



Eisenbahn-Bundesamt

EBA Forschungsbericht  
Nummer 2019-02

# Auswirkungen der Digitalisierung auf den Eisenbahnbetrieb

Ableitung möglicher Veränderungen für den Triebfahrzeugführer

Schlussbericht



EBA FB 2019-02  
Projektnummer 2017-H-1-1217

# Auswirkungen der Digitalisierung auf den Eisenbahnbetrieb

Ableitung möglicher Veränderungen für den Triebfahrzeugführer

von

Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen

Fabian Stoll, M.Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen

Jochen Nelles, M.Sc.

Dr.-Ing. Christopher Brandl

Dr.-Ing. Dr. rer. medic. Dipl.-Inform. Alexander Mertens

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch

Im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes

# Impressum

## HERAUSGEBER

Eisenbahn-Bundesamt

Heinemannstraße 6  
53175 Bonn

[www.eba.bund.de](http://www.eba.bund.de)

## DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

RWTH Aachen University

Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen University  
Mies-van-der-Rohe-Str. 1  
D-52074 Aachen

Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University  
Bergdriesch 27  
D-52062 Aachen

## ABSCHLUSS DER STUDIE

Januar 2019

## REDAKTION

Referate 34, 52

Bearbeiter Marcus Daniel, Meike Holtkämper

## PUBLIKATION ALS PDF

<http://www.eba.bund.de/forschungsberichte>

ISSN 2627-9851

Bonn, März 2019

---

# Kurzbeschreibung / Abstract

Im Eisenbahnbetrieb zeichnet sich, übergreifend über die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), ein Trend zur Digitalisierung von Betriebsprozessen ab. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, (1) den Stand der Forschung und Entwicklung digitaler Bahntechnologien mit dem Triebfahrzeugführer (Tf) als Hauptanwender sowie vergleichbare Projekte benachbarter (Verkehrs-)Branchen aufzuzeigen. Ein weiteres Ziel ist die (2) Beschreibung digitaler Arbeitsmittel im derzeitigen Berufsalltag von Tf. Die Recherchen bilden die Ausgangslage für eine arbeitswissenschaftliche Bewertung. Diese umfasst u. a. die Aspekte ergonomische Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen, Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung und Aspekte der Benutzbarkeit mobiler Arbeitsmittel. Im Fokus der Betrachtungen steht dabei die Integration von Tablet-Anwendungen im Führerraum. Darüber hinaus zielt dieses Forschungsvorhaben darauf ab, die (3) Auswirkungen durch die Anwendung digitaler Arbeitsmittel auf die Aus- und Weiterbildung des Tf sowie auf den geltenden Rechtsrahmen zu prüfen sowie die geltenden Grundsätze bezüglich des Datenschutzes und der Datensicherheit zu erläutern.

In diesem Forschungsvorhaben wurden Literaturrecherchen sowie Expertengespräche hinsichtlich des heutigen und zukünftigen Einsatzes digitaler Anwendungen des Tf durchgeführt. Darüber hinaus wurden für die Analyse des Standes der Technik Triebfahrzeug-Mitfahrten im Personen- und Güterverkehr sowohl im Nah- und Fernverkehr vorgenommen. Arbeitswissenschaftliche Analysen und Bewertungen stützen sich auf die im Rahmen von Mitfahrten und Befragungen von Tf sowie weiteren Betriebspersonalen erzielten Beobachtungen unter Einbezug ergonomischer sowie arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse. Die hieraus abgeleiteten Empfehlungen schließen Erfahrungen einzelner Branchenvertreter ein.

Die Literaturrecherchen und Expertengespräche zeigen, dass die Mehrheit der betrachteten Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf eine prädiktive bzw. zustandsbasierte Instandhaltung abzielt und sich Sensor- und Diagnosesysteme bzw. automatisierte Lösungen zu Nutze macht. Neben der Instandhaltung werden eine umfassende Digitalisierung der vormals papierbasierten Kommunikationswege, eine zunehmende Performanzsteigerung des Fahrbetriebs durch Fahrerassistenzsysteme sowie eine Harmonisierung der Zugbeeinflussung und damit verknüpfter Führerraumanzeigen u. a. im Rahmen des European Train Control Systems (ETCS) angestrebt. Die arbeitswissenschaftliche Analyse und Bewertung digitaler Anwendungen im Führerraum ergab mehrere Herausforderungen. So weisen stationär verbaute Führerraumanzeigen eine eingeschränkte Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit auf, während mobile Tablet- und Smartphone-Anzeigen häufig nicht auf Seh- und Greifräume des Bedienpersonals abgestimmt wurden. Darüber hinaus fehlt im Fall mobiler Endgeräte in der Regel eine zeit- und ortsabhängige Priorisierung von Informationen. Hieraus ergeben sich negative Folgewirkungen wie Medienbrüche zwischen verschiedenen stationären und mobilen Anzeigen sowie Papierdokumenten, eine Informationsflut und visuelle Mehrfachbelastungen des Tf. Dies kann zu einer Reduktion der Aufmerksamkeit sowie Beeinträchtigung der Fahrleistung des Tf führen.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wird konstatiert, dass mittel- bis langfristig eine Erweiterung des europäischen Einheitsführerpults um ein flexibel nutzbares, auf Bedürfnisse der EVU zugeschnittenes fünftes Display mit standardisierten Schnittstellen zu empfehlen ist. Ein solches, durch die EVU flexibel nutzbares Display bietet die Funktionalität, spezifische Back-End-Systeme und deren Inhalte in den Betriebsablauf zu integrieren. Als kurz- bis mittelfristige Übergangslösung wird empfohlen, dass mobile Endgeräte ergonomisch optimiert in den Führerraum eingebunden werden und dabei die Aktualität sowie zielgruppengerechte Anzeige von betriebsrelevanten Informationen gewährleisten. Der geltende rechtliche Rahmen ermöglicht bereits einen breit gefächerten Einsatz mobiler und allgemein digitaler Arbeits- und Hilfsmittel. Durch eine weitergreifende Detaillierung von Rechtsvorschriften bezüglich des Inhalts von Tf-Schulungen könnte die Aufsichtsbehörde Anreize für die forcierte Umsetzung digitaler Technologien schaffen.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzbeschreibung / Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Literaturrecherche zum Forschungsgegenstand</b> .....	<b>12</b>
2.1 Digitalisierungsoptionen im Verkehrswesen und Vergleich zu anderen Branchen .....	12
2.1.1 Digitalisierungsoptionen im Eisenbahnbetrieb .....	12
2.1.1.1 Generelles Anforderungsprofil an Triebfahrzeugführer .....	13
2.1.1.2 Mitzuführende Gegenstände durch den Tf.....	13
2.1.1.3 Vor- und nachbereitende Tätigkeiten des Tf.....	15
2.1.1.4 Tätigkeiten des Tf während der Fahrt eines Zuges .....	15
2.1.1.5 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen .....	16
2.1.2 Digitalisierungsoptionen im öffentlichen Straßenpersonenverkehr (ÖSPV).....	20
2.1.2.1 Tätigkeiten der Fachkraft im Fahrbetrieb (FiF).....	20
2.1.2.2 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen .....	21
2.1.3 Digitalisierungsoptionen in der See- und Binnenschifffahrt .....	22
2.1.3.1 Tätigkeiten des Kapitäns .....	23
2.1.3.2 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen .....	23
2.1.4 Digitalisierungsoptionen im Luftverkehr.....	25
2.1.4.1 Tätigkeiten des Piloten .....	26
2.1.4.2 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen .....	26
2.1.5 Digitalisierungsoptionen in weiteren Branchen.....	28
2.1.5.1 Digitalisierungsoptionen in der Energiewirtschaft.....	28
2.1.5.2 Digitalisierungsoptionen in der Telekommunikation .....	28
2.1.5.3 Digitalisierungsoptionen im Werkzeugmaschinenbau .....	29
2.2 Forschungsvorhaben mit Bezug auf die Digitalisierung von Betriebsprozessen.....	30
2.2.1 Forschung im Bereich Digitalisierung des Eisenbahnbetriebs .....	30
2.2.1.1 Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter Bahnbetrieb .....	31
2.2.1.2 Papierloser Bahnbetrieb.....	38
2.2.1.3 Energie- und kapazitätsoptimierter Bahnbetrieb.....	44
2.2.1.4 Technisch harmonisierter Bahnbetrieb.....	47
2.2.1.5 Personal- und kostenoptimierter Bahnbetrieb .....	53
2.2.2 Forschung im Bereich Digitalisierung des ÖSPV.....	60
2.2.2.1 Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter ÖSPV.....	60

