internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO definiert. Somit wurden die aktuell textbasierten Daten in das XML-basierte IWXXM-Format transformiert. Die Transformation der Daten gestaltete sich als schwierig, da zum einen die Erstellungswege der drei Datenarten unterschiedlich sind, zum anderen unterschiedliche Geometrien für Ausgangs- und Zieldatenformaten zu verwenden waren. Beispielsweise war es möglich, in dem textbasierten Format ein

Gebiet durch die bloße Angabe eines Breitengrades und einer Richtung (Beispiel: nördlich des 52. Breitengrades innerhalb einer Fluginformationsregion) zu bewarnen. Im Zielformat waren jedoch nur Polygone zulässig, sodass verschiedene geometrische Verschnidungsoperationen durchgeführt werden mussten.

Ein weiteres Problem war die sehr minimalistische Darstellung der textbasierten Daten, die für einen schnellen Datenaustausch vor 30 Jahren auf wenige Bytes optimiert wurde. Beispielsweise enthielt ein Ausgangsdatensatz keine Angaben zum Monat und Jahr des Datensatzes. Diese Angaben erschließen sich jedoch aus dem Kontext und mussten dann auf andere Weise in das Zielformat integriert werden. Auch brachte die Validierbarkeit des XML-basierten IWXXM-Formats kleine Unstimmigkeiten zwischen der internationalen Definition des textbasierten Ausgangsformats und der deutschen Verfeinerung dieses Formats hervor, was letztendlich auch zu Problemen bei der Transformation führte. Da das IWXXM-Format noch recht jung ist und erst jetzt damit angefangen wurde, es zu verwenden, sind natürlich auch Unstimmigkeiten in der Definition des Formats aufgefallen, die an die für die Definition des IWXXM-Formates verantwortlichen Arbeitsgruppen der WMO (Task Team Aviation XML) und der ICAO (METP WG Met Information Exchange – MIE) zurückflossen. So konnte durch die Herausgabe neuer Version des Formats eine reibungslose Datenbereitstellung gewährleistet werden. Mit dem Projektpartner (Unterauftragnehmer) des BMVI-Expertennetzwerks, der DFS Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS), wurde in diesem Projekt der Datenaustausch des neuen Formates auf ein auf größere Datenmengen ausgelegtes Protokoll AMHS getestet und validiert. Da sich SWIM noch im Aufbau befindet, wird dieser Datenaustausch im IWXXM-Format über AMHS als Teilintegration in SWIM Anfang des Jahres 2020 operationalisiert. Zukünftig sollen jedoch Daten über SWIM-konforme Services ausgetauscht werden. Prototypisch wurde schon bereits in diesem Projekt für die Flugwetterbeobachtungsdaten ein SWIM-konformer Service inklusive zugehöriger Service-Metadaten erzeugt.

Um diesen Prozess der vollständigen Integration jedoch weiterhin zu begleiten, wurde mit der DFS eine Arbeitsgruppe eingerichtet. Die Arbeitsgruppe beschränkt sich dabei nicht nur auf die drei hier im Projekt bearbeiteten

Datenarten METAR, TAF und SIGMET, sondern erweitert das Spektrum auf alle für den Flugverkehr notwendigen Datenarten wie Turbulenz, Vereisung und Konvektion.

Um diese vielfältigen Aufgaben zu SWIM und flugmeteorologisch-relevanten Datenformaten im DWD weiterhin nachhaltig bearbeiten zu können, konnte hierfür ein permanenter Dienstposten eingerichtet werden.

2.2 Datenverarbeitung

2.2.1 Stand der Technik in den Behörden

Datenverarbeitung in den Behörden ist heterogen. Es werden viele verschiedene Werkzeuge für die Erledigung der jeweiligen Fachaufgaben verwendet. In der Regel werden tabellenartige Daten verarbeitet, die aus Dateien oder relationalen Datenbanken auf den lokalen Rechner geladen und dort bearbeitet werden (Extract Transform Load). Nach Abschluss der Arbeiten werden die Ergebnisse in eine Datei oder zurück in die Datenbank geschrieben.

Mit zunehmender Datenmenge ist das Rechnen auf dem lokalen Rechner meist nicht mehr ausreichend. Zudem sind die verwendeten Schemata starr und Änderungen am Datenschema durch eine sich ändernde Datenlage nur mit hohem manuellem Aufwand zu realisieren.

2.2.2 Neue Methoden zur Datenverarbeitung

Seit Mitte der 2000er-Jahre haben sich für die Datenverarbeitung, insbesondere im wissenschaftlichen Bereich, zwei Paradigmen durchgesetzt:

1. noSQL: Abkehr vom relationalen Datenmodell und der transaktionalen Sicherheit
2. Big Data: Flexible und skalierbare Infrastruktur für die Datenauswertung

Das relationale Datenmodell basiert auf zwei Grundsätzen:

- (i) Daten und ihre Beziehungen untereinander können als in Tabellen fixierte Struktur modelliert werden.

- (ii) Ein jederzeit vollständiger und exakter Datenbestand ist unabdingbar.

Die Abbildung in starren Tabellen erlaubt es Personen ohne Informatikkenntnisse, Datenmodelle zu verstehen. Auf der anderen Seite verführt diese scheinbare Einfachheit dazu, ohne Informatikkenntnisse Datenmodelle zu erstellen, ohne sich der Konsequenzen für die weitere Datenverarbeitung bewusst zu sein. Die Starrheit der Tabellen ist für die erstmalige Erstellung eines Datenmodells gut geeignet. Spätere Anpassungen an ein solches Modell sind aber nur mit hohem manuellem Aufwand durchführbar.

Die transaktionale Sicherheit (ACID) ist wichtig bei Daten, die jederzeit vollständig und konsistent sein müssen. Das ist insbesondere bei Finanztransaktionsdaten der Fall. Für viele Anwendungsfälle sind jedoch schnelle Antwortzeiten und flexible Datenschemata relevanter. Viele Verfahren müssen ohnehin mit fehlerbehafteten Daten umgehen können, daneben aber Daten aus unterschiedlichen Quellen (und somit unterschiedlichen Datenschemata) miteinander kombinieren können.

"Big Data" beschreibt aus dem englischen die immer eine große und wachsende Anzahl von Daten. Um mit einer größeren Datenmenge umzugehen, müssen klassische Denkweise neu überdacht werden. Dabei wurden viele frei verfügbare Werkzeuge (sogenannte Tools), Software und Datenbanken dafür konzipiert. Um diese Werkzeuge zu nutzen kann die Datenmenge auch kleiner sein.

Diese standardisierten Big-Data-Werkzeuge ermöglichen das Anwendungsfall-bezogene Arbeiten auf wenigen zentralen Infrastrukturen. Alle Big-Data-Werkzeuge laufen sowohl auf skalierbaren Hardware-Clustern (Cloud) als auch auf einzelnen Rechnern. Zudem unterstützen die Big-Data-Werkzeuge Standardsprachen zur Datenauswertung (R, Python etc.). Das ermöglicht die Entwicklung von Auswertungsroutinen durch die Fachanwender auf ihrem lokalen Rechner und die nahezu nahtlose Übertragung auf den Rechencluster.

Big-Data-Werkzeuge enthalten Möglichkeiten, flexible Sichten auf den Datenbestand zu generieren. Somit kann sich ein Fachanwender die jeweils benötigten Daten ein-

fach für den jeweiligen Anwendungsfall zusammenstellen, ohne dabei an starre Datenschemata gebunden zu sein.

In Kombination mit dem Einsatz von Linked Data als Paradigma und Methode für die systematische Erfassung der Meta-Daten können auf diese Weise sowohl Rohdatenbestände als auch Ergebnisdatenbestände geschaffen werden, bei denen die Art der Daten wie auch ihr Zustandekommen langfristig dokumentiert werden können.

2.2.3 Potenziale der Methoden für die Behörden

Für die Anwendung der Methoden in den Behörden ergeben sich folgende Vorteile:

1. Die Reduzierung der Zeit für die Entwicklung von Applikationen für die Datenauswertung, insbesondere im wissenschaftlichen Bereich durch Nutzung von standardisierten und skalierbaren Software-Architekturen. Von der Entwicklung auf dem Arbeitsplatz Computer über das Testen auf der Workstation und dem Rechnen auf dem Rechencluster erfolgt die Entwicklung und Ausführung durchgängig auf der gleichen Plattform. Bestehende Infrastrukturen im Bereich Python und R können ohne nennenswerte Modifikationen übernommen werden.
2. Die Vereinfachung der Sichtung von Daten und Unterstützung der Fachanwendenden bei der interaktiven Analyse von komplexen Sachverhalten. Eine komplexe Analyse wie zwischen mehreren Werten, um dadurch mehrere Zusammenhänge zu erkennen, ist durch Prozesse eines mehrdimensionalen Datenwürfels (Stichwort: Data Cube) insbesondere auf Zeitreihen in Echtzeit möglich.

3. Die Reduzierung der Zeit für die Integration von Daten aus verschiedenen Datenquellen, da Daten über Meta-Daten-Abfragen direkt abgerufen und in die Prozessierung integriert werden können.

2.2.4 Konzept zur optimierten Datenverarbeitung in den Behörden

In einer Pilotphase wurden die folgenden Werkzeuge im Einsatz getestet:

1. Elastic Stack
2. Hadoop als Recheninfrastruktur
3. Hive als universelle Datenablage
4. Spark als Recheninfrastruktur

Alle Werkzeuge wurden Fachanwendenden in der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Workshop-Format vorgestellt und Anwendungsfälle beispielhaft implementiert.

Insbesondere stießen die Werkzeuge Elastic Stack und Hive auf besonderes Interesse und werden aktuell auch für Maßnahmen außerhalb des BMVI-Expertennetzwerks erprobt. Die Werkzeuge Hadoop und Spark agieren als Backend-Systeme, auf denen Benutzer ihre Auswerte-Software ausführen. Sie sind daher wichtiger Bestandteil, aber der Nutzen für die Benutzer nicht direkt erkennbar. Eine Nutzung von Hive bedingt beispielsweise die Nutzung von Hadoop.

Eine Begleitung durch ausgebildetes Informatik-Fachpersonal in den Behörden ist notwendig, um Big-Data-Technologien sinnvoll nutzbar zu machen.

3 Digitalisierung in den Behörden

Inhalt:

Ein bedeutender Trend, der in den letzten drei Jahrzehnten zu großen wirtschaftlichen (Industrie 4.0) und gesellschaftlichen Veränderungen (digitale Gesellschaft) geführt hat, ist die Digitalisierung. Dieser Begriff umschreibt die Transformation von klassischen analogen Abläufen hin zu elektronisch gestützten Prozessen mittels Informations- und Kommunikationstechnik. Für die Bundesbehörden ist die Digitalisierung eine Chance, Prozesse effizienter und transparenter zu gestalten. Sie stellt sie aber auch vor Herausforderungen. Im Schwerpunktthema 2 des Themenfeldes 4 wurde daher in der ersten Phase untersucht, wie die Behörden des BMVI-Expertennetzwerks diese Chancen besser nutzen und Herausforderungen meistern können.

3.1 Beispielprojekte in den Behörden

Auch Behörden nutzen digitale Technologien sehr umfassend. Die erste Stufe der digitalen Transformation besteht darin, dass digitale Systeme Standardprozesse unterstützen und vereinfachen. Hierbei werden analoge Anforderungen digital umgesetzt und wieder in einen analogen Prozess überführt. Ein Beispiel wäre die Erstellung eines Bescheides aufgrund einer analogen Planprüfung. Die Erstellung erfolgt oft noch analog, für die Einreichung stehen dann elektronische Portale zur Verfügung und die Bewertung erfolgt dann wieder analog.

Sehr früh wurde speziell das Potenzial digitaler Technologien im Hinblick auf Kommunikationsprozesse erschlossen. E-Mails und IP-basierte Telefonie sind die dominanten Kommunikationswege. Auch hier wurden analoge Prozesse so digitalisiert, dass der analoge Prozess nur minimal geändert werden musste. Hier reiht sich auch die E-Akte ein, die im Eisenbahn-Bundesamt seit mehr als zehn Jahren getestet wird und die nun in der Bundesverwaltung eingeführt wird. Mit der E-Akte ergibt sich die Möglichkeit, dass ein gesamter Prozess digital abgebildet werden kann. Das Problem ist dabei, dass ein analoger Prozess vom Datenfluss gesehen digitalisiert wurde, nicht aber der Prozess selbst. So muss der Mensch die gleichen analogen Prozesse durchführen, ohne maßgeblich von den Möglichkeiten der Digitalisierung zu profitieren. Das führt in der Regel nicht zur Erschließung des gesamten Potenzials einer Technologie.