---

2.2.2.2	Papierloser ÖSPV .....	61
2.2.2.3	Energie- und kapazitätsoptimierter ÖSPV .....	63
2.2.2.4	Personal- und kostenoptimierter ÖSPV .....	65
2.2.3	Forschung im Bereich Digitalisierung der See- und Binnenschifffahrt.....	67
2.2.3.1	Sicherheits- und instandhaltungsoptimierte See- und Binnenschifffahrt.....	68
2.2.3.2	Papierlose See- und Binnenschifffahrt .....	69
2.2.3.3	Energie- und kapazitätsoptimierte See- und Binnenschifffahrt.....	70
2.2.3.4	Personal- und kostenoptimierte See- und Binnenschifffahrt.....	71
2.2.4	Forschung im Bereich Digitalisierung des Luftverkehrs .....	72
2.2.4.1	Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter Luftverkehr .....	72
2.2.4.2	Lärm- und energieoptimierter Luftverkehr .....	74
2.2.4.3	Personal- und kostenoptimierter Luftverkehr .....	75
2.2.5	Forschung im Bereich Digitalisierung in weiteren Branchen .....	76
2.2.5.1	Energiewirtschaft .....	76
2.2.5.2	Telekommunikation .....	77
2.2.5.3	Werkzeugmaschinenbau .....	78
<b>3</b>	<b>Betrachtung relevanter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen .....</b>	<b>80</b>
3.1	Recherche und Beschreibung digitalisierter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen.....	80
3.1.1	Zugbeeinflussungssysteme .....	80
3.1.1.1	Punktförmige bzw. induktive Zugbeeinflussung (PZB/INDUSI).....	81
3.1.1.2	Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) .....	85
3.1.1.3	European Train Control System (ETCS) .....	86
3.1.2	GSM-R als Kommunikationsmittel .....	89
3.1.3	Sensor- und Diagnosetechnik.....	89
3.1.4	Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen (EBuLa) .....	90
3.1.5	Fahrerassistenzsystem LEADER.....	92
3.1.6	Tablet-Anzeige am Beispiel Rail in Motion (RiM).....	93
3.1.7	Tablet-Anzeige am Beispiel des IVU.pad.....	95
3.2	Identifizierung und Beurteilung sicherheitsrelevanter Auswirkungen von digitalisierten Betriebsprozessen im Eisenbahnwesen.....	97
3.2.1	Gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken .....	98
3.2.2	Risikomanagementverfahren zur Beurteilung sicherheitsrelevanter Auswirkungen neuer Systeme im Eisenbahnwesen.....	99
3.2.2.1	Schritt 1: Systemdefinition .....	100
3.2.2.2	Schritt 2: Gefährdungsermittlung und -einstufung.....	100

---

3.2.2.3	Schritt 3: Risikoabschätzung.....	100
3.2.2.4	Schritt 4: Risikoevaluierung.....	101
3.2.2.5	Schritt 5: Sicherheitsanforderungen .....	101
3.2.2.6	Schritt 6: Überwachung der Sicherheitsleistungen im Betrieb .....	101
3.2.3	Risikomanagementverfahren am Beispiel der Tablet-Nutzung .....	101
3.2.3.1	Signifikanzprüfung gem. VO (EU) 402/2013.....	102
3.2.3.2	Ermittlung von Gefährdungen gemäß VO (EU) Nr. 402/2013.....	104
<b>4</b>	<b>Betrachtung der Auswirkungen auf die Betriebsbeamten .....</b>	<b>108</b>
4.1	Analyse der Veränderungen des Berufsbildes des Triebfahrzeugführers (Tf) aufgrund der Digitalisierung .....	108
4.1.1	Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse sowie Gestaltungsempfehlungen für die betriebliche Praxis.....	109
4.1.1.1	Entgrenzung von Privat- und Berufsleben.....	109
4.1.1.2	Tragen einer richtigzeigenden Uhr .....	110
4.1.1.3	Ablenkungspotential durch mobile Endgeräte.....	110
4.1.1.4	Änderungen der Betriebsprozesse .....	111
4.1.2	Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern.....	111
4.1.2.1	Ist-Zustand der Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern.....	111
4.1.2.2	Zukünftige Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern.....	112
4.1.3	Auswirkungen der Automatisierung auf das Berufsbild des Triebfahrzeugführers.....	115
4.2	Analyse möglicher Auswirkungen für Tf bei der Nutzung digitaler Arbeitsmittel .....	117
4.2.1	Grundlagen zum Faktor Mensch .....	117
4.2.1.1	Visuelle Wahrnehmung .....	117
4.2.1.2	Visuelle Aufmerksamkeit.....	118
4.2.1.3	Anthropometrische und räumliche Gestaltung.....	118
4.2.2	Systematische Literaturrecherche .....	119
4.2.2.1	Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen .....	119
4.2.2.2	Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung.....	121
4.2.2.3	Haptische Rückmeldungen von digitalen Arbeitsmitteln.....	123
4.2.2.4	Eingabe und Bedienung von digitalen Arbeitsmitteln.....	125
4.2.2.5	Implementierung von digitalen Arbeitsmitteln.....	126
4.2.2.6	Nutzung von digitalen Arbeitsmitteln .....	127
4.2.3	Befragung von Stakeholdern digitalisierter Arbeitsmittel von Triebfahrzeugführern .....	128
4.2.4	Integration neuer Technologien und Ableitung möglicher Veränderungen für den Triebfahrzeugführer der Zukunft .....	130

---

4.2.4.1	Integration neuer Technologien am Beispiel von Head-up-Displays .....	130
4.2.4.2	Veränderung der berufsbezogenen Qualifikationen.....	131
4.3	Erfassen von Vor- und Nachteilen bei der Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel .....	132
4.3.1	Generelle Vor- und Nachteile von Führerraumanzeigen .....	133
4.3.2	Vor- und Nachteile von elektronischen Fahrplananzeigen .....	135
4.3.3	Vor- und Nachteile der Maschinentechnischen Displays.....	135
4.3.4	Vor- und Nachteile von externen Fahrerassistenzsystemen.....	135
4.3.5	Vor- und Nachteile von mobilen Endgeräten.....	136
<b>5</b>	<b>Bewertung rechtlicher Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse .....</b>	<b>139</b>
5.1	Regelungen zur Qualifizierung von Triebfahrzeugführern.....	139
5.1.1	Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) .....	139
5.1.2	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) .....	140
5.1.3	Triebfahrzeugführerscheinverordnung (TfV) .....	143
5.1.4	Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ (VO (EU) 2015/995).....	145
5.1.5	VDV-Betriebsregelwerk (BRW) für EVU.....	146
5.1.6	Bahnbetriebliche Regelwerke DB-Ril 408 „Fahrdienstvorschrift“ und DB-Ril 418 „Triebfahrzeugführerheft“ (Tf-Heft) der DB AG .....	148
5.1.7	Richtlinien für das Bedienen von Triebfahrzeugen .....	149
5.2	Regelungen zur Gewährleistung von Datenschutz und Datensicherheit.....	150
5.2.1	Beschäftigtendatenschutz im Rahmen digitalisierter Betriebsprozesse.....	150
5.2.2	Datensicherheit im Rahmen digitalisierter Betriebsprozesse .....	151
5.3	Regelungen zur Haftung.....	153
<b>6</b>	<b>Zusammenführung der Ergebnisse.....</b>	<b>155</b>
<b>7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>161</b>
<b>8</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>162</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>164</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>168</b>
<b>11</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>170</b>
<b>12</b>	<b>Anhänge.....</b>	<b>190</b>
12.1	Mitzuführende Vordrucke im Tfz.....	190
12.2	Verzeichnis der Forschungs- und Entwicklungsprojekte.....	191
12.2.1	Bereich Digitalisierung des Eisenbahnbetriebs .....	191
12.2.2	Bereich Digitalisierung des ÖSPV .....	201
12.2.3	Bereich Digitalisierung der See- und Binnenschifffahrt .....	204

---

12.2.4	Bereich Digitalisierung des Luftverkehrs.....	207
12.2.5	Bereich Energiewirtschaft .....	209
12.2.6	Bereich Telekommunikation .....	211
12.2.7	Bereich Werkzeugmaschinenbau .....	213
12.3	Detailanalyse ausgewählter Rechtsakte hinsichtlich digitaler Arbeits- und Hilfsmittel.....	214

# 1 Einleitung

Das Thema Digitalisierung von Arbeits- und Produktionsprozessen beschäftigt derzeit branchenübergreifend Akteure aus der Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Mit dem Begriff „Industrie 4.0“ wird in Deutschland die Zielvorstellung intelligenter, digital vernetzter Produktions- und Logistiksysteme zum Ausdruck gebracht. Die intelligente Vernetzung erfolgt dabei über Maschinen, Geräte, Sensoren sowie mittels vielfältiger Kommunikations- und Assistenzsysteme für die vereinfachte Interaktion zwischen Mensch und Technik. Dabei stehen eine Informationsübertragung in Echtzeit sowie eine automatisierte Bearbeitung im Fokus. Neue technische Möglichkeiten fügen sich in gesteigerte Effizienz- und Qualitätsbestrebungen der Unternehmen ein, mit dem Ziel, sich von der steigenden Zahl an Konkurrenzprodukten abzugrenzen.

Während erste Forschungsprojekte im Rahmen von Industrie 4.0 zunächst auf bereits stark automatisierte Industrien, v. a. den Fahrzeugbau und die Intralogistik, abzielten, beschäftigen sich mittlerweile weitere Branchen verstärkt mit dem Thema Digitalisierung. Das gilt auch für das System Eisenbahn, dessen Entscheidungsträger in letzter Zeit für eine verstärkte Digitalisierung werben und entsprechende Zukunftsprogramme erstellen und bereits umsetzen.

Das System Eisenbahn gilt vergleichsweise als gut automatisierbar. Durch die systembedingte Spurführung, ferngestellte Fahrwege und das Fahren im Raum- oder Bremswegabstand bei Vollbahnen stellen Eisenbahntriebfahrzeuge (Tfz) wesentlich weniger Hürden an die Entwicklung des automatisierten, vernetzten Fahrens als Fahrzeuge des Straßenverkehrs. Die vom Triebfahrzeugführer (Tf) räumlich getrennte Fahrwegüberwachung und -steuerung findet seit Jahrzehnten dezentralisiert in rechnergestützten Betriebsleitzentralen und Elektronischen Stellwerken (EStW) mit ständigem Kontakt zum Fahr- und Betriebspersonal statt. Zum Teil können mehrere Tausend Kilometer Streckennetz auf diese Art fernüberwacht werden.

Auf der anderen Seite kommt beim System Eisenbahn im Fahrbetrieb weiterhin Personal zum Einsatz. Mit Ausnahme weniger U-Bahn-Systeme und Rangierlokomotiven erfolgt die Steuerung und Überwachung von Tfz durch einen Tf, dessen Bedienhandlungen lediglich im Rahmen technischer und betrieblicher Grenzwerte durch ortsfeste und fahrzeuginterne Sicherheitssysteme überwacht werden. Bedienhandlungen des Tf leiten sich dabei nicht nur aus Fahrplänen ab; vielmehr ist im Fall außerplanmäßiger Ereignisse oder bei Rückfallebenen stets ein rasches Eingreifen des Tf notwendig. Zudem erfordert die Zugbildung, die Prüfung technischer Funktionen von Zügen sowie der Betrieb von Personenzügen Rangier-, Service- und Begleitpersonal.

Anhand der beschriebenen Eigenschaften des Systems Eisenbahn lässt sich schlussfolgern, dass die Steuerung und Überwachung des Fahrwegs bereits in hohem Maße den Zielvorstellungen der Digitalisierung entspricht, während der Betriebsdienst auf Schienenfahrzeugen noch in größerem Ausmaß von erfahrungsbasierten, teilweise erst nach fernmündlicher Kommunikation getroffenen Einzelentscheidungen des Tf und anderer Akteure abhängt. In logischer Konsequenz zielt das vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) ausgeschriebene Forschungsvorhaben „Auswirkungen der Digitalisierung im Eisenbahnbetrieb“ darauf ab, zu untersuchen, in welchem Ausmaß Tätigkeiten des Tf und anderer Bahnbediensteter mithilfe digitaler Arbeits- und Hilfsmittel unterstützt werden können und welche potenziellen Folgewirkungen sich hieraus aus Sicht der Arbeitswissenschaft ergeben. Eine Fragestellung lautet, wie die derzeitigen und zukünftigen Mensch-Maschine-Interaktionen ergonomisch und arbeitsorganisatorisch optimiert werden können. Daneben erfolgt eine Prüfung des rechtlichen Rahmens hinsichtlich möglicher Auswirkungen durch digitale Betriebsprozesse sowie eine Thematisierung einzelner Aspekte des Datenschutzes, der Datensicherheit und Haftung.

## 2 Literaturrecherche zum Forschungsgegenstand

Ziel des Kapitels ist die Aufbereitung des aktuellen Sachstands zum Thema Digitalisierung von Arbeitsprozessen des Verkehrsbetriebspersonals mit dem Fokus auf den Verkehrsbranchen Eisenbahnbetrieb, öffentlicher Straßenpersonenverkehr (ÖSPV), See- und Binnenschifffahrt sowie Luftverkehr. Nach Absprache mit dem Auftraggeber werden ergänzend die Branchen Energiewirtschaft, Telekommunikation und Werkzeugmaschinenbau betrachtet, da hier bereits in einem größeren Umfang digitale Arbeitsprozesse ermöglicht wurden und von einer Vorbildfunktion ausgegangen werden kann.

Zunächst werden Digitalisierungsoptionen einzelner Arbeitsprozesse, die angesichts der verfügbaren Technologie als realisierbar gelten, je Branche gesammelt und thematisch sortiert, wobei der Fokus auf den Verkehrssektoren Eisenbahnwesen, dem öffentlichen Straßenpersonenverkehr (ÖSPV), der See- und Binnenschifffahrt und auf dem Luftverkehr liegen wird (Abschnitt 2.1). In einem zweiten Schritt werden aktuelle deutsche und europäische Forschungsvorhaben zum Thema recherchiert (Abschnitt 2.2). Es folgt eine strukturierte Darstellung der Forschungsvorhaben für alle betrachteten Branchen in Form einer Übersichtstabelle (Anhang Abschnitt 12.2).

### 2.1 Digitalisierungsoptionen im Verkehrswesen und Vergleich zu anderen Branchen

Digitalisierte Betriebsprozesse bieten im Verkehrswesen wie auch in anderen Branchen zunächst ökonomische Vorteile, etwa durch den Wegfall von meist zeit- und kostenintensiven manuellen Prüftätigkeiten oder papiergestützten Kommunikationsverfahren. Auch wenn der „digitale Mehrwert“ in einer ersten Betrachtungsweise zumeist monetär bewertet wird, ergeben sich weitere bedeutsame Verbesserungen, z. B. in Form von Sicherheits- und Komfortgewinnen oder ökologischen Vorteilen. Das Verkehrswesen zeichnet sich im Vergleich zu anderen Branchen durch eine vergleichsweise geringe Wertschöpfung angebotener Dienstleistungen und eine somit relativ geringe Investitionsbereitschaft aus. Demgegenüber steht eine große Bandbreite an digitalen Möglichkeiten und Optimierungspotenzialen. Zwar bieten öffentlich geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekte insbesondere auf europäischer Ebene eine Plattform, um innovative digitale Anwendungen zu entwickeln und prototypisch anzuwenden, einige digitale Möglichkeiten verbleiben jedoch ungenutzt.

Vor dem beschriebenen Hintergrund werden in nachfolgenden Abschnitten die Optionen der Digitalisierung in den verschiedenen Verkehrsbranchen Eisenbahnbetrieb, ÖSPV, See- und Binnenschifffahrt sowie Luftverkehr nach Themengebieten kategorisiert. Ergänzend werden zudem weitere Branchen (Energiewirtschaft, Telekommunikation und Werkzeugmaschinenbau) betrachtet.

#### 2.1.1 Digitalisierungsoptionen im Eisenbahnbetrieb

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber sind Digitalisierungsoptionen des Eisenbahnbetriebs mit dem Fokus auf Arbeits- und Hilfsmittel des Tf zu untersuchen. Hierfür ist eine detaillierte Kenntnis des beruflichen Anforderungsprofils, mitzuführender Gegenstände und Dokumente und der Tätigkeiten des Tf erforderlich. Die Ausführungen nachfolgender Abschnitte stützen sich dabei insbesondere auf betriebliche Regelwerke der Deutschen Bahn AG. Aufgrund der inhaltlichen Breite des Forschungsprojekts kön-

nen die vielfältigen Tätigkeiten des Tf nur überblicksartig aufbereitet werden. Einen detaillierteren Einblick bieten u. a. das Triebfahrzeugführer-Heft (Tf-Heft) der Deutschen Bahn AG (Ril 418.10-90; [1]) und das Betriebsregelwerk für Eisenbahnverkehrsunternehmen des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV-Betriebsregelwerk EVU (BRW) [2]).

#### 2.1.1.1 Generelles Anforderungsprofil an Triebfahrzeugführer

Die Aufgaben des Tf lassen sich arbeitsorganisatorisch in Teilarbeiten zur Vor- und Nachbereitung von Zugfahrten untergliedern sowie in Teilarbeiten, die während der Fahrt eines Zuges auszuführen sind. Aufgrund der spurgeführten Fortbewegung des Zuges entfallen auf den Tf neben dem Einleiten von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen vor allem überwachende Nebentätigkeiten. Die im Tfz verbauten Bedienelemente und Informationsanzeigen sowie zur Streckeninfrastruktur gehörende Signale und der Fahrweg sind vom Tf ständig zu überwachen, um die Betriebssicherheit und Einsatzfähigkeit des Tfz zu gewährleisten. Dabei sind in größerem Umfang Regelwerke, Aufträge (Befehle) und Weisungen zu beachten.

Konkrete Arbeitsaufträge erhalten Tf von ihrer Einsatzstelle, zudem sind Anordnungen der Mitarbeiter von Dispositionsstellen zu befolgen. Oberste Priorität bei der Tf-Tätigkeit hat die sichere Durchführung des Bahnbetriebs, an zweiter Stelle steht die Pünktlichkeit. Darüber hinaus müssen Tf alle Arbeiten wirtschaftlich ausführen. Dementsprechend zielen Regelungen im Tf-Heft der Deutschen Bahn AG auf den sicheren, pünktlichen und wirtschaftlichen Bahnbetrieb ab (Ril 418.2112 [1]).

#### 2.1.1.2 Mitzuführende Gegenstände durch den Tf

Die in Tabelle 1 aufgeführten Gegenstände sind laut Tf-Heft der Deutschen Bahn AG vom Tf während der Arbeit mitzuführen bzw. im Tfz ständig vorzuhalten und dienen als Arbeits- und Hilfsmittel sowie als informative Dokumente und gesetzlich vorgeschriebene Nachweis-papiere.