Das erste Beispiel, das deutlich stärker in die Prozesse eingreifen wird, ist das Building Information Modeling (BIM).

Ausgangslage ist dabei, dass alle Informationen zu einem Objekt an einer Stelle digital gesammelt und verfügbar gemacht werden. Das oft sichtbare 3D-Modell ist dabei nur ein Werkzeug um Informationen zuzuordnen und zu visualisieren. Ob Informationen analog oder digital vorgehalten werden ist für die Methode nicht entscheidend, allerdings lassen sich große Massen an Informationen nur digital sinnvoll verwalten. Insgesamt sollen dadurch jedem Beteiligten jederzeit die besten Informationen zur Verfügung stehen. Das erfordert aber, dass jeder Planungsstand, jede Änderung und jeder Informationsgewinn unverzüglich dort erfasst werden müssen. Dadurch ändern sich Prozesse je nach Grad der Nutzung von BIM zum Teil erheblich. Regulär werden Planungen sequenziell erstellt, das heißt wenn ein Planer fertig ist und belastbare Planungen erstellt hat, kommt das nächste Gewerk, und wenn das Änderungen benötigt, beginnt die Schleife von vorne. Durch BIM wird dieser Prozess parallelisiert, das heißt es arbeiten verschiedenen Planer gemeinsam an einem Objekt.

Dabei ist speziell die Einbeziehung der Behörden eine nicht unerhebliche Aufgabe. Aktuell werden nach Abschluss der für eine Genehmigung benötigten Planungen diese an die Behörde übergeben, geprüft und zurückgesendet. Bei BIM könnte dies unterstützt werden, wenn die zu prüfenden Aufgaben automatisiert bereits bei den Planern abgefragt werden würden. Dadurch kann bereits in der Planung eine Konformität gewährleistet werden, und die Aufgabe der Behörde wäre es, den Prozess und die Überprüfungs-tools zu überwachen. Den Umgang von Behörden (speziell DZSF/EBA) mit BIM zu untersuchen und zu unterstützen,

wird in der zweiten Phase des BMVI-Expertennetzwerks eine zentrale Aufgabe darstellen.

3.2 Potenziale für BIM und das autonome Fahren

Neben den direkten Auswirkungen der Digitalisierung auf die Behörden und ihre Prozesse gibt es Entwicklungen, die das Aufgabenspektrum der Behörden verändern. Grundsätzlich werden neue Technologien nicht um der Neuerung willen umgesetzt, sondern es ist zu erwarten, dass eine Verbesserung hinsichtlich bestimmter Faktoren wie beispielsweise Umwelt, Kosten, Nutzbarkeit, Verlässlichkeit, Zeitbedarf oder Sicherheit eintritt.

Building Information Modeling für die Verkehrsinfrastruktur

In Abgrenzung zum Kapitel 3.1 wurde nicht nur untersucht wie bereits bisher etablierte Werkzeuge eingesetzt werden können. Es wurde auch untersucht welche Potentiale BIM für die Verkehrsinfrastruktur bieten kann, wenn die entsprechenden Werkzeuge etabliert sind.

Die Untersuchung der Prozesse, die mit BIM unterstützt werden können, ist eine zentrale Aufgabe im BMVI-Expertennetzwerk. BIM ist eine Methode, deren Werkzeuge heute aktuell für die Planung von Hochbauwerken bestehen und funktionieren. Die Bauüberwachung inklusive der Mengen- und Qualitätskontrolle ist heute schon soweit umgesetzt, dass diese als verfügbar eingestuft werden kann. Allerdings zeichnet die Verkehrsinfrastruktur zwei Faktoren aus, für die BIM bisher nicht vollständig digital angewendet werden kann.

Der erste Faktor ist dabei die Ausdehnung. Die für das BIM erstellten Werkzeuge zur 3D-Planung eignen sich für sogenannte Punktbaustellen, die nur eine sehr begrenzte Ausdehnung haben. Bei einer Baustelle mit 200 Meter Länge ergibt sich ein Höhenfehler an den Enden durch die Erdkrümmung von 0,8 Millimeter, was aufgrund der Toleranz von Bauwerken ignoriert werden kann. Bei 10 Kilometern sind es schon 2 Meter, die bei Tunneln und Brücken zu Problemen führen würden. Die Linienbaustellen, die im Verkehrswesen primär erstellt werden, gerade wenn die Stre-

cke inkludiert sein soll, benötigen also andere Werkzeuge. Hier muss auf GIS-Basis (Geoinformationssysteme) untersucht werden, wie die Informationen für BIM verwendet werden können. Möglichkeiten wären BIM-taugliche, voll 3D-fähige Systeme, um die Parameter der Erde zu erweitern oder GIS Systeme von 2,5D auf 3D zu erweitern (ESRI, 2018). Hier finden mittlerweile Untersuchungen statt, wobei das Augenmerk darauf liegen muss, dass die Entwicklung für die Verkehrsträger genutzt werden kann.

Die dominante Phase eines Bauwerks ist die Betriebsphase, die durch BIM noch nicht komplett erfasst wird. Zwar gibt es im Hochbau erste Ansätze, die sehr vielversprechend sind. Allerdings muss das Ziel für die Infrastrukturen sein, alle Objekte gemeinsam einem zielführenden Betrieb zuzuweisen. Das Ziel ist ein Asset Management für die komplette Infrastruktur eines Verkehrsträgers. Dafür gelten einige Anforderungen, die zur Erstellung eines umfassenden Systems erfüllt werden müssen.

1. Für den Bau erstellte Modelle müssen erhalten bleiben und um Betriebsdaten erweitert werden.
2. Bestehende Bauwerke müssen digitalisiert und für BIM erschlossen werden.
3. Das Streckennetz (inklusive aller relevanten Objekte) muss digitalisiert werden.
4. Alle Daten inklusive Zustandsbewertungen müssen in dem Modell zugänglich sein.
5. Monitoring von Bauwerken muss verknüpfbar sein¹.

Zusätzlich ergeben sich noch weitere Herausforderungen, um das gesamte Potenzial zu heben. Es sollte möglich sein, für das komplette Netz und eventuell für alle Verkehrsinfrastrukturen den größten Handlungsbedarf zu identifizieren, um die Infrastruktur verfügbar zu halten. In der zweiten Phase des BMVI-Expertennetzwerks (2020–2025) wird untersucht, wie die Instandhaltung verkehrsträgerübergreifend erfolgen kann, sodass wenige Einschränkungen zu erwarten sind.

¹ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/dimarb.html>

1. Logische Verknüpfung der Streckenabschnitte, um Auswirkungen (z. B. Baustellen) übertragen zu können.
2. Gesamtheitliche Bewirtschaftung der Strecken in Absprache mit anderen Verkehrsträgern.
3. Bewertung von Bauwerken hinsichtlich Bauarten und Instandhaltungsmaßnahmen.
4. Berücksichtigung von Verkehrsmodellen.

Aufgaben der Behörden bezüglich des autonomen Fahrens

Eine der herausragenden Entwicklungen, die unseren Alltag verändern wird, ist das autonome Fahren. Im Themenfeld 4 wird dabei der Austausch zwischen der Seeschifffahrt (siehe Kapitel 4.2) und der Schiene genutzt, um grundlegende Fragen (z. B. Verantwortung, Haftung, Zulassung) zu besprechen. Die Untersuchung in der Seeschifffahrt ist dabei maßgeblich auf die umfassende Einordnung der Technologie sowie auf das Aufzeigen von Handlungsoptionen fokussiert, während im Schienenbereich untersucht wurde, wie die Behörde an sich mit dieser Aufgabe umgehen kann. Die Industrie entwickelt gerade Systeme, die das automatisierte Fahren ermöglichen sollen. Jedoch fehlt hier bislang der Rahmen, wie diese Technologie zugelassen und in den Markt gebracht werden kann.

Dabei ist bereits das erste identifizierte Problem, dass per Definition einem Menschen ein Fehler zugestanden wird, während dieses bei technischen Systemen ausgeschlossen werden muss. Dem Menschen kann auch nicht einfach eine Ausfall- oder Fehlerwahrscheinlichkeit zugewiesen werden, wodurch ein objektiver Vergleich zwischen Technik und Mensch nicht möglich ist. Wie unter diesen Umständen ein Nachweis gleicher Sicherheit erfolgen kann, wird die zentrale zu lösende Frage sein, die dem automatisierten Fahren noch im Wege steht. Die Lösung wird hier vermutlich über ein zu definierendes Sicherheitsniveau des Menschen erfolgen müssen in Verbindung mit einer verlässlichen Prüfung und Zertifizierung autonomer Systeme. Die Definition von Testalgorithmen und Prüfroutinen ist hierbei eine der relevanten Aufgaben der Behörden. Wie solche Systeme für auf künstlicher Intelligenz basierte Software aussehen können, kann heute noch nicht abgeschätzt werden.

Zusätzlich sind daran auch Haftungsfragen angeschlossen. Automatisierte Systeme auf der Schiene werden viele Schnittstellen enthalten müssen. Da automatisierte Systeme in der Regel eine hohe Rückkopplung mit anderen Systemen haben, wird diese Frage sehr komplex. Im Fahrzeug müssen Sensoren zur Hinderniserkennung enthalten sein sowie ein System zur Erkennung außergewöhnlicher Gefahren wie beispielsweise Baustellen. Es müssen alle Fahrkontrollen vernetzt und ein Monitoring der relevanten Fahrzeugdaten enthalten sein (zur Selbstdiagnose des Fahrzeugzustandes). Zusätzlich gibt es noch eine Schnittstelle zur Leit- und Sicherungstechnik in der Infrastruktur. Insbesondere bei Systemen, die Bauteile mehrerer Hersteller inkludieren, kann eine eindeutige Zuordnung des Fehlers, der zu einem Schaden führt, sehr aufwändig werden. Eigentlich kann nur der Betreiber die Verantwortung für ein System übernehmen, das mehrere Komponenten enthält, ohne aber tieferen Einblick in die Technik zu haben. Anders sieht es bei Komplettpaketen aus, die von der Industrie angeboten werden. Hier sind aber Verbesserungen und Nachrüstungen sehr aufwändig und ein Support der Plattformen kann hier auch nicht unbegrenzt garantiert werden.

3.3 Anforderungsmanagement für Forschungsprojekte

Die fortschreitende Digitalisierung der Forschungslandschaft führt dazu, dass die Forschung in den Ressortforschungseinrichtungen des Bundes immer IT-lastiger wird. Speziell auch die extern vergebenen Projekte im Experten-Netzwerk haben nahezu immer einen deutlichen Anteil an IT-Leistungen. Dabei gilt gerade bei IT-Ausschreibungen, dass die Vorleistungen (beispielsweise die Erstellung des Lastenheftes, oder die Zieldefinition des Projektes) sich sehr stark auf den Projekterfolg auswirken. Es gibt kaum ein Forschungsprojekt, das nicht digitale Daten sammelt, aufbereitet, verarbeitet und speichert. Durch diesen Trend ist es notwendig, auch die Forschungsprozesse an die Digitalisierung anzupassen. Viele Forschungsprojekte zeichnen sich mittlerweile durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Datenquellen, Datenformate und Auswertungsmethoden aus. Viel zu oft werden diese Zusammenhänge erst im Laufe eines Projekts erkannt. Lastenhefte und Produktspezifikationen sind in der Unternehmenswelt ein lange bekannte und viel eingesetzte Instrumente zu Erfassung

des eignen Bedarfs. Im IT-Bereich hat sich der Begriff Anforderungen (Englisch: Requirements) durchgesetzt. Prinzipiell unterscheidet sich die Erstellung eines Lastenheftes nicht von der eines Anforderungsdokuments, allerdings ist Komplexität von IT-Beschaffungen und Dienstleistungen im Laufe der Jahre stark gestiegen, so dass hier eine eigene Disziplin entstanden ist.