Der Besitz eines Eisenbahnfahrzeug-Führerscheins genügt nicht als Berechtigung für das Führen von Fahrzeugen, vielmehr müssen Tf die Berechtigung für die sichere Bedienung von Fahrzeugbaureihen (BR) erwerben. Erworbene Berechtigungen werden von der Einsatzstelle des Tf in eine persönliche Fahrzeugkenntniskarte sowie in das Beiblatt zum Eisenbahnfahrzeug-Führerschein aufgenommen. Erfolgt kein selbstständiger Wiedereinsatz des Tf auf einer BR innerhalb von 18 Monaten, erfolgt in der Regel eine erneute Unterweisung im Bedienen dieser BR (Ril 418.2112 [1]).

Tf müssen grundsätzlich für zu befahrende Strecken Streckenkenntnis besitzen, die u. a. durch Mitfahrten bei anderen Tf oder das Fahren in Begleitung einer streckenkundigen Person sowie Einsichtnahme in streckenspezifische betriebliche Unterlagen als Ergänzung zu Signalen und Fahrplanunterlagen zu erwerben ist. Der Erwerb von Streckenkenntnis befähigt Tf, Strecken eigenverantwortlich, sicher und fahrplanmäßig zu befahren. Erworbene Kenntnisse werden als Schriftdokument in der Einsatzstelle des Tf dokumentiert und in Form einer Streckenkenntniskarte vom Tf mitgeführt (Ril 418.2112A01 [1]).

Ein besonderes Augenmerk ist auf die Vielzahl der im Tfz mitzuführenden Vordrucke zu legen, wobei sich in Abhängigkeit davon, ob es sich um den Güterzug-, Reisezug- bzw. Personennah- oder Fernverkehr handelt, unterschiedliche Erfordernisse ergeben. Bei der Deutschen Bahn beschäftigte Tf haben die im Anhang (Tabelle 17) aufgelisteten Vordrucke mitzuführen (Ril 418.2112A02 [3], Stand 2010). Im Gegensatz zum Stand 2010 wird aktuell (Ril 418.2112A02 [1], Stand 2017) bei mitzuführenden Dokumenten nur noch zwischen den Unternehmen DB Fernverkehr AG und DB Regio AG differenziert. Private EVU sind in jedem Fall verpflichtet, Vordrucke für Befehle, Bremszettel und Fahrplan-Mitteilungen auf dem Tfz mitzuführen.

TABELLE 1: ARBEITS- UND HILFSMITTEL SOWIE DOKUMENTE UND NACHWEISE DES TF (EIGENE DARSTELLUNG NACH RIL 418.2112 [1])

Arbeits-/Hilfsmittel im Regelbetrieb	Dokumente und Nachweise
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dienstliches Mobiltelefon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eisenbahnfahrzeug-Führerschein mit zugehörigem Beiblatt</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dienstliches Tablet (gilt für Tf, die mit Tablets ausgerüstet sind)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nachweiskarte der Streckenkenntnis</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Richtig zeigende Uhr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diverse Ausweise (Personal-, Sozialversicherungs-, Konzernausweis)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gültige Druck-Ausgabe der „La“ für die zu befahrenden Strecken (gilt nicht für Tf, denen die La über ein Tablet zur Verfügung gestellt wird)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Regelwerke, Weisungen, Informationen u. Ä. im Zusammenhang mit der Tf-Tätigkeit (z. B. Ril 408.01-09, Ril 424, Ril 936.1200)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vierkantschlüssel und ggf. Steuerwagen-/Kreuzbartschlüssel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gültige Fahrplanunterlagen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rot abblendbare Handlampe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Frachtpapiere im Güterverkehr</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Warnweste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vordrucke</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schutzhandschuhe, ggf. Schutzhelm/ Anstoßkappe</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Berufsschuhe</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sonnenschutzbrille und Feuchtreinigungstücher</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbandskasten</li> </ul>	

Die Verwendung des Vordrucks „Befehl“ besitzt dabei größte Sicherheitsrelevanz, da er Tf berechtigt, Halt zeigende Signale zu überfahren (Befehle 1-3) oder außerplanmäßig auf Gegengleisen zu verkehren (Befehle 4-7), Tf verpflichtet, vor Bahnübergängen zu halten (Befehl 8), ggf. ein Fahren auf Sicht anordnet (Befehle 9-10) oder weitere Anweisungen enthält. Befehle werden in der Regel vom Fahrdienstleiter (Fdl) diktiert und müssen vom Tf nach Diktierende im Wortlaut wiederholt werden (Ril 418.5101 [1]).

Weiterhin von großer Sicherheitsrelevanz ist der Vordruck „Fahrplanmitteilung“. Mithilfe des Vordrucks sind durch den Tf alternative Zuglaufwege sowie Ankunfts- und Abfahrtszeiten, einzuhaltende Geschwindigkeiten und weitere Anweisungen zu quittieren. Die Informationsübermittlung erfolgt bei kurzfristigen Anweisungen in der Regel fernmündlich durch den Fdl. Der Zug ist dabei anzuhalten. Vor der planmäßigen Abfahrt bekannte Fahrplanmitteilungen werden dem Tf als Kopie ausgehändigt (Ril 418.5102 [1]). Der Einsatzzweck weiterer Papiervordrucke ist dem Tf-Heft der Deutschen Bahn AG zu entnehmen.

### 2.1.1.3 Vor- und nachbereitende Tätigkeiten des Tf

Gemäß [1] (Ril 418.2111) ist bei der Beschreibung von Tätigkeiten des Tf zur Vor- und Nachbereitung von Zug- und Rangierfahrten in Teilarbeiten persönlicher, technischer und betrieblicher Art zu unterscheiden.

Teilarbeiten persönlicher Art beinhalten arbeitsorganisatorische Tätigkeiten, die vom Tf v. a. bei Schichtbeginn und nach Schichtende ausgeführt werden müssen. Teilarbeiten technischer Art umfassen alle Arbeiten, die für die sichere Inbetriebnahme, Durchführung von Rangier- und Zugfahrten sowie die Abstellung von Fahrzeugen notwendig sind. Teilarbeiten betrieblicher Art ergeben sich in erster Linie unmittelbar vor der Abfahrt eines Zuges bzw. nach dem Ende einer Zugfahrt und überschneiden sich dabei teilweise mit technischen Teilarbeiten. Für eine exemplarische Auflistung von Teilarbeiten persönlicher, technischer und betrieblicher Art, vergleiche Abbildung 1.

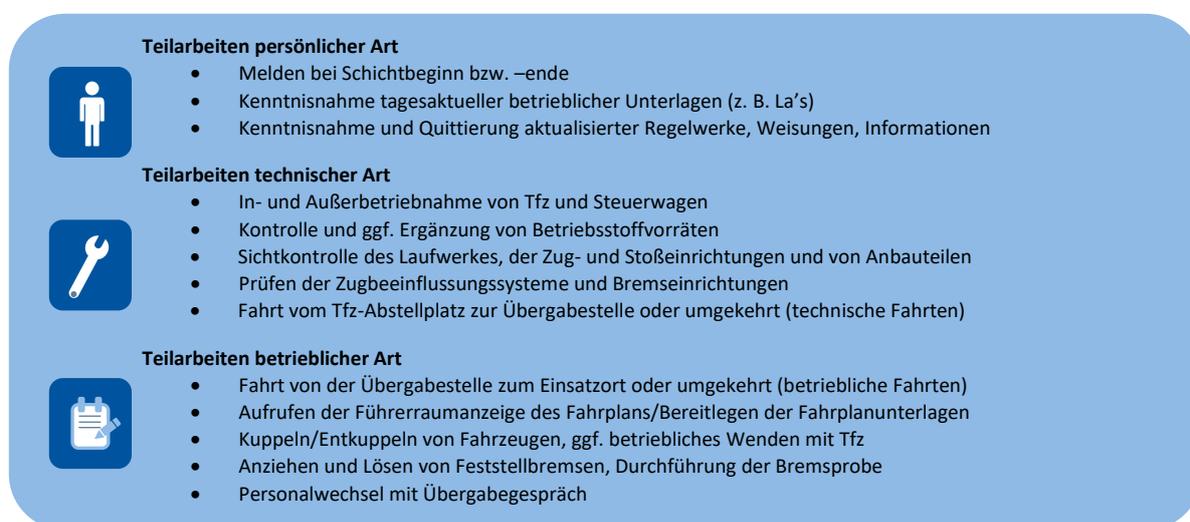


Abbildung 1: Tätigkeiten des Tf zur Vor- und Nachbereitung von Zug- und Rangierfahrten (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

### 2.1.1.4 Tätigkeiten des Tf während der Fahrt eines Zuges

Die Fahrt eines Zuges beginnt nach dem Abschluss der Zugvorbereitung auf einem Zuganfangsbahnhof oder auf Unterwegsbahnhöfen, die eine Änderung der Zugzusammenstellung oder Fahrtrichtungsänderung des Zuges zur Folge haben. Zu erledigende Arbeiten des Tf sind dann u. a. die Streckenbeobachtung, die Beachtung von Signalen, die Einhaltung von zulässigen Geschwindigkeiten bzw. des Fahrplans, die korrekte Bedienung von Bremsen sowie des Sicherheitsfahr Schalters, der Zugbeeinflussung sowie typischer Bauteile elektrischer wie dieselbetriebener Tfiz (vgl. z. B. Ril 418.3312 [1]).

Im Personenverkehr ergeben sich in Ergänzung zum Güterverkehr weitere Aufgaben. Züge sind bei einem Fahrplanhalt am gewöhnlichen Halteplatz im Bahnhof anzuhalten, Türen sind freizugeben und wieder zu schließen, ggf. müssen Trittstufen ausgefahren werden und es ist der Kontakt zum Zugbegleiter herzustellen. Für eine exemplarische Auflistung von Teilarbeiten des Tf während einer Zugfahrt, vergleiche Abbildung 2.

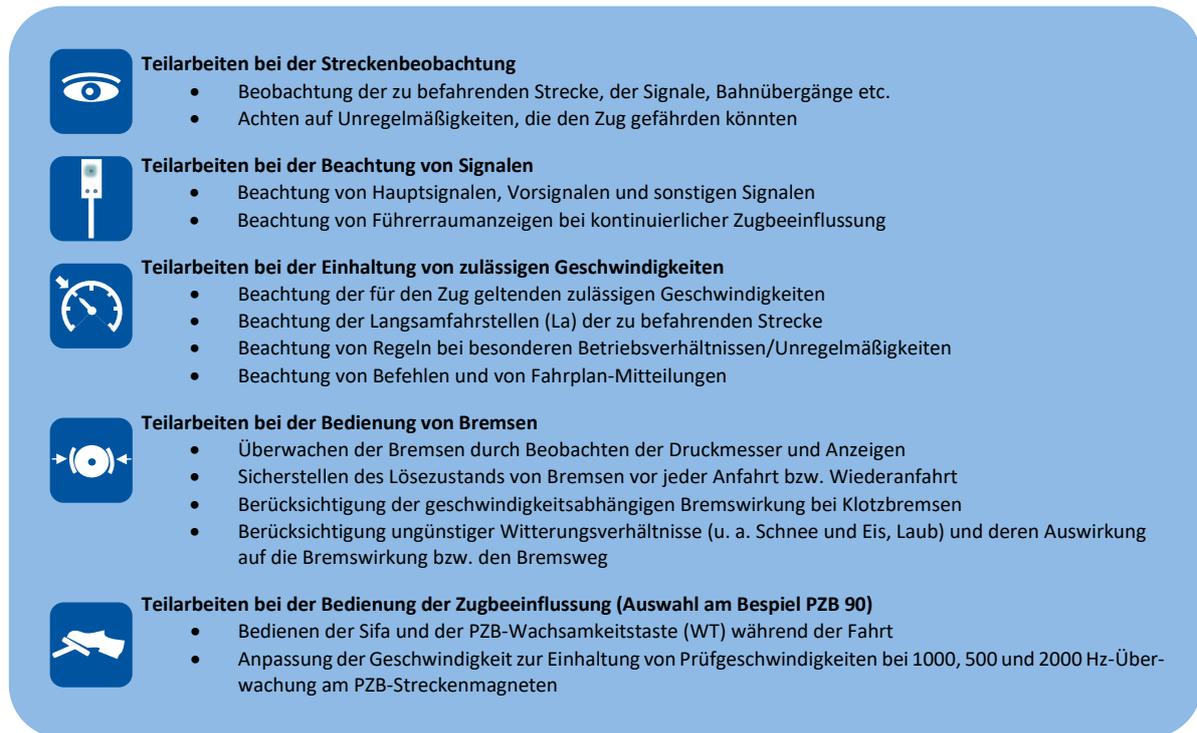


Abbildung 2: Tätigkeiten des Tf bei der Durchführung von Zugfahrten  
(eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

### 2.1.1.5 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen

Bei einer vollständigen Betrachtung unterschiedlicher Tätigkeiten bzw. Teilarbeiten des Tf und dabei verwendeter Arbeits- und Hilfsmittel lassen sich vielfältige Digitalisierungsoptionen ableiten. Digitalisierung muss im Eisenbahnumfeld als ein Prozess verstanden werden, der auf die Einführung neuartiger sowie optimierter technischer Arbeits- und Hilfsmittel abzielt. Solche Hilfsmittel sammeln durch Sensorik und via Kommunikationsnetzwerke statische wie prozessuale Informationen, die sich auf den Tf arbeits erleichternd und letztendlich für den gesamten Zugbetrieb effizienzsteigernd auswirken. Erzielte Effizienzsteigerungen werden durch den zeit- und kostenoptimierten Einsatz von Personal und Betriebsmitteln sowie durch eine Steigerung der Sicherheit und Qualität von Transportdienstleistungen messbar.

In einer näheren Betrachtungsweise wurden von den Projektarbeitern Digitalisierungsoptionen mit dem Fokus auf die Arbeitsprozesse des Tf gesammelt und in fünf Themenbereiche klassifiziert (Abbildung 3). Die Klassifizierung erfolgte in Absprache mit dem EBA. Die Digitalisierungsoptionen werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.



Abbildung 3: Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen im Eisenbahnbetrieb mit dem Fokus auf Tätigkeiten des Tf (eigene Darstellung)

### Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter Bahnbetrieb

Die sichere Durchführung von Zugfahrten hat für den Tf oberste Priorität, sodass zahlreiche Bedienhandlungen und der Einsatz materieller Ressourcen dem Grundsatz des sicheren Bahnbetriebs folgen. Eine Reihe von Teilarbeiten des Tf dienen bereits bei der Vor- und Nachbereitung von Zug- und Rangierfahrten dazu, einen sicheren Betriebszustand des Tfz und des Zugverbands zu gewährleisten. Auch während der Fahrt eines Zuges ergibt sich die Notwendigkeit der kontinuierlichen Überprüfung des Tfz sowie des Zugverbandes. Infolge der Interaktion von Tfz und Eisenbahnstrecke muss vom Tf zudem durch permanente Streckenbeobachtung der sichere Betriebszustand der Strecke geprüft werden.

Sowohl technische wie betriebliche Teilarbeiten vor der Durchführung von Zugfahrten eignen sich vielfach als Digitalisierungsoptionen. Zwar werden Tfz, Waggons und einzelne Streckenabschnitte in wachsendem Umfang mit Sensor- und Diagnosetechnik ausgestattet, diese wirkt vielfach aber lediglich unterstützend und ersetzt die im Betriebsregelwerk des EVU vorgeschriebenen Prüftätigkeiten eines Tf nicht. Die Beobachtung der zu befahrenden Strecke und die Meldung von Unregelmäßigkeiten obliegt nach wie vor vollständig dem Tf. Hier bietet sich eine automatisierte Streckenzustandsmeldung mittels digitaler Sensortechnik an, die aufgrund objektiver Bewertungsmaßstäbe im Vergleich zu individuellen Einschätzungen des Tf einen wesentlichen Sicherheitsgewinn bedeuten würde.

Während der Fahrt eines Zuges fallen zahlreiche Teilarbeiten des Tf im Bereich der Beachtung streckenseitiger Signale und signalisierter Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie bei der Bedienung von punktförmig wirkenden Zugbeeinflussungssystemen an. Hintergrund ist die nicht kontinuierliche (d. h. zu jedem Fahrtzeitpunkt gewährleistete) Überwachung der Position und Fahrgeschwindigkeit eines Zuges, wie sie z. B. durch die Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) in Deutschland oder das European Train Control System (ETCS) im Modus Full Supervision (FS) ermöglicht wird. Bei einem punktförmigen Zugbeeinflussungssystem, z. B. PZB in Deutschland, findet in der Regel keine Führerraumsignalisierung mit einer Darstellung der momentan gültigen Höchstgeschwindigkeit und der Höchstgeschwindigkeit am bzw. der Entfernung bis zum nächsten Geschwindigkeitswechsel statt. Vom Tf sind daher zwingend ortsfeste

Signale sowie im Elektronischen Buchfahrplan (EBuLa) hinterlegte Änderungen der zulässigen Geschwindigkeit zu beachten. Aufgrund des Vorhandenseins streckenspezifischer Besonderheiten, etwa verkürzter Signalabstände und -bremswege oder im EBUA-System nicht registrierter Geschwindigkeitsrestriktionen, die bei Unkenntnis zu einem sicherheitsrelevanten Fehlverhalten des Tf führen könnten, ist der Besitz von Streckenkenntnis über die zu befahrende Strecke unbedingt erforderlich. Die Umsetzung einer kontinuierlichen Überwachung des Zugbetriebs und der permanenten Anzeige von zulässigen Geschwindigkeiten im Führerraum stellt daher ebenfalls eine Digitalisierungsoption dar, von der ein Sicherheitsgewinn ausgeht.