In vielen Behörden spielt bei IT-Beschaffungen und externen IT-Dienstleistungen das Anforderungsmanagement eine wichtige Rolle. Im Forschungsbereich wird diese Thematik meist stiefmütterlich behandelt. Die Literatur zum Anforderungsmanagement wird dominiert durch Softwareentwicklung im Unternehmensbereich (Kamsties et al., 1998). Ein Ziel des Schwerpunktthemas 2 "Prozessgestaltung im digitalen Umfeld" war es, die Methode "Anforderungsmanagement" für den Forschungsbereich in Behörden aufzubereiten. Sowohl bei der Eigenforschung als auch bei der Projektvergabe ist ein einheitliches (wenn möglich standardisiertes) Vorgehen sinnvoll. Der Erfolg als auch die Qualität von Forschungsprojekten hängt in starkem Maße davon ab, dass frühzeitig alle Anforderungen und notwendige Prozesse so genau wie möglich spezifiziert werden (z. B. Datenformate, Zugriffsrechte, IT-Dienstleistungen, Daten-Archivierung).

Der Erfolg wie auch die Qualität von Forschungsergebnissen hängt unter anderem in großem Maße davon ab, dass frühzeitig alle Anforderungen und notwendige Prozesse so genau wie möglich spezifiziert werden, die für die Zielerreichung notwendig sind (Klier et al., 2017). Je komplexer ein Forschungsprojekt ist, desto wichtiger ist es, die Anforderungen von allen Beteiligten zu erfassen und eindeutig zu beschreiben.

Das Anforderungsmanagement beinhaltet die Anforderungserfassung und das Management der Anforderungen

zur Laufzeit eines Projekts. Schon im Untersuchungsdesign für ein Forschungsprojekt müssen die Anforderungen des Projekts und der Projektbeteiligten identifiziert und beschrieben werden. Darüber hinaus müssen die Anforderungen strukturiert und priorisiert werden. Für jede Anforderung werden nun Kriterien festgelegt, wie die Erfüllung einer Anforderung belegt werden soll. Das Ergebnis der Anforderungsaufnahme ist eine Liste mit Anforderungen und deren Erfüllungskriterien, die sogenannte Anforderungsspezifikation. Relevante internationale Standards in diesem Bereich sind vor allem die ISO/IEC 12207 (Software lifecycle processes) und die ISO/IEC 29148-2018 (Requirementengineering).

Anforderung

Eine Anforderung ist eine Aussage über die notwendige Beschaffenheit oder Fähigkeit, die ein Produkt beziehungsweise eine Dienstleistung erfüllen oder besitzen muss, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

Beispiel: Ein Forschungsnehmer erstellt einen Datensatz, der:

- Anforderung 1: kompatibel zu den anderen vorhandenen Datensätzen ist
- Anforderung 2: ein bestimmtes Format aufweist, das von einer vorhandenen Software verarbeitet werden kann
- Anforderung 3: zu einem spezifizierten Zeitpunkt geliefert wird

Anforderungsermittlung

Abbildung 6 zeigt den generischen Prozess zur Ermittlung der Anforderungen. Die einzelnen Prozessschritte werden nachfolgend erläutert.



Abbildung 6: Prozess der Anforderungsermittlung.

Für die Anforderungsermittlung ist es essenziell, die Stakeholder des Forschungsprojekts zu bestimmen. Dies sind insbesondere die relevanten Organisationseinheiten in der eigenen Organisation sowie externe Stakeholder wie zum Beispiel Forschungsnehmer oder IT-Dienstleister (Sutcliffe, 1996).

Das Erfassen von Anforderungen ist ein dynamischer, kommunikativer und iterativer Prozess zwischen allen Beteiligten (Dubois, Mouratidis, 2010). Baut ein Forschungsprojekt auf bereits bestehende Daten, Software oder IT-Infrastruktur auf, muss vorher eine Ist-Analyse des aktuellen Zustands erfolgen und ein Bild des Soll-Zustands entworfen werden. Von besonderer Bedeutung ist ein gemeinsames Verständnis der definierten Anforderungen. Neben den Anforderungen für das Produkt oder die Dienstleistung sind auch Terminanforderungen und Kostenanforderungen elementar. Wesentlich ist bei diesem Schritt die Qualität der Anforderungen. In der Literatur und im Web gibt es hierzu eine Reihe von Kriterien². An dieser Stelle sollen fünf ausgewählte Kriterien genannt werden.

- **Eindeutigkeit:** Präzise Definitionen sind notwendig, um Missverständnisse zu vermeiden.
- **Vollständigkeit:** Anforderungen müssen explizit beschrieben sein, es darf keine impliziten Annahmen geben.
- **Konsistenz:** Die definierten Anforderungen müssen untereinander widerspruchsfrei sein.
- **Prüfbarkeit:** Die Anforderungen müssen mit Abnahmekriterien verknüpft werden, damit bei der Abnahme geprüft werden kann, ob die Anforderungen erfüllt wurden.
- **Abhängigkeit:** Es müssen die Abhängigkeiten der Anforderung von anderen Anforderungen dokumentiert werden.

² <https://www.openpm.info/display/openPM/Checkliste+Anforderungsmanagement>
<https://www.forschungsdaten.info/themen/planen-und-strukturieren/datenlebenszyklus/>
<https://www.heise.de/developer/artikel/Requirements-Engineering-in-Zeiten-der-Agilitaet-804971.html>
(alle zuletzt abgerufen am 09.01.2020)

Anforderungen können zu Beginn strukturlos erfasst werden, müssen im Verlauf des Prozesses aber strukturiert werden. Kriterien hierfür sind Zusammengehörigkeit, Abhängigkeit, Stakeholder.

Nachdem die Anforderungen erfasst und strukturiert sind, sollten die Anforderungen einer Gesamtschau unterzogen werden. Hier sind insbesondere die Einheitlichkeit und Konsistenz zu prüfen. In dieser Phase müssen identifizierte Konflikte zwischen Anforderungen eines oder unterschiedlicher Stakeholder gelöst werden.

Da es bei allen Projekten ein begrenztes Budget gibt, können zumeist nicht alle Anforderungen umgesetzt werden. Eine Priorisierung ist daher notwendig. Auch hier ist ein intensiver Dialog zwischen den Stakeholdern notwendig, um mögliche Konflikte zeitnah zu lösen.

Die Summe der erfassten Anforderungen ergibt die Anforderungsspezifikation. Die Anforderungsspezifikation ist ein lebendes Dokument, das im Laufe des Forschungsprojekts immer wieder geprüft und gegebenenfalls angepasst werden muss. Dies ist Teil des Anforderungsmanagements, das nachfolgend dargestellt wird.

Management der Anforderungen zur Projektlaufzeit

Das Anforderungsmanagement umfasst das Management der Anforderungen zur Laufzeit des Projekts. Während des Projekts kann es zu notwendigen Änderungen einer oder mehrerer Anforderungen kommen. Da Anforderungen häufig Abhängigkeiten haben, ist es wichtig, einen standardisierten Prozess zu definieren. In diesem Prozess ist u. a. zu prüfen, wie sich die Änderung auf die abhängigen Anforderungen auswirken und welche Änderungen dies zur Folge hat. Eine kleine Änderung bei einer Anforderung kann eine Kettenreaktion im Projekt bewirken. Weiterhin müssen Prüfprozesse definiert werden, das heißt wann und wie die Erfüllung einer Anforderung geprüft wird. Die Erfüllung einer Anforderung muss nachgehalten werden und bei Nichterfüllung entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden (Sutcliffe, 1996).

4 Technologietrends erkennen und bewerten

Inhalt:

Im Schwerpunktthema 3 werden aktuelle Technologietrends für das Verkehrswesen bewertet. Durch Nutzungsbeispiele werden die untersuchten Technologietrends der Politik und Administration veranschaulicht. Durch Handlungsoptionen werden Möglichkeiten aufgezeigt, die untersuchten Technologietrends für die Mobilität nutzbar zu machen. Für die Technologien Virtual und Augmented Reality wird zunächst der Stand der Technik verschiedener Systemkomponenten beleuchtet. Auf dieser Basis werden exemplarisch Nutzungspotenziale im Bauwesen aufgezeigt, die einen Beitrag zur Lösung aktueller Fragestellungen leisten können. Die aufgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Technologien potenziell Prozesse, unter anderem durch bessere Vorstellbarkeit und Veranschaulichung komplexer Daten, optimieren können. Für den Verkehrsträger Wasser und Wasserstraße wird am Beispiel der Seeschifffahrt die zunehmende Automatisierung und Autonomisierung erörtert. Die Ergebnisse einer Umfeldanalyse bescheinigen den Prozess der Autonomisierung als einen wichtigen Innovationspfad der derzeitigen technologischen Entwicklung in der Seeschifffahrt. Die Autonomisierung als Prozess hat das Potenzial, die Sicherheit auf See zu steigern und die Umweltfreundlichkeit der Seeschifffahrt zu erhöhen.

4.1 Potenziale der Technologien Virtual und Augmented Reality

4.1.1 Einordnung des Technologietrends

Das Schwerpunktthema 3 "Potenziale digitaler Technologien" hat sich zum Ziel gesetzt, relevante Technologien für die Verkehrsträger zu erkennen und auf Potenziale bezüglich möglicher Anwendungsbereiche in der Mobilität zu schließen. Digitale Technologien werden dafür behördenübergreifend bewertet. Neben der Automatisierung zählen unter anderem die virtuelle und erweiterte Realität (Virtual und Augmented Reality) zu den Technologietrends, die Auswirkungen auf das Verkehrswesen haben dürften. Bereits seit einigen Jahren wird an Technologien gearbeitet, virtuelle Inhalte mithilfe tragbarer Ausgabegeräte zu visualisieren. Neueste Entwicklungen im Bereich leistungsstarker Computer, elektronischer Sensorik und hochauflösender Bildschirme eröffnen eine Vielzahl an innovativen technischen Möglichkeiten. Somit steigt das Interesse auch in Branchen jenseits der Spieleindustrie, und das Erschließen möglicher Anwendungspotenziale gewinnt an Relevanz. Zunehmend wird unter anderem von namenhaften Technologieunternehmen an Lösungen gearbeitet, die es dem Nutzer ermöglichen sollen, in eine virtuelle Welt einzutauchen oder die reale Umgebung mit digitalen Inhalten anzureichern. Ein Trendreport zählt Virtual und Augmen-

ted Reality zu den Technologien, die die Wahrnehmung der digitalen Welt durch die Nutzer verändern werden (Gartner, 2018).

Mögliche Einsatzbereiche der Veranschaulichung komplexer Zusammenhänge, der Visualisierung virtueller Modelle oder auch des Trainings lassen auf Nutzungspotenziale schließen, die einen Beitrag zur Lösung aktueller Fragestellungen im Verkehrswesen leisten können. Um die Technologien im Hinblick auf diese zu bewerten, muss zunächst ein grundlegendes Verständnis über den Stand der Technik der Systemkomponenten und des Funktionsprinzips aufgebaut werden. Mit diesen Themen hat sich das Schwerpunktthema 3 beschäftigt, um daraus erste exemplarische Anwendungspotenziale abzuleiten. Die Ergebnisse werden im Folgenden zusammengefasst und dargestellt.

4.1.2 Virtual und Augmented Reality

Einheitliche Definitionen für die Begriffe Virtual und Augmented Reality bestehen nicht. Jedoch können aus bestehenden Erläuterungen der Technologien Punkte abgeleitet werden, die ein allgemeines Grundverständnis beschreiben. Virtual Reality steht für eine Benutzungsoberfläche, in der ein Nutzer in einer computergenerierten Umgebung handeln kann (Dörner et al., 2013). Durch geeignete Benut-

zungsschnittstellen soll möglichst natürlich und intuitiv mit der simulierten virtuellen Umgebung interagiert werden können. Im Idealfall verhält sich der Benutzer wie in seiner bekannten realen Umgebung. In Echtzeit passt sich die virtuelle Realität den Aktionen des Nutzers an und schafft damit eine immersive virtuelle Umgebung – dem Nutzer ist es möglich, vollständig in die virtuelle Realität einzutauchen.

Augmented Reality unterscheidet sich davon. Hier wird die physische Realität weiterhin wahrgenommen und kontinuierlich um virtuelle Inhalte erweitert, die an den Standpunkt des Betrachters angepasst sind (Broll, 2013). In einer häufig zitierten Studie von Ronald Azuma aus dem Jahr 1997 legt dieser drei Eigenschaften eines Augmented-Reality-Systems fest: Kombination realer und virtueller Inhalte, dreidimensionaler Bezug zueinander und Interaktion in Echtzeit (Azuma, 1997).

Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen den Technologien und ist in Abbildung 7 dargestellt. Es reicht von einer ganzheitlich realen bis hin zu einer ausschließlich aus virtuellen Objekten bestehenden Umgebung. Der fließende Übergang zwischen diesen beiden Extrema wird durch das Kontinuum als Mixed Reality definiert (Milgram et al., 1995). In diesem Bereich findet eine Vermischung der Welten statt und reale sowie virtuelle Objekte sind miteinander kombiniert. Von links nach rechts betrachtet, nimmt der Anteil der Virtualität zu und der reale Anteil ab. Überwiegt der reale Anteil, ist von Augmented Reality die Rede. Ist hingegen der Anteil der Virtualität größer, handelt es sich um Augmented Virtuality, also eine Anreicherung der virtuellen Welt um reale Inhalte (Dörner et al., 2013).

Ein Virtual- oder Augmented-Reality-System besteht aus mehreren Komponenten. Besonders die Ausgabegeräte

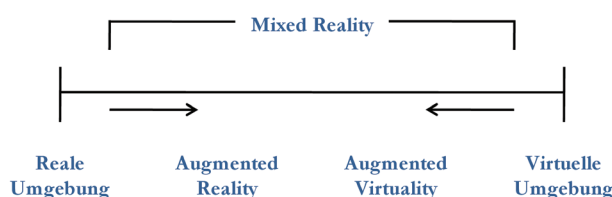


Abbildung 7: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum (Milgram et al., 1995).

und das Tracking der Systeme beeinflussen das Nutzererlebnis maßgeblich. Virtuelle Inhalte werden dem Nutzer in einer Virtual- oder Augmented-Reality-Anwendung über ein Ausgabegerät visualisiert. Je nach Anwendungsbereich und Kostenrahmen kommen verschiedene Ausführungen infrage. Die bekanntesten Beispiele sind in Abbildung 8 aufgeführt. Für Virtual-Reality-Anwendungen ist die Ausgabe in einem CAVE (Cave Automatic Virtual Environments) oder über eine Virtual-Reality-Brille weit verbreitet. Im CAVE werden virtuelle Inhalte innerhalb eines Raumes auf Decken-, Wand- und Bodenflächen projiziert, sodass sie aus der Perspektive des Betrachters ein nahtloses Ganzes ergeben (Grimm et al., 2013). Er eignet sich besonders gut für Besprechungen in Gruppen, ein Nachteil liegt jedoch in der Ortsgebundenheit. Mit Virtual-Reality-Brillen hingegen kann der Nutzer über ein am Kopf getragenes Display (Head-Mounted-Display) in die virtuelle Umgebung eintauchen. Dabei schirmt er sich von seiner realen Umgebung ab. Das Einbeziehen weiterer Personen ist z. B. durch die Einblendung eines Avatars in der virtuellen Welt möglich. Häufig kommen zusätzlich 3D-Eingabegeräte wie Controller zum Einsatz, um mit computergenerierten Inhalten zu interagieren. Auch für Augmented-Reality-Anwendungen werden Head-Mounted-Displays verwendet. Die Realität wird bei diesen Brillen entweder durch eine direkte Sicht durch die Brille (Optical-See-Through-Displays) oder durch eine Videoaufnahme auf die Datenbrille (Video-See-Through-Displays) einbezogen (Broll, 2013). In beiden Fällen wird die Realität mit virtuellen Inhalten über die Brille erweitert. Entwicklungen im Bereich der Head-Mounted-Displays deuten darauf hin, dass eine Vermischung physischer und digitaler Objekte an Bedeutung gewinnt und Produkte besonders diesen Bereich fokussieren werden. Head-Mounted-Displays stehen allerdings noch vor der Herausforderung, Tragekomfort, Funktionalität und Preis so zu vereinen, dass sie auch über den industriellen Einsatz hinaus Verwendung im Alltag finden. Viele Anwendungen wurden unter anderem aus diesem Grund bisher für sogenannte Handheld-Geräte wie Smartphones und Tablets konzipiert. Moderne Geräte sind bereits mit einer hochauflösenden Kamera und der notwendigen Rechenleistung ausgestattet und weit verbreitet. Die Realität wird über die in Smartphones oder Tablets verbauten Kameras aufgenommen und mit zusätzlichen virtuellen Inhalten erweitert.



Abbildung 8: Beispiele für Ausgabegeräte.

Die simulierten virtuellen Inhalte müssen auf die Bewegung und Orientierung des Nutzers samt Ausgabegerät abgestimmt werden, um sie perspektivisch richtig darzustellen und im Falle der Augmented Reality stimmig in der realen Umgebung zu platzieren. Hierfür kommen Tracking-Systeme zum Einsatz, die es ermöglichen, Bewegung und Position optimaler Weise in Echtzeit zu erfassen. Häufig werden optische Trackingverfahren verwendet. Beispielsweise können Kameras die Position und Orientierung, entweder durch in der Umgebung platzierte Marker oder auf Basis eindeutig identifizierbarer Geometrie oder Charakteristika der Umwelt, bestimmen (Broll, 2013). Zudem besteht die Möglichkeit, das Tracking mithilfe von Sensoren, wie sie z. B. in Form von Beschleunigungssensoren standardmäßig in modernen Smartphones und Tablets verbaut sind, durchzuführen. Moderne Sensoren werden außerdem in Head-Mounted-Displays eingesetzt, um Finger- und Handbewegungen möglichst präzise, z. B. zur Interaktion mit virtuellen Objekten, zu erfassen. Die Positionsbestimmung anhand satellitengestützter Global-Positioning-System-Daten (GPS-Daten) stellt eine weitere Methode des Trackings dar, ist jedoch bei unzureichenden Empfangsbedingungen mit Ungenauigkeiten verbunden.

4.1.3 Exemplarische Anwendungspotenziale im Bauwesen

Digitale Technologien werden die Zukunft des Planens, Bauens und Betriebens wesentlich bestimmen (BMVI, 2015). Die Art und Weise, wie sie sich auf das Bauwesen auswirken werden und aktuelle Fragestellungen der Nutzer mit ihrer Hilfe gelöst werden können, ist relevant für mehrere Behörden im BMVI-Expertenetzwerk. Exemplarisch wird dies für Virtual und Augmented Reality beleuchtet. Veröffentlichungen zur Digitalisierung im Bauwesen

messen den Technologien ein enormes Potenzial zu und prognostizieren für die Zukunft vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in den verschiedenen Lebenszyklusphasen (Goger et al., 2018). Besonders durch den vergleichsweise geringen Digitalisierungsgrad der Baubranche sind durch die Anwendung digitaler Technologien erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten zu erwarten (Haghsheno et al., 2019). Technologietrends, die sich durch hohe Veränderungs- und Innovationsgeschwindigkeiten auszeichnen, treffen auf eine Branche, die durch lange Zyklen geprägt ist (Glock, 2018). Es ist also besonders wichtig, sich frühzeitig mit den möglichen Auswirkungen auseinanderzusetzen.

Im Lebenszyklus eines Bauwerks entsteht eine Vielzahl an Daten. Der Mehrwert von Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen wird deutlich, wenn bestehende Prozesse durch die strukturierte und anschauliche Visualisierung von Modelldaten sowie damit fusionierten relevanten Informationen bereichert werden. An dieser Stelle entstehen Verschneidungspotenziale mit der kooperativen Arbeitsmethodik Building Information Modeling (BIM). Das Ziel von BIM ist es, für den Lebenszyklus relevante Informationen und Daten konsistent auf Basis digitaler Bauwerksmodelle zu erfassen und zu verwalten. Für eine transparente Kommunikation zwischen Beteiligten können die fusionierten Daten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden (BMVI, 2015). Die geometrischen Informationen des Modells werden dabei z. B. mit Informationen zum Material und der Lebensdauer oder auch zu Kosten- und Terminplanungen verknüpft.

Sowohl Virtual und Augmented Reality als auch BIM bieten für sich betrachtet ein erhebliches Potenzial im Bereich des Bauwesens. Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen ermöglichen unter anderem das immersive Erleben und die Visualisierung von Bauwerken zur besseren Vorstellungbarkeit von Zusammenhängen. Das BIM-Modell als zentrale Informationsquelle unterstützt die kollaborative Arbeitsweise aller an einem Projekt Beteiligten. Durch Verschneidung lassen sich diese Potenziale um ein Vielfaches steigern (Haghsheno et al., 2019). Das vorhandene BIM-Modell kann direkt als Basis für das Virtual- oder Augmented-Reality-Modell verwendet werden (Goger et al., 2018). Die kombinatorische Wirkung mehrerer Technologien führt zu neuen Chancen.

Virtual Reality in Kombination mit BIM eröffnen z. B. Möglichkeiten in der virtuellen und interaktiven Begehung von Bauwerken. Das virtuelle Bauwerksmodell, das mit relevanten und aktuellen Bauwerksdaten im BIM-Modell fusioniert ist, kann mithilfe von Virtual-Reality-Anwendungen visualisiert und direkt in Besprechungen mehrerer Personen eingebunden werden. Die anschauliche Darstellung komplexer Daten, wie z. B. Simulationsergebnisse von Finite-Elemente-Berechnungen durch entsprechende farbliche Markierungen, trägt zu einem gemeinsamen Verständnis bei (Kölzer & Boll, 2018). Die Gegebenheiten vor Ort können aus der Ferne in der virtuellen Realität begutachtet werden. Ein Echtzeitzugriff auf lebende Datenbanken, Sensoren, Diagnosetools und andere fortschrittliche Technologien kann das Treffen fundierter Entscheidungen unterstützen. Durch Interaktion mit dem Modell können über das System zu diskutierende Bereiche ausgewählt und hinterlegte Daten geändert sowie aktualisiert werden. Schnittstellenverluste werden dadurch optimiert und die Kollaboration sowie Vernetzung der an einem Projekt Beteiligten weiter gesteigert. Diese müssen dafür nicht an einem Ort sein, sondern können anhand des virtuellen Modells über mehrere Standorte hinweg kooperieren und kommunizieren (Kölzer & Boll, 2019). Durchzuführende Erhaltungsmaßnahmen sind zunächst im virtuellen Modell planbar und können vor der Durchführung am realen Bauwerk in der virtuellen Realität vom technischen Personal erprobt und vorbereitet werden.

Anwendungspotenziale im Bereich der Augmented Reality lassen sich insbesondere vor Ort erschließen. Relevante Daten, die in einem BIM-Modell geometrisch verortet sind, können am Bauwerk direkt über ein Endgerät abgerufen und verankert an zugehöriger Stelle dargestellt werden. Damit kann beispielsweise die vorgesehene Lage eines Bauteils visualisiert und ein Soll-Ist-Abgleich mithilfe des Systems durchgeführt werden (Kölzer & Boll, 2018). Davon kann auch das technische Personal der Bauwerksprüfung profitieren. Diese können sich relevante Bauwerksdaten als Überlagerung der Realität darstellen lassen und durch Interaktion mit dem System neue Informationen im Rahmen einer medienbruchfreien Datenübertragung hinzufügen. Damit wird eine Durchgängigkeit der Daten gefördert, die außerdem wichtige Voraussetzung für weitere technologische Entwicklungen wie maschinelles Lernen oder künstliche Intelligenz ist (Goger et al., 2018). Während der Durch-

führung von Maßnahmen, beispielsweise zur Erhaltung, können Entscheidungshilfen von externen Experten oder einer möglicherweise im System integrierten künstlichen Intelligenz direkt in das Blickfeld des technischen Personals eingeblendet werden.

Die exemplarisch aufgeführten Punkte zeigen, dass die Technologien Virtual und Augmented Reality das Potenzial haben, die Effizienz von Prozessen des Bauwesens zu steigern und die Anwender zielgerichtet bei der Lösung ihrer Fragestellungen zu unterstützen. Weiterentwicklungen im Bereich leistungsstarker Computer, elektronischer Sensorik und hochauflösender Bildschirme begünstigen die Entwicklung anwenderfreundlicher Produkte. Die Systeme zeigen ihre Stärke besonders in der besseren Veranschaulichung komplexer Daten und unterstützen damit die Entscheidungsfindung des Menschen. In Kombination mit weiteren Technologien können die Potenziale um ein Vielfaches gesteigert werden. Aus der Bewertung und Analyse eines Technologietrends ergeben sich folglich wiederum neue technologische Entwicklungen, die mit diesem verknüpft sind und deren Auswirkungen beurteilt werden müssen. Demnach soll behördenübergreifend unter anderem das Erkennen und Bewerten relevanter technologischer Entwicklungen für das Verkehrswesen in der nächsten Phase des BMVI-Expertennetzwerks fortgeführt werden.