### Papierloser Bahnbetrieb

Die Tf-Tätigkeit beinhaltet die Kenntnis und Beachtung zahlreicher Regelwerke, Aufträge und Weisungen sowie Anordnungen von Mitarbeitern der Disposition, die vielfach eine sicherheitsrelevante Wirkung entfalten (vgl. Auflistung mitzuführender Dokumente des Tf im Anhang, Tabelle 17). Tf sind Mitarbeiter im Außendienst mit einer vergleichsweise hohen Sicherheitsverantwortung gegenüber Personen und der Umwelt. Im Regelbetrieb, insbesondere aber im Fall unterschiedlicher Störungen des Fahrbetriebs, ist ein sicherer Betriebszustand jederzeit zu gewährleisten, der häufig aktive Handlungen des Tf erfordert. Zu beachtende Regelungen, Weisungen und Informationen im Zusammenhang mit der Tf-Tätigkeit müssen am Arbeitsplatz jederzeit einsehbar sein. Die Ergreifung von Maßnahmen im Störfall, etwa die Vorbeifahrt an einem gestörten haltzeigenden Signal, erfordern bislang eine schriftliche festzuhaltende Anweisung (Befehl), die auf den vom Tf mitzuführenden Vordrucken festzuhalten ist. Weitere sicherheitsrelevante Schriftdokumente sind z. B. Wagenlisten und Bremszettel sowie Fahrplan-Mitteilungen. Eine Abkehr von der relativ aufwendigen Verteilung und dezentralen Vorhaltung verschiedener sicherheitsrelevanter Papierdokumente durch digitale Anzeige- und Eingabegeräte, z. B. Tablets und Smartphones, stellt eine Digitalisierungsoption im Tzf-Führerraum dar.

Darüber hinaus werden bei der Personaleinsatzplanung, Mitarbeiterkommunikation sowie der Vor- und Nachbereitung von Zugfahrten unterschiedliche Schriftdokumente verwendet, deren Informationen nicht immer sicherheitsrelevant, häufig jedoch betriebsnotwendig und arbeitsorganisatorisch sinnvoll sind. Die Anwesenheitskontrolle vor Schichtbeginn erfolgt teilweise noch heute in Form einer persönlichen Anmeldung in der Betriebszentrale, die gleichzeitig zur Verteilung von betrieblichen Unterlagen dient. In ähnlicher Weise finden bei Schichtende ein dokumentenbasierter Austausch, z. B. von Stör- oder Mängelprotokollen, statt. Sämtliche genannten Vorgänge des Dokumentenaustauschs bieten Möglichkeiten zur Digitalisierung.

### Energie- und kapazitätsoptimierter Bahnbetrieb

Zwar steht der sichere Bahnbetrieb für Tf an oberster Stelle, doch sind Pünktlichkeit und Wirtschaftlichkeit weitere Prioritäten der Tf-Tätigkeit. Das in Deutschland marktübliche digitale Assistenzsystem EBUA unterstützt den Tf bei der Einhaltung des Fahrplans und hat vormals gedruckte Buchfahrpläne ersetzt. Die alleinige Beachtung des Fahrplans genügt jedoch nicht den Ansprüchen eines möglichst energie- und verschleißarmen Fahrens, zumal bei der Traktion von Güterzügen fahrplanmäßige Zwischenhalte weitgehend entfallen und somit die Grundvoraussetzungen für einen Zugbetrieb mit optimalen Geschwindigkeiten und Bremsverzögerungen gegeben sind.

Eine Optimierung der Geschwindigkeiten und Bremskurven im Vorfeld von fahrplanmäßigen und außerplanmäßigen Halten bzw. Geschwindigkeitsherabsetzungen mithilfe digitaler Fahrerassistenzsysteme senkt nicht nur den Energieverbrauch und den Verschleiß am Tzf, sondern könnte auch die Leistungsfähigkeit von Strecken positiv beeinflussen. Eine frühzeitige Fahrempfehlung kann etwa einen vollständigen Halt eines Güterzugs und ein zeitaufwendiges Wiederanfahren verhindern.

## Technisch harmonisierter Bahnbetrieb

Die voranschreitende Digitalisierung hat bereits bei Tfz baureihenübergreifend dazu geführt, dass Tfz-Führerräume standardisiert wurden. Ein Standardführerraum wirkt sich nicht nur kostensparend bei der Tfz-Beschaffung aus, sondern reduziert auch den Tf-Schulungsaufwand. Die Harmonisierung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) im Tfz ist hingegen noch Gegenstand von Bemühungen der Fahrzeugindustrie. Beispielsweise werden in Deutschland die nationalen Klasse B-Systeme PZB-90 sowie LZB verbaut – letzteres zumeist dann, wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit des Tfz 160 km/h überschreitet. Zukünftig ist geplant, Klasse B-Systeme flächendeckend durch das europäische Klasse A-Zugbeeinflussungssystem ETCS zu ersetzen. Bislang sind vom Tf je nach Einsatzort des Tfz unterschiedliche Anzeigen zu beachten. Eine wichtige Digitalisierungsoption ist daher die Bündelung von Informationen der LST über eine technisch harmonisierte Führerraumanzeige. Die digitale Sprachkommunikation mittels Global System for Mobile Communications – Railway (GSM-R) mit einheitlichem Bediendisplay konnte sich gegenüber dem analogen Sprechfunk bereits durchsetzen.

## Personal- und kostenoptimierter Bahnbetrieb

Bisher vorgestellte Digitalisierungsoptionen im Rahmen der Tf-Tätigkeit bieten nur ein geringes Potenzial für Personaleinsparungen. Vielmehr liegt der Fokus auf einer Erhöhung der Sicherheit und Pünktlichkeit, auf einer Entlastung des Tf sowie auf der Ressourcenoptimierung bei Energie und Verschleiß. Erst der automatisierte Bahnbetrieb bietet das Potenzial, Betriebsbeamte durch technische Systeme abzulösen. Denkbar ist dies zunächst bei Abstellfahrten oder Rangierprozessen im Güterbahnhof, insbesondere bei der Zugzusammenstellung bzw. –trennung. Die wirtschaftliche Bedeutung des Einzelwagenverkehrs (EWW) nimmt seit Jahrzehnten u. a. aufgrund einer beinahe unverändert hohen Personal- und Kostenintensität des Produktionssystems stetig ab. Tf im Rangierdienst, Wagenmeister oder Bremsprobenbevollmächtigte sind im ungünstigen Fall nur stundenweise beschäftigt, da zwischen den Zugankünften Leerlaufzeiten entstehen. Hier könnten vollautonom verkehrende Verschub-Lokomotiven eine Digitalisierungsoption darstellen, wobei dies die Automatisierung weiterer Prozesse voraussetzt, z. B. des Kuppelns, der Bremsprobe oder der Prüfung des betriebssicheren Zustands von Wagen.

Schließlich könnte das vollautomatisierte Fahren eines Zuges den Tf auf Personen- und Güterzügen im Streckendienst ersetzen. Wenngleich der Zugbetrieb durch die derzeit vorhandene LST sowie die Spurführung bereits teilautomatisiert stattfindet, ist eine Vielzahl an Entwicklungsschritten notwendig, um sämtliche vom Tf durchgeführte Teilarbeiten digitalisiert zu übernehmen. Darunter fällt neben der Überprüfung des sicheren Zustands des Tfz vor und nach einer Zugfahrt u. a. die selbständige Bereitstellung des Tfz am Einsatzort, die Detektion von Unregelmäßigkeiten auf der zu befahrenden Strecke, die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und eines vorgegebenen Fahrplans sowie die automatische Beseitigung von Störungen bzw. die ständige Gewährleistung eines sicheren Betriebszustandes.

Die Vollautomatisierung des Fahrbetriebs auf der Strecke könnte auch die Leistungsfähigkeit von Eisenbahnstrecken erheblich steigern. Aufgrund einer maschinell erreichten „Präzisierung der Fahrweise“ [4] könnten Pufferzeiten im Fahrplan reduziert werden. Im personalgeführten Zugbetrieb berücksichtigen diese kleinere Unregelmäßigkeiten, z. B. infolge nicht optimal ausgeführter Beschleunigungs- oder Bremsvorgänge, und kompensieren Auswirkungen auf nachfolgende Züge. Die Reduzierung der Pufferzeiten würde eine erhöhte Auslastung von Eisenbahnstrecken ermöglichen und die Betriebsstabilität dabei nicht gefährden.

## 2.1.2 Digitalisierungsoptionen im öffentlichen Straßenpersonenverkehr (ÖSPV)

Im Forschungsprojekt sind neben dem Eisenbahnbetrieb weitere Branchen hinsichtlich möglicher Digitalisierungsoptionen zu betrachten. Fachkräfte im Fahrbetrieb (FiF) des öffentlichen Straßenpersonennahverkehrs (ÖSPV) sind – analog zum Tf im Schienenpersonenverkehr – für die sichere Beförderung der Fahrgäste zuständig. Im Gegensatz zu U-, Stadt- und Straßenbahnfahrern nehmen Busfahrer darüber hinaus auch beratende Funktionen gegenüber Fahrgästen ein. Neben einer gültigen Fahrerlaubnis für den jeweiligen Fahrzeugtyp müssen angehende FiF eine Grundqualifikation durch eine Prüfung bei einer Industrie- und Handelskammer erwerben. Zudem sind in regelmäßigen Abständen Weiterbildungen zu durchlaufen [5; 6].

Sollen Digitalisierungsoptionen im ÖSPV mit dem Fokus auf Arbeits- und Hilfsmittel der FiF betrachtet werden, ist analog zum Bahnbetrieb die Kenntnis über grundlegende Tätigkeiten der FiF notwendig.