4.2 Bewertung des Technologietrends "Autonomisierung" am Beispiel der (See-)Schifffahrt

In Analogie zum Automobilbereich wird auch im Bereich der Schifffahrt zunehmend der Technologietrend der Automatisierung, zur Fernsteuerung sowie zur Autonomisierung in Forschung, Entwicklung und Innovation sichtbar. Die Maritime Forschungsstrategie 2025 (BMW, 2018) benennt z. B. im Bereich Meerestechnik autonome Unterwassertechnologien als wichtige Elemente in der Technologieentwicklung und bezeichnet die Entwicklung von Technologien wie Assistenz- und Informationssysteme sowie die Fernüberwachung und -steuerung als Innovationspfade für (teil-)autonome Schiffe. Die Maritime Forschungsstrategie 2025 erwartet durch den Einsatz autonomer Systeme in der Technologiesparte Schifffahrt eine Steigerung der Sicherheit auf See (BMW, 2018).

Das Schwerpunktthema 3 im Themenfeld 4 greift in diesem Kapitel den Technologietrend "Autonomisierung in der (See-)Schifffahrt" auf. Das Kapitel betrachtet in diesem Kontext die Binnen- und Seeschifffahrt zunächst als gemeinsamen Komplex, wobei der Fokus auf der Seeschifffahrt liegt. Es unterscheidet an dieser Stelle auch nicht die einzelnen Automatisierungsgrade, sondern betrachtet die Autonomisierung als einen Prozess der Digitalisierung von einem unter bemannten und menschlichen Entscheidungsträgern navigierten System hin zu einem potenziell unbemannten und unter künstlicher Intelligenz navigierten System.

Das Kapitel stellt zunächst flankierende Entwicklungen auf politischer, rechtlicher, technischer und gesellschaftlicher Ebene dar und benennt anschließend beispielhaft internationale Leuchtturmprojekte in Forschung, Entwicklung und Innovation zur Machbarkeit von autonomen Schiffen und maritimen Systemen. Anschließend fasst das Kapitel die Entwicklungen zusammen und artikuliert eine grundlegende Bewertung samt Ausblick auf die weitere Entwicklung des Technologietrends.

4.2.1 Flankierende Entwicklungen zum Technologietrend Autonomisierung

Der politische Wille zur zukünftigen Nutzung autonomer Technologien in der Mobilität besteht grundsätzlich und kommt auch im Koalitionsvertrag der 19. Legislaturperiode zwischen CDU, CSU und SPD (2017) und im Nationalen Masterplan Maritime Technologien zum Ausdruck (BMWi, 2018). Das autonome Fahren auf allen Verkehrsträgern solle erforscht und unter anderem auch auf der Wasserstraße getestet werden. Um die Tests im öffentlichen Raum durchzuführen, sollen Testgebiete geschaffen sowie ein rechtssicherer Rahmen erarbeitet werden.

Zur Schaffung eines rechtssicheren Rahmens entwickelten Paschke und Lutter (2018) konkrete Vorschläge zur Regulierung der autonomen Seeschifffahrt. Während die technische Entwicklung von den wirtschaftlichen Chancen der Autonomisierung getrieben werde, werde von der Rechtslage eine intensive Regulierung gefordert, um die Risiken beherrschbar zu gestalten. Nur eine sogenannte "Rule of Law" sei in der Lage, Konfliktslagen divergierender

und komplexer Interessen zu ordnen (Paschke & Lutter, 2018). Die Regelung eines funktionalen und fachlich angemessenen Ordnungsrahmens zur global einheitlichen Gestaltung könne in der internationalen Schifffahrt auch nur von der international anerkannten Regelungsinstanz Maritime Safety Committee (MSC) der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (IMO) vorgenommen werden. Als Regelungskonzeption sei die Schaffung eines spezifischen Regelungskodex zur unbemannten Schifffahrt wünschenswert. Es wird empfohlen, keine neue Konvention anzustreben, sondern eine differenzierte Kodifizierungsarbeit entlang der bereits existierenden und von Konsens getragenen Konvention zu gestalten. In diesem Kontext hat die Danish Maritime Authority eine Auflistung der internationalen regulatorischen Barrieren beim MSC der IMO eingereicht. In der 99. und in der 100. Sitzung des MSC wurden daraufhin Autonomiestufen erarbeitet und die Durchführung einer sogenannten "Regelbasierten Durchsicht" zur Einführung von Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) beschlossen, durch die Leitlinien für autonome Schiffe vorbereitet werden sollen.

Die vom BMVI eingesetzte Ethik-Kommission zum autonomen und vernetzten Fahren kommt in ihrem Bericht zu dem Schluss, dass das automatisierte und vernetzte Fahren ethisch geboten sei, wenn Systeme weniger Unfälle verursachen als menschliche Fahrer. Gleichzeitig müsse in Fahrsituationen jedoch klar geregelt und erkennbar sein, ob Mensch oder Computer für die Fahraufgabe zuständig ist (BMVI, 2017).

Die Akademie der Technikwissenschaften verdeutlicht, dass die gesellschaftliche Urteilsbildung über die Akzeptanz von Technik von vornherein Bestandteil der Technikentwicklung sein muss. Politik müsse die Bedeutung von Veränderungsprozessen als Zukunftsvorsorge vermitteln.

Auf Verbandsebene erarbeitete die Arbeitsgruppe Autonome Maritime Systeme der Deutschen Gesellschaft für Ordnung und Navigation ein Positionspapier zur Entwicklung von Komponenten für (teil)autonome Schiffe. Das Positionspapier fordert die Schärfung des industrie- und wirtschaftspolitischen Dialoges zwischen Politik, Verbänden, Administration, Industrie, Wissenschaft und Juristen mit dem Ziel einer abgestimmten Entwicklungsstrategie für autonome maritime Systeme. Weiterhin wird die Entwick-

lung einer national abgestimmten Position zum Thema gefordert mit dem Ziel, diese in die aktuell laufenden Diskurse in den entsprechenden internationalen Institutionen wie der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation, der Internationalen Hydrographischen Organisation (IHO), der International Association of Lighthouse Authorities (IALA) sowie dem Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) einzubringen. Die Arbeitsgruppe erachtet die Bereitstellung nationaler Test-, Erprobungs- und Validierungsinfrastrukturen sowie die Berücksichtigung autonomer maritimer Systeme als Aktionsfeld im Nationalen Masterplan Maritime Technologien als notwendige Schritte zur weiteren Technologieentwicklung.

4.2.2 Beispiele aus Wissenschaft, Forschung und Entwicklung

In einem der ersten Projekte unter deutscher Beteiligung vom Fraunhofer-Center for Maritime Logistics (CML) und der Hochschule Wismar wurde im Projekt Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN) ein Konzept zum Betrieb eines unbemannten Handelsschiffes entwickelt. Das Konzept sieht fünf wesentliche Elemente zur Realisierung des unbemannten und autonomen Betriebes eines Massengutfrachters vor. Zum einen bedürfte es eines Sensormoduls, das die Parameter technischer Navigationshilfen wie Radar und AIS (Automatisches Identifikationssystem) vereint und in Kombination mit bildgebenden Systemen wie Infrarotkameras sämtliche Funktionen des bisherigen Ausgucks abdeckt. Des Weiteren folgt ein autonomes Navigationssystem einer vorgegebenen Route und passt diese unter Beachtung rechtlicher und seemännischer Rahmenbedingungen an die örtliche Situation sowie an die sich ändernden Wetterbedingungen an. Ein autonomes Antriebskontrollsystem überwacht sämtliche Parameter des Maschinenraums, berechnet Notwendigkeiten zur Wartung und sorgt für eine optimale Antriebseffizienz. In einem Kontrollzentrum an Land überwacht operatives Personal zusammen mit Ingenieurinnen und Ingenieuren den Betrieb der unbemannten Flotte. Das operative Personal gibt übergeordnete Order und passt gegebenenfalls die Reiseplanung an. Die Ingenieurinnen und Ingenieure überwachen den Wartungsplan und beraten das operative Personal in technischen Fragen. Mit dem Ergebnis dieser Machbarkeitsstudie wurde bestätigt, dass

auf wissenschaftlicher Seite Einigkeit bezüglich technischer Grundelemente für autonome Schiffe besteht. Diese Elemente gelte es weiter zu erforschen, wobei die einzelnen Elemente auch getrennt voneinander erforscht und entwickelt werden könnten.

Im Projekt GALILEOnautic entwickelten wissenschaftliche Projektpartner der RWTH Aachen, der Universität Rostock, der Hochschule Wismar sowie der Universität Bremen ein Steuerungssystem über den Ansatz eines zentralen Rechners zur Manöverunterstützung in komplexen Umgebungen. Die mit dem Steuersystem und einem Automatischen Identifikationssystem (AIS) ausgestatteten Schiffe übermitteln kontinuierlich ihre Position an den zentralen Rechner. Der Rechner gleicht die Trajektorien untereinander ab und übermittelt optimierte Routenvorschläge. Die Schiffe erkennen ihre Umgebung durch ein kombiniertes Sensorsystem aus Radar und LiDAR (light detection and ranging). Das System wurde 2018 erfolgreich im Modellmaßstab unter natürlichen Bedingungen getestet³. Somit konnten national bereits Prototypen technischer Grundelemente erfolgreich im Modellmaßstab getestet und der Technologiereifegrad (TRL) 4 demonstriert werden, wobei ein TRL 1 die reine Forschungsidee und ein TRL 9 ein über lange Abschnitte umfassend erprobtes und in sämtlichen Komponenten validiertes kommerziell eingesetztes System widerspiegelt.

Im Projekt B ZERO entwickelt ein Forschungskonsortium unter Leitung des Fraunhofer CML eine unter bestimmten Bedingungen bis zu acht Stunden komplett unbemannte Schiffsbrücke. Das System soll den nautischen Offizieren flexible Wachrhythmen oder die Bearbeitung anderweitiger Aufgaben in dieser Zeit ermöglichen. Die Sensorik nimmt das Umfeld des Schiffes auf, ein Entscheidungunterstützungssystem wertet die aufgenommenen Informationen aus und leitet eine angemessene Reaktion ein. Ein Dokumentationssystem bereitet die wichtigsten Daten auf und speichert diese. Funktionieren soll die wachfreie Brücke in freiem Gewässer über einen Zeitraum von zunächst acht Stunden bei moderaten Umweltbedingungen. Das System soll von Beginn an unter Realbedingungen pilotiert werden und wird unter anderem durch das Bundesamt

³ <https://www.internationales-verkehrswesen.de/galileonautic-abschlusspraesentation/> am 01.08.2019



Abbildung 9: Designvariante einer autonomen Fähre in Kiel (Quelle: Muthesius Kunsthochschule).

für Seeschifffahrt und Hydrografie mit dem Ziel begleitet, parallel zum Projekt Instrumente zur Verifizierung und Validierung von Entscheidungssystemen zu entwickeln. Mit der Umsetzung dieser Projektziele würde der Technologiereifegrad 8 erreicht werden.

Das Vorhaben CAPT in Kiel⁴ (Clean Autonomous Public Transport in Kiel) steht für die Entwicklung einer autonomen Mobilitätskette, in der autonome Bus- und Fährverkehre miteinander kombiniert und in einer Pilotanwendung in Kiel realisiert werden sollen. Die Vision ist ein durch autonome Lösungen geprägtes urbanes Mobilitätssystem, das sicher, schadstofffrei und klimafreundlich sei. In einem Konsortium der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, der Fachhochschule Kiel und der Muthesius Kunsthochschule arbeiten diverse Firmen der Werft- und Zulieferindustrie zusammen an der technologischen Umsetzung (Abbildung 9). Die Landeshauptstadt Kiel und ihre Gesellschaften sind Projektpartner und stellen benötigte Infrastruktur zur Verfügung. Mit dem BMVI würde die Ein-

richtung eines digitalen Testfeldes für autonome Schifffahrt auf der Kieler Förde vorbereitet. Beteiligte Werften und Zulieferer planten, eine 20 Meter lange Personenfähre als Versuchsträger zu bauen. Im Projektverbund könnten von den Industriepartnern alle notwendigen Komponenten zur Erstellung einer fahrbereiten Fähre zur Verfügung gestellt werden. Unter Leitung von Nobiskrug/German Naval Yards Kiel finden Abstimmungsgespräche zur Umsetzung statt. Durch die Realisierung dieser Vision würde auch hier der Technologiereifegrad 8 erreicht werden.

Das derzeit medial am weitesten verbreitete Projekt ist der norwegische Entwurf und Bau des Schiffes "YARA Birkeland" (Abbildung 10), ein Containerschiff mit einer Transportkapazität von 120 Containern der Twenty-foot Equivalent Unit (TEU), das ab 2020 vollständig autonom für das Unternehmen YARA agieren soll. Das Schiff ist ein Entwurf der Firmen der Kongsberggruppe und dem staatlichen Institut zur Technologieförderung Marin Teknikk. Einsatzregion der YARA Birkeland ist die südnorwegische Küste, wo das Schiff den Gütertransport zwischen den Produktionsstandorten Heroya, Brevik und Lavik übernimmt. Das Kon-

⁴ <https://www.captin.uni-kiel.de/de> am 09.12.2019



Abbildung 10: Design der YARA Birkeland (Quelle: Kongsberg)⁵.

zept der YARA Birkeland beruht auf einem vollständig elektrischen Antrieb und der Auslegung auf einen autonomen und unbemannten Betrieb. Bei einer Servicegeschwindigkeit von 6 Knoten und einer Fahrtroute innerhalb der 12 Meilenzone wird das Schiff jährlich 40 000 Lkw-Fahrten zwischen den einzelnen Produktionsstandorten ersetzen und somit wesentlich zum nachhaltigen Transport innerhalb der Region beitragen. Durch das Projekt kann festgehalten werden, dass auch international bereits Prototypen im Realmaßstab für die wirtschaftliche Anwendung entwickelt werden und somit Stufe 8 des Technologiereifegrads avisiert wird.

4.2.3 Technologiebereitschaft und Technologievorausschau

In der Technologie Roadmap Maritime Safety and Highly Automated Systems (Hahn et al., 2018) benennt das For-

schungsinstitut OFFIS anhand durchgeführter Expertenworkshops und einer umfangreichen Recherche vier Themenbereiche mit dem Potenzial, entscheidende Schlüsseltechnologien der maritimen Industrie zu werden. Neben der "Intelligenten Brücke" werden die Bereiche "Fernsteuerung und Fernüberwachung" sowie "Autonome Schiffe" und "Intelligentes Verkehrs- und Transportmanagement" als Schlüsselemente zur Technologieentwicklung im maritimen Bereich gesehen. Die Roadmap bringt diese vier Themenbereiche mit den grundlegenden Technologien in einen zeitlichen Kontext über 3,5 und 10 Jahre (Abbildung 11).

Um den Übergang von Forschung zu industrieller Entwicklung zu katalysieren, wurde vom Institut OFFIS für den maritimen Bereich eine Plattform zur Technologieentwicklung, die eMaritime Integrated Reference (eMIR)-Plattform, gegründet. eMIR lädt als generische Plattform mit offener Kommunikation ein, Projekte im Sektor der Überwachungstechnik auf dieser Plattform zu demonstrieren. Die Initiative soll dazu dienen, die Erforschung, die Verifizierung und die Validierung maritimer Systeme und Kompo-

⁵ <https://www.km.kongsberg.com> am 03.08.2019

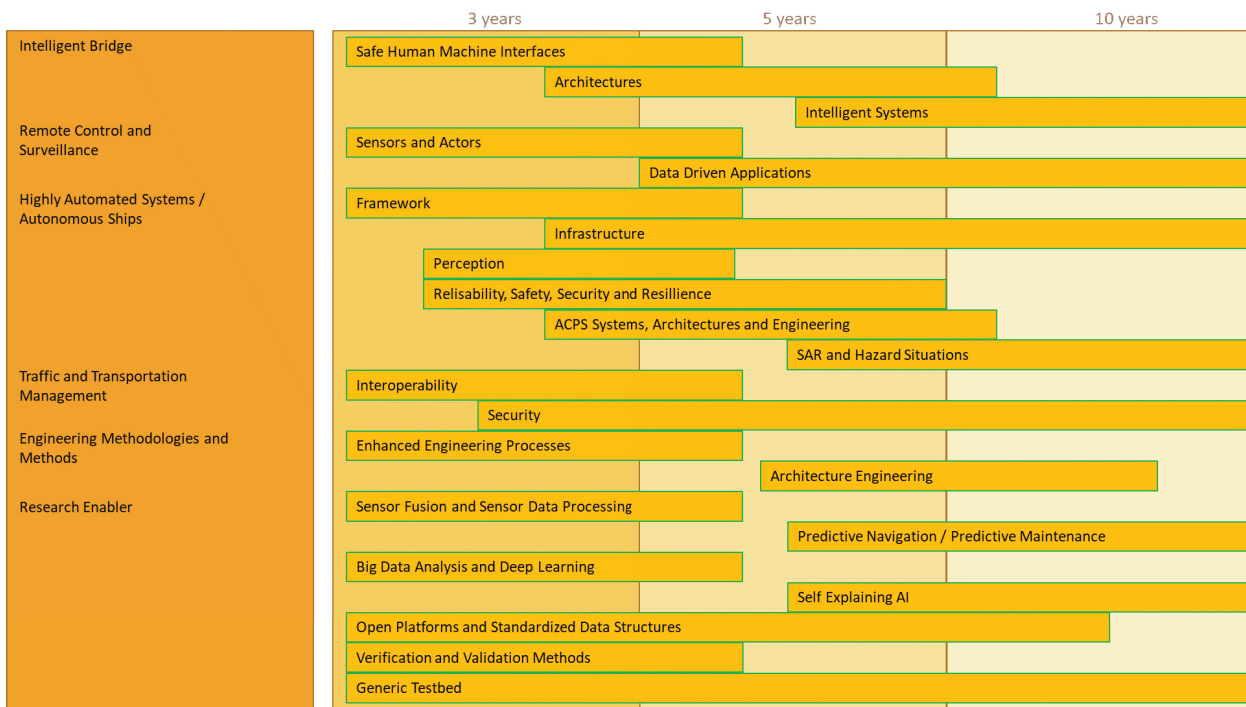


Abbildung 11: Roadmap (Quelle: OFFIS).

zenten durch virtuelle und physikalische Testumgebungen zu ermöglichen. Die Plattform orientiert sich ebenfalls an der Skala zum Technologiereifegrad, den Technology Readiness Levels (TRL) (Abbildung 12). Anhand dieser Skala ist es in Verbindung mit der Technologie Roadmap möglich, die notwendige technologische Entwicklung der nächsten Jahre für den Technologiebereich Schifffahrt abzuschätzen. Auf der Skala der Technologiereife nimmt Deutschland in Bezug auf autonome Schiffe durch seine Forschungsprojekte derzeit Reifegrad 4 ein, wobei durch diverse Projekte das TRL 8 avisiert wird. International ist bereits durch großmaßstäbliche Prototypen Reifegrad 7 bis 8 erreicht.

4.2.4 Ökonomische Betrachtungen

In der gemeinsamen Studie zur "Strategie 2030" haben die Berenberg Bank und das Hamburgische WeltWirtschaftsinstitut (HWWI) die "Schifffahrt in Zeiten des digitalen Wandels" untersucht (Berenberg Bank & HWWI, 2018). Als wichtigste Innovationsfelder und digitale Trends be-

nennt die Studie die Vernetzung von Schiffen und Häfen als Chance für die Schifffahrt. Durch die flächendeckende Verwendung von Sensorik und Satelliten können Schiffe, Ladung und Häfen zu einem cyberphysikalischen System gekoppelt und dadurch Logistikketten optimiert und effizient gestaltet werden. Durch Fernüberwachung und Vorhersagen von Wetter, Verkehrsaufkommen und Schiffsankünften können Routen besser geplant und notwendige Reparaturen rechtzeitig erkannt und zuverlässig durchgeführt werden.

Unter der Annahme, dass die zukünftige Wirtschaft durch eine Architektur von Plattformen gekennzeichnet ist, wird das direkte Zusammenspiel von globalen und lokalen Akteuren zunehmen. Die Studie erwartet, dass es weltweit nur noch wenige Anbieter von Logistikdienstleistungen geben wird, die als Plattform inklusive Flughäfen und Seehäfen die komplette Logistikkette end-to-end abwickeln werden. Darüber hinaus erwartet die Studie, dass die Digitalisierung zu einer dezentralen Produktion mit weniger Raumbedarf führen wird. Perspektivisch könnten somit Smart-Factory-

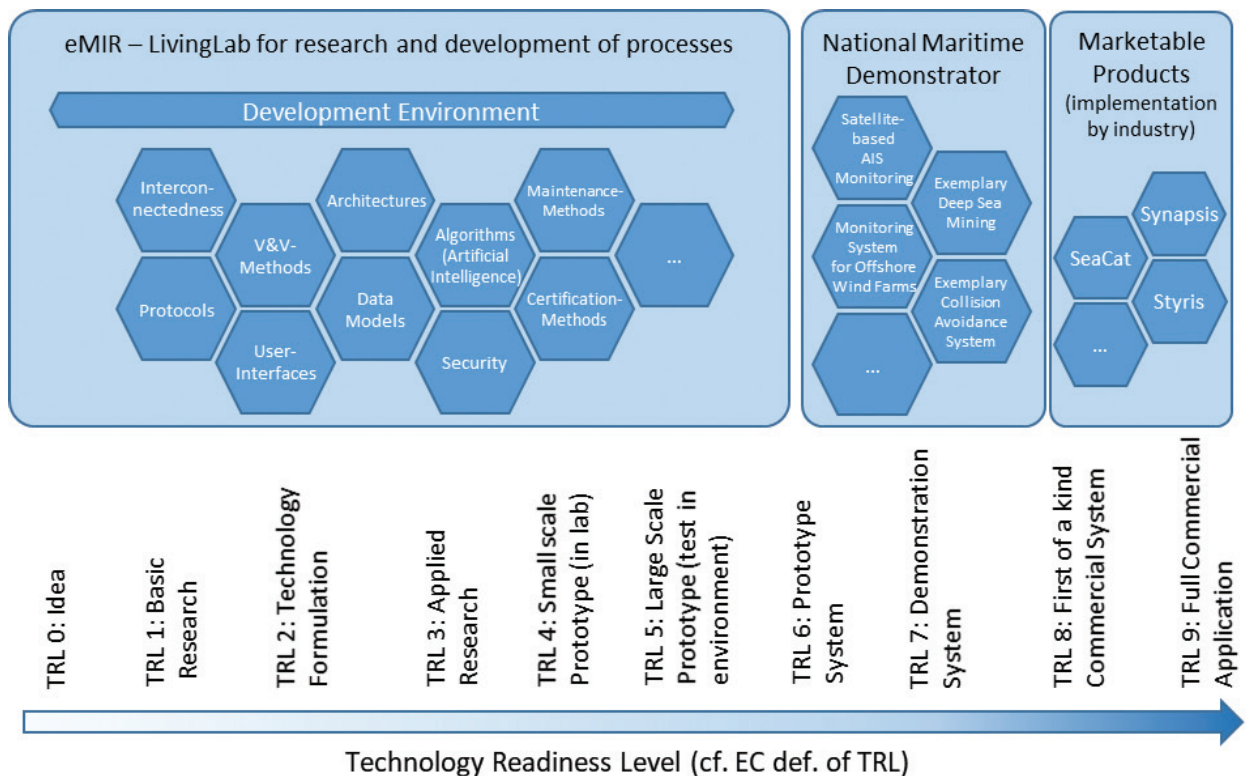


Abbildung 12: Technology Readiness Levels im maritimen Sektor (Quelle: OFFIS).

Schiffe entstehen, die neben Rohstoffen und Energie auch die Produktion transportieren. Grundlage hierfür seien technisch hoch entwickelte und vollständig vernetzte Schiffe (Berenberg Bank & HWWI, 2018).

Einen entscheidenden Einfluss auf die Schifffahrt werde die Anwendung der 3D-Druck-Produktion haben. Das Additive Layer Manufacturing (ALM) ermögliche, die Produktion zu dezentralisieren, mehrere Stufen der Produktion zu einer zusammenzufassen, den Rohstoffverbrauch durch optimiertes Design zu senken und selbst Einzelteile ohne Zusatzkosten zu produzieren. Da Transport wesentlich durch die räumliche Trennung von Produktion und Konsum hervorgerufen wird, würden alle Effekte des ALM zu einer Senkung des Transportvolumens und zu einer Verschiebung der Container-, Tanker- und Bulker-Transportkapazitäten führen. Zukünftig werde das weltweite Produktionswachstum rohstoffintensiver und der Transport von Halb- und Fertigzeugen geringer. Die Studie erwartet einen überproportionalen Anstieg der Bunkerkapazitäten bis 2040 (Abbildung 13).