### 2.1.2.1 Tätigkeiten der Fachkraft im Fahrbetrieb (FiF)

Die Hauptaufgabe von Bus- bzw. Bahnfahrern im ÖSPV besteht in der Führung des jeweiligen Fahrzeuges. Hierzu gehören verschiedene Teilarbeiten zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Bus- sowie Bahnfahrten (Abbildung 4).

**Teilarbeiten der FiF zur Vorbereitung des Fahrdienstes (Auswahl)**

- Überprüfung des verkehrssicheren Zustands des Fahrzeuges
- Einstecken von Tachoscheiben bzw. Fahrerkarten in den Fahrtenschreiber
- Einstellen von Anzeigen zur Fahrgastinformation

**Teilarbeiten der FiF im Fahrdienst (Auswahl)**

- Einhaltung von Fahrplänen
- Verkehrs- und betriebssichere Führung des Fahrzeuges auf einem Linienweg
- Beobachtung des Fahrweges und der Bordinstrumente sowie von Signalen (Bahn)
- Bedienung des Sprechfunks, Funkkontakt zu der zuständigen Leitstelle
- Prüfung von Fahrausweisen und Kassieren des Fahrgeldes (Bus)
- Information der Fahrgäste über Fahrkarten/-ausweise, Tarife, Fahrtstrecken (Bus)
- Gewährleistung der Sicherheit und Ordnung im Fahrgastraum
- Einhaltung gesetzlich vorgeschriebener Lenk- und Ruhezeiten

**Teilarbeiten der FiF zur Nachbereitung des Fahrdienstes (Auswahl)**

- Führen des Fahrzeugübergabebuches
- Reinigung und Pflege des Fahrzeuges

**Sonstige Teilarbeiten der FiF (Auswahl)**

- Überprüfung des Fahrzeuges auf Mängel; falls möglich, Mängelbeseitigung
- Schadensmeldung an die Werkstatt

Abbildung 4: Tätigkeiten der FiF  
(eigene Darstellung in Anlehnung an [5; 6])

### 2.1.2.2 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen

Bei der Betrachtung der Tätigkeiten von FiF wurden ähnlich wie im Fall des Bahnbetriebs Möglichkeiten für den Einsatz digitaler Arbeits- und Hilfsmittel gesammelt und in vier Themenbereiche klassifiziert. Die thematischen Schwerpunkte orientieren sich dabei am Eisenbahnbetrieb, um eine Vergleichbarkeit mit den dort identifizierten Digitalisierungsoptionen zu gewährleisten (Abbildung 5). Die einzelnen Digitalisierungsoptionen werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.



Abbildung 5: Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen im ÖSPV mit dem Fokus auf Tätigkeiten der FiF (eigene Darstellung)

#### Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter ÖSPV

Auch im ÖSPV ist die Gewährleistung des sicheren Zustands von Fahrzeugen von großer Relevanz. Auf Betriebshöfen des ÖSPV wird teilweise bereits mithilfe von Betriebshofmanagementsystemen (BMS) der aktuelle technische und betriebliche Zustand von Fahrzeugen erfasst. Ein zukünftiges Ziel der ÖSPV-Betreiber könnte darin bestehen, umfangreiche Sensorik und eine ausgereifte Datenanalyse zu verwenden, um vorausschauende Instandhaltungsmaßnahmen einzuführen und somit den Ausfall von Fahrzeugen zu verringern. Diese Digitalisierungsoption geht mit einer Entlastung der FiF bei Prüftätigkeiten am Fahrzeug einher.

Daneben bieten aktuelle Entwicklungen im Bereich der Pkw-Fahrerassistenzsysteme das Potenzial, auch im ÖSPV in größerem Umfang Anwendung zu finden. Mithilfe von Kamera- und Radar-Sensorik könnten die Fahrerreaktion unterstützt und Gefährdungen bzw. Kollisionen durch eine automatische Bremsung verhindert werden.

Um Prozesse wie den Ein- und Aussteigevorgang im ÖSPV sicherer zu gestalten, hat sich in einigen europäischen Ländern die mobile Videoüberwachung durchgesetzt und unterstützt die FiF bei der Gewährleistung der Sicherheit und Ordnung im Fahrzeug.

## Papierloser ÖSPV

Die Echtzeit-Information und -Kommunikation bietet im Straßenverkehr erhebliche Vorteile, um z. B. Fahrpläne einhalten zu können oder auf Störungen zu reagieren. Die digitale, leitstellengestützte Bereitstellung aktueller Informationen und die elektronische Kommunikation bieten die Grundlage für mehrere Digitalisierungsoptionen auf dem Weg zum papierlosen ÖSPV. Zu nennen sind digitale Umleitungen, der Austausch von Dienstplänen oder elektronischer Formulare sowie die Kamera- und Sprachaufzeichnung mithilfe mobiler Eingabegeräte.

## Energie- und kapazitätsoptimierter ÖSPV

Um die Entwicklung eines kosteneffizienten und leistungsfähigen Fahrbetriebs im ÖSPV weiter voranzutreiben, bietet sich der Einsatz digitaler Fahrerassistenzsysteme (FAS) an. Hierdurch könnte sich eine Energie- und Verschleißreduktion einstellen. Weiterhin ist eine Optimierung des Fahrstils über entsprechende Feedbackfunktion denkbar.

Assistenzsysteme können aber auch eine Lösung bei kapazitiven Engpässen darstellen, z. B. an vielbelasteten Knoten. Durch die Homogenisierung des Verkehrsflusses ergäben sich Zeitersparnisse und eine verbesserte Kapazitätsausnutzung.

## Personal- und kostenoptimierter ÖSPV

Im Vergleich zum Eisenbahnbetrieb bietet eine Vollautomatisierung sowie der autonome Fahrbetrieb mithilfe digitaler Systeme im ÖSPV noch größere Potenziale zur Personal- und Kostenreduktion. Neben der Automatisierung spurgeführter U-Bahnen ergibt sich die Option, den Busverkehr mithilfe digitaler Technik autonom zu gestalten. Dabei könnte auf erste Erfahrungen autonom verkehrender Personentransportmittel auf Eigenrassen zurückgegriffen werden, z. B. an Flughäfen, in Häfen oder auf größeren Parkplatz-Anlagen.

## 2.1.3 Digitalisierungsoptionen in der See- und Binnenschifffahrt

Neben dem ÖSPV eignet sich auch die See- und Binnenschifffahrt als weitere Branche, um innovative Ansätze für digitale Lösungen im Schiffsbetrieb mit Möglichkeiten des Bahnbetriebs zu vergleichen. Kapitäne bzw. Schiffsführer erfüllen umfangreiche Tätigkeiten in ihrer Funktion als ranghöchstes Besatzungsmitglied eines Schiffes. Neben der Beförderung sind sie für die Sicherheit von Personen und der Ladung verantwortlich [7].

Das Befähigungszeugnis für Kapitäne gemäß Seeleute-Befähigungsverordnung (See-BV) berechtigt zur Führung von Schiffen je nach Fahrtgebiet (z. B. für die Küstenfahrt oder „Große Fahrt“ auf allen Seegewässern). Für die Binnenschiffertätigkeit existieren gemäß Binnenschifferpatentverordnung (BinSchPatentV) regionale Patente, z. B. das Rheinschifferpatent.

Die Ausbildung zum Kapitän erfolgt an Fachschulen bzw. Fachhochschulen, z. B. in den Studiengängen Nautik oder Wirtschaftsingenieur Seeverkehr. Die Ausbildungsinhalte bereiten auf das nachfolgend beschriebene Tätigkeitsspektrum vor, dessen Kenntnis notwendig ist, um Digitalisierungsoptionen im Schiffsbetrieb abzuleiten.

### 2.1.3.1 Tätigkeiten des Kapitäns

Neben der Haupttätigkeit des Navigierens und Manövrierens zählen zahlreiche vorbereitende Teilarbeiten vor Beginn einer Schifffahrt sowie Arbeiten im Hafen zum Aufgabenspektrum des Kapitäns (Abbildung 6).