Insgesamt zieht die Studie das Fazit, dass eine erhöhte Konnektivität perspektivisch eine unbemannte Schifffahrt zwar ermöglicht, die ökonomischen Vorteile einer unbemannten Schifffahrt jedoch im Vergleich zu optimierten Logistikketten, geringeren Wartezeiten, schnellen Routen, transparenten Informationen und energieeffizienteren Treibstoffen eher gering sein werden.

Im Projekt MUNIN wurde eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Für ein bemanntes Bemessungsschiff werden Investitions-, Betriebs- und Reisekosten berechnet und anschließend die Kostenänderung für den autonomen Betrieb in drei unterschiedlichen Betriebszeanarien abgeschätzt. Das Bemessungsschiff ist ein bemannter Massengutfrachter, der sich besonders für den unbemannten beziehungsweise autonomen Betrieb aufgrund der direkten Hafenverbindung ohne zwischenliegende Anläufe eignet. Als Betriebsmittel wird Schweröl und im Küstennahbereich Marinediesel verwendet (Kretschmann, Burmeister & Jahn, 2017).

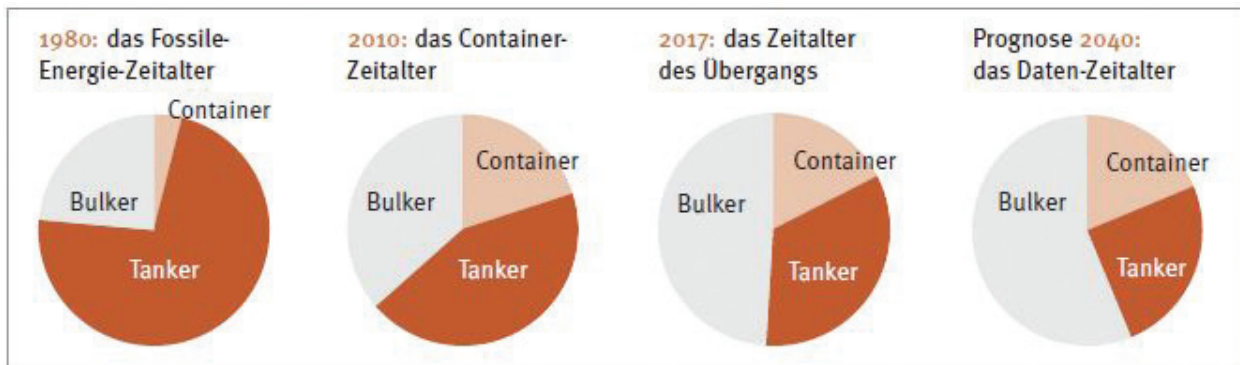


Abbildung 13: Anteil der Ladung nach Schiffstypen (Quelle: Berenberg Bank & HWWI).

Monetäre Vorteile der unbemannten Schifffahrt benennt das Projekt in der Einsparung im Betrieb bei verminderter Geschwindigkeit. Das sogenannte "slowsteaming" kann bei unbemannter Schifffahrt effizienter eingesetzt werden, da eine verlängerte Fahrtdauer aufgrund langsamerer Geschwindigkeit keinen weiteren Einfluss auf Personalkosten hat. Allerdings beläuft sich die Reduzierung der Personalkosten nur auf einen geringen Beitrag. Bei den Investitionskosten erwartet das Projekt verringerte Kosten durch die Reduzierung oder Vermeidung von Decks-, Unterbringungs- und Versorgungsaufbauten. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass ein erhöhter Technologiegrad unbemannter Schiffe gleichzeitig zu einem effizienteren Schiffsbetrieb führt. Soziokulturelle Herausforderungen für den Beruf des Seemannes entfallen und Investitions- sowie Unterhaltungskosten für die Bereithaltung von Aufenthalts- und Versorgungsstrukturen werden vermieden.

Monetäre Nachteile sieht das Projekt im notwendigen Einsatz höher entwickelter Antriebstechniken, die möglicherweise auch mit reineren und damit teureren Kraftstoffen betrieben werden müssen. Diese Nachteile werden jedoch durch die Reduzierung und Vermeidung von Umweltbelastungen gemindert. Bislang ungeklärte ökonomische Fragestellungen bestehen im verstärkten Einsatz technisch hoch entwickelter Sensorik sowie im bei unbemannter Fahrt möglicherweise notwendigen redundanten Einsatz von Antriebssystemen. Im Allgemeinen fehlt derzeit ein detailliertes Design unbemannter und autonomer Schiffe zur direkten wirtschaftlichen Betrachtung. Ebenso mangelt es

derzeit an einer Datenbasis aufgrund bislang nicht vorhandener Anwendungsfälle, an denen der wirtschaftliche Einsatz unbemannter und autonomer Systeme hinreichend bewertet werden kann.

4.2.5 Zusammenfassende Beurteilung des Technologietrends

Die Umfeldanalyse der nationalen politischen Rahmenbedingungen zeigt, dass dem autonomen und vernetzten Fahren große Chancen zugesprochen werden. Darüber hinaus besteht der politische Wille, den Umweltschutz durch alternative Antriebsarten zu fördern und die maritime Ausbildung zu stärken. Dies wird nochmals in der Maritimen Agenda 2025 (BMW, 2017) bekräftigt, indem der Digitalisierung in der maritimen Branche das Potenzial zugesprochen wird, die deutsche Technologieführerschaft im Geschäftsfeld Smart Ships zu sichern und das maritime Know-how zu stärken.

Ein weiterer politischer Wille besteht darin, die Mobilitätsforschung unter klima-, gesellschafts- und sozialwissenschaftlichen Gesichtspunkten zu betrachten. Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften fordert, die Technikbereitschaft und Technikakzeptanz der Gesellschaft frühzeitig zu fördern, indem ein sachlich-aufgeklärter Meinungsbildungsprozess initiiert wird. In diesem Zusammenhang müsse die Furcht der Gesellschaft vor Arbeitsplatzverlust oder -substitution adressiert werden. Ebenso

müsse gezeigt werden, dass Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen im Betrieb autonomer Systeme erfüllt werden. Hier benennt das Fachforum Autonome Systeme sehr deutlich die Risiken hoher Kosten und die Gefahren des autonomen Fahrens in der Interaktion von Mensch und Maschine.

Um Risiken zu begegnen und die Technologiemündigkeit der Gesellschaft in Bezug auf autonome maritime Systeme zu fördern, fordert die Rechtswissenschaft eine sachgerechte Governance durch die Entwicklung einer "Rule of Law". Für die Regelungskreise Schiff, Schiffsverkehr und Infrastruktur wird gefordert, einen eigenständigen und differenzierten Regelungskodex entlang bestehender Konsense zu entwickeln. Auf internationaler Ebene wird empfohlen, dieses im MSC der IMO zu verhandeln (Paschke & Lutter, 2018).

Der nationale Stand von Wissenschaft und Forschung zeigt, dass unbemannte Schiffe technisch möglich sind. Große Chancen bescheinigt die Wissenschaft der unbemannten Schifffahrt in der Steigerung der Sicherheit im Seeverkehr, was bereits durch aktuelle Projekte im Bereich der E-Navigation, beispielsweise zum Routenaustausch oder zu Kollisionswarnsystemen, glaubwürdig wird. Auch die Wissenschaft untermauert Risiken hoher Kosten durch Redundanz und technologisch hoch entwickelte Systeme (Kretschmann, Burmeister & Jahn, 2017).

In der Technologieentwicklung besteht Einigkeit über grundlegende Bestandteile eines unbemannten und autonomen Schiffes (Rødseth & Burmeister, 2012). Zum einen muss es ein hochentwickeltes Sensormodul zur Umgebungserfassung und Standortbestimmung geben. Darüber hinaus muss es ein intelligentes System geben, das die Sensordaten verarbeitet und die Navigation des Schiffes an Randbedingungen wie Routenplanung, Verkehr und Wetter kontinuierlich anpasst. Die letztendliche Überwachung des Schiffbetriebs wird sich von See an Land in Überwachungs- und Kontrollzentren verlagern, wo zukünftig neue Arbeitsplätze und geänderte Berufsprofile nötig sein werden. Die Fernüberwachung und die Fernsteuerung sind zusammen mit Antriebsalternativen zum wartungsintensiven Verbrennungsmotor wesentliche Schlüsseltechnologien

zur Weiterentwicklung zur unbemannten autonomen Schifffahrt.

Der internationale Stand der Technik zeigt bereits die Funktionstüchtigkeit der unbemannten Systeme in Modellen unter Einsatzbedingungen und im Labor. Die Analyse der Technology Readiness Levels und der Technology Roadmaps zeigt den Übergang der Technologie vom Labor in einen naturmaßstäblichen Prototyp als folgelogischen Schritt. Dieser Übergang der Technologien vom Labor in erste nationale Demonstrationsprojekte wird von skandinavischen Nationen beispielhaft vorgeführt. Um diesen Übergang auch national zu ermöglichen, scheint vor allem eine national artikulierte Strategie zum wirtschaftlich und gesellschaftlich mehrwertbringenden Einsatz der Technologie notwendig. Ebenso sind den Prototypenentwicklungen in Norwegen und Finnland eine hohe staatliche Förderung und der gemeinschaftliche Zusammenschluss von privatwirtschaftlichen Technologiekonzernen und öffentlich administrativen Institutionen gemein.

Die weltweite Zunahme der Zahl von Testumgebungen von Projekten der E-Navigation und die internationale Einrichtung und Bereitstellung von Gebieten zum Test ferngesteuerter und unbemannter Schiffe zeigen die zu erwartende technologische Entwicklung. Die Aktivitäten unter den Randbedingungen der regelbasierten Durchsicht der IMO zeigen den internationalen Willen, die Technologieentwicklung zu unbemannten Schiffen zu fördern. Auch auf nationaler Ebene wird die Bereitschaft deutlich, Forschungs- und Demonstrationsprojekte zu fördern und dafür auch auf rechtlicher Basis Experimentierklauseln und Ausnahmeregelungen zu schaffen.

Auch wenn die ökonomischen Betrachtungen derzeit noch keinen betriebswirtschaftlich rentablen Einsatz unbemannter und autonomer Seeschiffe aufzeigen, werden die Minderung von Risiken in der Seeschifffahrt und die Individualisierung des Verkehrs im Binnenbereich als hinreichend wirtschaftlicher Anreiz zur Technologieentwicklung gesehen. Im Binnenbereich wird durch die Individualisierung des Transportes kleiner Einheiten auch eine Verlagerung des Verkehrs von Straße auf die Wasserstraße erwartet, was eine öffentliche Förderung der Technologie-

entwicklung aus umweltschutztechnischer Sicht legitimiert. Durch den vermehrten Einsatz der 3D-Druck-Technologie wird eine Vergrößerung der Transportmengen der Roh- und Betriebsstoffe erwartet. Der Einsatz der entsprechenden Bulker ermöglicht wiederum den wirtschaftlich interessanten Einsatz unbemannter und autonomer Schiffe, wie die Untersuchungen aus dem Projekt MUNIN zeigen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass der Technologietrend "Autonomisierung" in der (See-)Schifffahrt als Innovationspfad betrachtet werden kann, in dessen Zuge diverse technologische Neuerungen entwickelt werden. Es zeigt sich aber auch, dass die Beschreitung des Innovationspfads weiterhin intensiv von politischer, administrativer, gesellschaftlicher, rechtlicher und technisch-wissenschaftlicher Begleitung flankiert werden muss.

5 Fazit und Ausblick

Inhalt:

Die Digitalisierung wird maßgeblich die weitere Entwicklung der Menschheit prägen. Die Optionen, die sich aus den digitalen Technologien ergeben, sind nicht absehbar und die Entwicklung ist in der aktuellen Phase noch stark beeinflussbar. Das Hauptziel der ersten Phase von Themenfeld 4 im BMVI-Expertennetzwerk war es, exemplarisch einige dominante Entwicklungen mit Einfluss auf die Verkehrssysteme zu identifizieren und darauf aufbauend erste Konzepte zu erarbeiten, wie damit umgegangen werden kann. Ziel der zweiten Phase wird es sein, daraus konkrete Umsetzungen oder Handlungsoptionen abzuleiten.

5.1 Wichtige Erkenntnisse

Das Themenfeld 4 ist sehr heterogen aufgestellt, wodurch sehr unterschiedliche Bereiche untersucht werden. Die zentralen Erkenntnisse aus der ersten Phase lassen sich wie folgt darstellen:

Die Erkenntnisse aus der Standardisierung der Datenübertragung in der Flugmetereologie werden dabei helfen, eine möglichst allgemeingültige Definition für behördenübergreifende Datenformate zu finden. Die Voruntersuchung für die Nutzung neuer Analysemethoden für den Bereich der Behörden des BMVI-Expertennetzwerks hat es ermöglicht, ein erstes Konzept für Big-Data-Analysen aufzusetzen, an dessen Umsetzung zu Testzwecken derzeit gearbeitet wird.

Das Thema Building Information Modeling wird aktuell zu wenig in die für Verkehrsträger nutzbare Form gebracht. Aufgrund der starken Ausrichtung auf Hochbauprojekte fehlen hierbei die Werkzeuge für Linienbauten und das Thema der Bewirtschaftung von Bauwerken (am besten ein einheitliches System für das gesamte Verkehrsnetz) ist bisher nicht im Fokus der Entwicklung. Es besteht die Gefahr, dass die Methodik ohne die benötigten Werkzeuge bleibt, um Linienbaustellen und die Betriebsphase auch für den Verkehrssektor abdecken zu können. Die Untersuchungen des Themenfeldes 4 können hierbei dazu beitragen, diese Methodik besser für die Verkehrsträger zu erschließen.

Technologien wie Virtual und Augmented Reality zeigen Nutzungspotenziale auf, die einen Beitrag zur Lösung ak-

tueller Fragestellungen im Verkehrswesen leisten können. Mithilfe dieser Technologien können potenziell Prozesse unter anderem durch bessere Vorstellbarkeit und Veranschaulichung komplexer Daten optimiert werden. Verknüpfungen mit weiteren Technologien versprechen eine Steigerung der Potenziale.

Die Ergebnisse einer Umfeldanalyse für die autonome Seeschifffahrt bescheinigen den Prozess der Autonomisierung als einen wichtigen Innovationspfad der derzeitigen technologischen Entwicklung in der Seeschifffahrt. Die Autonomisierung als Prozess hat das Potenzial, die Sicherheit auf See zu steigern und die Umweltfreundlichkeit der Seeschifffahrt zu erhöhen.

Die wichtigste Erkenntnis im Themenfeld 4 ist die Gewissheit, dass die Entwicklungen im digitalen Raum so schnell erfolgen, dass es bereits eine große Aufgabe ist, dem Tempo folgen zu können und nicht die Übersicht zu verlieren. Der Ansatz, Technologien zu erschließen und nicht mit eigenen Kapazitäten zu erstellen, ist damit für die beteiligten Behörden der einzig praktikable Weg. Es wird dabei auch nicht möglich sein, alle Bereiche zu screenen, allerdings können die dominanten Handlungsfelder für die Verkehrsträger untersucht werden. Das Themenfeld 4 kann einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, dass die Entwicklungen verstanden und für die Behörden erschlossen werden können. Damit wird eine schnellere Handlungsfähigkeit der Behörden erreicht und es wird möglich sein, Entwicklungen frühzeitig einen rechtlichen Rahmen zu geben.

5.2 Nutzung der Ergebnisse

Das Themenfeld 4 hat weniger die Verkehrsinfrastrukturbetreiber im Fokus, sondern ist insbesondere darauf ausgerichtet, den Umgang der Behörden im BMVI-Expertenetzwerk mit digitalen Technologien zu untersuchen und Fragen für die Behörden zu lösen. Die Anwender der Ergebnisse sind daher in erster Linie die beteiligten Behörden, denen damit die Möglichkeit eingeräumt wird, zentrale Entwicklungen für die Verkehrsträger (z. B. automatisiertes Fahren) einschätzen und bewerten zu können. Dies dient auch als Grundlage für die Politikberatung. Die Beteiligung an Entwicklungen (z. B. SWIM) ermöglichte eine aktive Einflussnahme auf den Standard, um sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen übermittelt werden können.

Die meisten der Aufgaben sind noch nicht so weit gediehen, dass schon unmittelbar große Umstrukturierungen, z. B. in der Datenhaltung, angestoßen wurden. Allerdings werden in den Behörden und zum Teil zwischen den Behörden bereits Möglichkeiten diskutiert und abgestimmt, wie ein System umgesetzt werden muss, um eine Anwendung zu ermöglichen.

5.3 Schwerpunkte der nächsten Bearbeitungsphase ab 2020

Ab 2020 beginnt die zweite Phase des BMVI-Expertenetzwerks, in der vieles umgesetzt und erprobt werden soll, was in der ersten Phase analysiert werden konnte. In Themenfeld 4 wird es zwei Schwerpunktthemen geben.

Schwerpunktthema 1: "Datenhaltung und Datenformate" (BAW, BfG, DWD)

Für eine effiziente und flexible Zusammenarbeit der Behörden werden übergeordnete Werkzeuge benötigt. Dazu zählen gemeinsame Vokabulare, verfügbare und verständliche Daten sowie innovative Verfahren zur Auswertung von

Daten. Dabei werden Vorarbeiten nationaler und internationaler Organisationen (z. B. OGC, ISO, UNO, EU etc.) berücksichtigt. Dadurch sind Daten schneller zugänglich und auch in weiterer Zukunft nutzbar. Erreicht werden soll der Erwerb von Kompetenzen im Bereich Big Data Analytics bei allen beteiligten Behörden. Speziell die Entwicklung neuer und moderner Analyse- und Fachverfahren wird auf Basis von Big-Data-Infrastrukturen ermöglicht werden.

Primäre Themen werden die Definition metadatenbasierter Datenformate zur sicheren Verwendung von Messreihen, die Untersuchung von Big Data Analytics sowie die Verbesserung des Datenaustausches sein.

Stichworte: Big Data, Datenformate, Geodatenhaltung, Datenaustausch

Schwerpunktthema 2: "Technologische Entwicklungen für die Mobilität bewerten" (BAG, BAST, BSH, DZSF/EBA)

Innovative Technologien werden sehr schnell entwickelt und Systeme in Umlauf gebracht. Die Potenziale und Risiken sowie den Reifegrad der Entwicklungen zu erkennen und zu bewerten, sind die zentralen Schritte in der Definition des passenden Umgangs mit diesen. Ziel ist es, eine rollierende Technologievorausschau zu implementieren, um Chancen und Herausforderungen neuer Technologien zu bewerten und disruptive Ereignisse zu antizipieren und damit steuern zu können.

Primäre Themen werden die Erfassung und Bewertung technologischer Entwicklungen inklusive der Untersuchungen des Handlungsbedarfs bei Behörden und in der Politik sein.

Stichworte: Technologiebewertung, Potenzialerkennung, Risikoanalyse, Vehicle-to-everything (V2X), BIM, autonomes Fahren, Augmented und Virtual Reality

6 Literatur

- Azuma, R. T. (1997): A Survey of Augmented Reality. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6 (4). MIT Press. Cambridge, S. 355–385.
- Berenberg Bank & HWWI (2018): Strategie 2030 - Schifffahrt in Zeiten des digitalen Wandels, Berenberg und HWWI, Hamburg. https://www.berenberg.de/files/MacroNews2018/180327_Berenber_HWWI_Studie_Schifffahrt.pdf
- BMVI (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin, S. 3-4.
- BMVI-Expertennetzwerk (2018): Forschungsstrategie des BMVI-Expertennetzwerks Wissen – Können – Handeln, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bonn. https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Publikationen/Medien/Forschungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- BMWi (2017): Maritime Agenda 2025, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/maritime-agenda-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=18
- BMWi (2018): Maritime Forschungsstrategie 2025, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/maritime-forschungsstrategie-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=12
- Broll, W. (2013): Augmentierte Realität. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B (Hg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Vieweg. Berlin, Heidelberg, S. 241-294.
- Dörner, R.; Jung, B.; Grimm, P.; Broll, W.; Göbel, M. (2013): Einleitung. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B (Hg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Vieweg. Berlin, Heidelberg, S. 1-31.
- Dubois, E.; Mouratidis, H. (2010): Guest editorial: security requirements engineering: past, present and future. In: Requirements Eng 15 (1). Springer. London, S. 1–5.
- ESRI (2018): ESRI and Autodesk – Whats Next?. Online verfügbar unter <https://www.esri.com/~media/Images/Content/landing-pages/autodesk/Esri-ADSK-Vision-Paper> zuletzt geprüft am 07.01.2020.
- Gartner (2018): Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. Unter Mitarbeit von K. Panetta. Hg. v. Gartner. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>, zuletzt aktualisiert am 15.10.2018, zuletzt geprüft am 30.07.2019.
- Glock, C. (2018): Digitalisierung im konstruktiven Bauwesen. In: Beton & Stahlbetonbau 113 (8). Ernst & Sohn. Berlin, S. 614–622.
- Goger, G.; Piskernik, M.; Urban, H. (2018): Studie: Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien, S. 68–70.
- Grimm, P.; Herold, R.; Reiners, D.; Cruz-Neira, C. (2013): VR-Ausgabegeräte. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Vieweg. Berlin, Heidelberg, S. 127-156.
- Hahn, A.; Feuerstack, S.; Weinert, B.; Rüssmeier, N.; Grafe, W.; Cabos, C. (2018): Maritime Safety and Highly Automated Systems, Institut für Informatik e.V. (OFFIS). Oldenburg. https://www.offis.de/fileadmin/content/files/download_tools/roadmaps_und_studien/MaritimeSafetyAutonomyRoadmap_web.pdf.

Haghsheno, S.; Deubel, M.; Spenner, L. (2019): Digitale Technologien und deren Wertschöpfungspotenziale für die Bauwirtschaft. In: Bauingenieur (94). VDI Fachmedien. Düsseldorf, S. 45–55.

Kamsties, E.; Hörmann, K.; Schlich, M. (1998): Requirements engineering in small and medium enterprises. In: Requirements Eng3 (2). Springer. London, S. 84–90.

Klier, J.; Klier, M.; Muschter, S. (2017): How to manage IS requirements in complex public sector structures: toward an action design research approach. In: Requirements Eng22 (4). Springer. London, S. 419–432.

Kölzer, T.; Boll, J.-N. (2018): Computergenerierte Realitäten im Bauwesen - Anwendungsgebiete und kategoriale Zuordnung. In: BIM Building Information Modeling Special 2018. Ernst & Sohn. Berlin, S. 42–45.

Kölzer, T.; Boll, J.-N. (2019): Eine Technologie-Übersicht zu VR. Computergenerierte Realitäten im Bauwesen. In: Computer Spezial - Digitalisierung im Bauwesen (1). Bauverlag. Gütersloh, S. 39–41.

Kretschmann, L.; Burmeister, H.-C.; Jahn, C. (2017): Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: An exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk-carrier. Research in Transportation Business & Management(25). Elsevier. Amsterdam, S. 76–86.

Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F. (1995): Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Hari Das (Hg.): Telemanipulator and Telepresence Technologies. Photonics for Industrial Applications. SPIE (SPIE Proceedings). Boston, S. 282–292.

Paschke, M.; Lutter, C. (2018): Zur künftigen Rechtsordnung der unbemannten Schifffahrt – Unter besonderer Berücksichtigung der Bedeutung der MARPOL, STCW, SALVAGE und FAL Konventionen. Hamburg: Institut für Seerecht und Seehandelsrecht (ISSH).

Sutcliffe, A. (1996): A Conceptual Framework for Requirements Engineering. In: Requirements Eng1 (1). Springer. London, S. 170–189.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Internet: www.bmvi.de
E-Mail: poststelle@bmvi.bund.de

Verfasser

Sonja Neumann, Norman Voß
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Kasjen Kramer, Thomas Scharrenbach
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Frederik Treuel
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)

Jens Kuscherka
Deutscher Wetterdienst (DWD)

Markus Reinhardt
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF/EBA)

Stand

September 2020, 3. Auflage

Gestaltung | Druck

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Referat Z 32, Druckvorstufe | Hausdruckerei

Bildnachweis

Titelseite: [thomaslerchphoto/stock.adobe.com](https://www.adobe.com/stockphoto/thomaslerchphoto)
Abbildungsverzeichnis

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.

BMVI-Expertennetzwerk (2020) Digitale Technologien konsequent entwickeln und anwenden.
Ergebnisbericht des Themenfeldes 4 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019,
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin. DOI: 10.5675/ExpNBmVI2020.2020.15