**Teilarbeiten des Kapitäns zur Vorbereitung von Schifffahrten (Auswahl)**

- Planung und Vorbereitung einer Schifffahrt mithilfe von Navigationsunterlagen
- Überwachung der See- und Ladetüchtigkeit des Schiffs
- Beseitigung von Störungen und Organisation von Reparaturen

**Teilarbeiten des Kapitäns während der Fahrt (Auswahl)**

- Navigieren und Manövrieren des Schiffes
- Beachtung der Regeln des Schiffsverkehrs
- Durchführung des Funkverkehrs (auch Not- und Sicherheitsfunkverkehr)
- Auswertung und Dokumentation von Leistungs- und Betriebsmessungen
- Prüfung technischer Einrichtung (z. B. Navigationssysteme)
- Organisation des Wachdienstes (Brücken- und Maschinenwachdienst)
- Überwachung der Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen (z. B. Feuerschutz, Rettungsboote)
- Durchführung von Maßnahmen der Ladungsfürsorge
- Wahrnehmung der Fürsorgepflicht für Besatzung und Passagiere

**Teilarbeiten des Kapitäns im Hafen (Auswahl)**

- Überwachung von Festmach- und Ankermanövern
- Kontrolle und Überwachung von Be- und Entladearbeiten (z. B. hinsichtlich der seefesten Stauung/Stabilität)

**Sonstige Teilarbeiten des Kapitäns (Auswahl)**

- Durchführung von Verwaltungsaufgaben (z. B. Abwicklung von Behördenverkehr, Führung und Kontrolle von Schiffsunterlagen und -papieren)
- Mitarbeiterführung, Planung und Überwachung der Ausbildung an Bord

Abbildung 6: Tätigkeiten des Kapitäns  
(eigene Darstellung in Anlehnung an [8; 9])

### 2.1.3.2 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen

Im Bereich der Güter- und Personenschifffahrt existieren wie in allen betrachteten Verkehrsbranchen Bestrebungen, Arbeitsprozesse des Schiffsführers mithilfe digitaler Arbeits- und Hilfsmittel zu erleichtern bzw. zu automatisieren. Um eine Vergleichbarkeit mit den im Eisenbahnbetrieb identifizierten Digitalisierungsoptionen zu gewährleisten, wurde die Kategorisierung der Optionen auch für die See- und Binnenschifffahrt weitgehend beibehalten (Abbildung 7). Die einzelnen Digitalisierungsoptionen werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.



Abbildung 7: Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen in der See- und Binnenschifffahrt mit dem Fokus auf Tätigkeiten des Kapitäns (eigene Darstellung)

## Sicherheits- und instandhaltungsoptimierte See- und Binnenschifffahrt

Zahlreiche Tätigkeiten des Kapitäns zielen auf die Gewährleistung eines sicheren Schiffsbetriebs ab. Zur Vorbereitung von Schifffahrten ist es Aufgabe des Kapitäns, die Funktionsfähigkeit der technischen Einrichtungen an Bord und somit die Seetüchtigkeit des Schiffes zu gewährleisten. Im Hafen ist zudem die Befrachtung des Schiffes unter Sicherheitsaspekten zu überwachen. Während der Fahrt unterstützen Navigations- und weitere Assistenzsysteme den sicheren Schiffsbetrieb. Zudem hat der Kapitän auch während der Fahrt die Funktionsfähigkeit technischer Einrichtungen zu überwachen und für die sichere Lagerung der Fracht Sorge zu tragen.

Eine umfassende Digitalisierung der Zustandsüberwachung von Maschinen und Bauteilen sowie der Fracht auf See- und Binnenschiffen stellt eine bedeutende Digitalisierungsoption dar und würde eine Arbeitserleichterung bei überwachenden Tätigkeiten des Kapitäns bedeuten. Darüber hinaus könnte die Planung von Instandhaltungsprozessen an Land effizienter gestaltet werden.

Die Navigation und Schiffsführung erfolgt bereits mithilfe hochautomatisierter Systeme. Dennoch sehen Experten vielfach Potenziale für die Entwicklung weiterer Assistenzsysteme, um eine sichere Schiffsführung auch in Extremsituationen (z. B. bei hohem Seegang, Eis, Bränden) zu unterstützen. Neue Forschungs- und Entwicklungsansätze könnten zu innovativen digitalen Lösungen für Navigations-, Notfall- und Evakuierungssysteme führen. Forschungsbedarf besteht auch bei einer Optimierung der kooperativen Schiffsführung zwischen Bordpersonal und Landverkehrssystemen [10].

## Papierlose See- und Binnenschifffahrt

Die See- und Binnenschifffahrt zeichnet sich durch eine relativ hohe Formalisierung nautischer sowie verwaltungstechnischer Tätigkeiten aus. Dies betrifft z. B. die Navigation in Häfen, An- und Abmeldeverfahren für Schiffs Liegeplätze, den Zugang zu Verkehrsinformationen (z. B. baustellenbedingte Engpässe, Strömungsdaten u. v. m.), Abrechnungsverfahren (z. B. für Lotsen-Dienstleistungen), Zollformalitäten oder das Schleusenmanagement im Fall der Binnenschifffahrt.

Es existieren zahlreiche Digitalisierungsoptionen auf dem Weg zu einer weitgehend papierlosen See- und Binnenschifffahrt. Denkbar ist die Einführung digitaler Formulare, u. a. für die An- und Abmeldeverfahren, Zollformalitäten oder die elektronische Abrechnung von Betriebsmitteln und Dienstleistungen. Weiterhin betreiben zahlreiche Hafen- und Schleusenbetreiber bereits heute umfangreiche Digitalisierungsoffensiven mit dem Ziel, verkehrliche und logistische Informationen über elektronische Plattformen zur Verfügung zu stellen. Somit könnte auf die Vorhaltung und den Austausch von Papierdokumenten (z. B. Karten, Protokolle, Gefahrenhinweise, Lade- und Löschlisten) verzichtet werden.

Die elektronische Informationsbereitstellung bietet zudem die Optionen der weitgehend ortsunabhängigen Nutzung betriebsrelevanter Daten via Tablets und Smartphones. Es könnten z. B. Messprotokolle im Maschinen- oder Frachtraum angefertigt oder Arbeiten an Deck digital unterstützt werden. Eine weitere Option stellt der elektronische Austausch betrieblicher Informationen (z. B. aktueller Karten, Schiffsdaten, Wetterinformationen) zwischen der Schiffsbesatzung und Lotsen sowie weiteren Akteuren in der Verkehrsleitzentrale dar.

### Energie- und kapazitätsoptimierte See- und Binnenschifffahrt

Aus ökonomischer wie ökologischer Sicht ergibt sich die Option, die See- und Binnenschifffahrt mithilfe digitaler Kapitäns-Assistenzsysteme energieeffizienter zu gestalten. Innovative Softwaresysteme könnten in bestehende Navigationsanwendungen integriert werden, um neben Geschwindigkeiten und Transportzeiten die Effizienz des Brennstoffverbrauchs zu berücksichtigen. Durch die Entwicklung solcher Systeme ergäbe sich auch die Notwendigkeit, satellitengestützte Leitsysteme und bereits heute vorhandene Datenbanken (z. B. zur Aktualisierung von Wetter- und Strömungsdaten) zu optimieren.

Kapazitätsprobleme für den Schiffsverkehr bestehen derzeit insbesondere auf hochbelasteten Schifffahrtsrouten (z. B. Straße von Gibraltar, Unterelbe), in Schleusen der Binnenschifffahrt sowie bei der Anlandung in Häfen. Digitale Lösungsmöglichkeiten in Form von Verkehrsinformations- und Management-Systemen könnten zukünftig den Verkehrsfluss verbessern, z. B. durch die Vergabe von Slots oder die Harmonisierung von Fahrgeschwindigkeiten. Auch ein spezielles Schleusenmanagement würde auf einen höheren Durchsatz und die Verringerung von Wartezeiten in der Binnenschifffahrt abzielen. Mithilfe von IT-Systemen könnten die Durchlaufzeiten bei der Hafenabfertigung verkürzt werden.

### Personal- und kostenoptimierte See- und Binnenschifffahrt

Eine weitgehende Automatisierung des Schiffsbetriebs könnte die Kosten der Binnen- und Seeschifffahrt weiter reduzieren. Digitale Systeme zur automatischen Steuerung und Überwachung von Schiffen auf der Kommandobrücke werden heute unter dem Stichwort „digitalisierte Brücke“ diskutiert [11].

Der autonome bzw. unbemannte Betrieb von Schiffen steht dagegen vor größeren Hürden, da sämtliche Überwachungs- und Notfallkonzepte unter der Gewährleistung einer hohen Ausfallsicherheit ebenfalls zu automatisieren wären. Zudem ist die Gefahr von Hackerangriffen bzw. cyberkriminellen Handlungen Gegenstand der aktuellen Kontroverse [11]. Diskutiert wurden in der Vergangenheit u. a. ferngelenkte Versorgungs- und Containerschiffe [12].

## 2.1.4 Digitalisierungsoptionen im Luftverkehr

Neben den vorgestellten Branchen Eisenbahnbetrieb, ÖSPV sowie See- und Binnenschifffahrt bietet auch der Luftverkehr für den Bahnbetrieb potenziell interessante digitale Lösungen, z. B. wie sicherheitsrelevante Prozesse und Bedienhandlungen mithilfe digitaler Arbeits- und Hilfsmitteln unterstützt werden könnten. Piloten bzw. Verkehrsflugzeugführer/-innen sind für die Durchführung von Passagier- und Frachtflügen im kommerziellen Luftverkehr verantwortlich. Die Pilotentätigkeit setzt gemäß der Verordnung über Luftfahrtpersonal (LuftPersV) den Erwerb einer Lizenz für Luftfahrzeugführer voraus.

Diese umfasst den Erwerb theoretischer Kenntnisse sowie den erfolgreichen Abschluss einer definierten Anzahl und Art an Flugstunden (u. a. Instrumenten-, Überland-, Nacht-, Alleinflug) [13]. Die Ausbildung erfolgt in der Regel an Verkehrsfliegerschulen und bei Flugunternehmen. Eine Kenntnis grundlegender Tätigkeiten des Piloten ist notwendig, um Digitalisierungsoptionen im Luftverkehr abzuleiten.

#### 2.1.4.1 Tätigkeiten des Piloten

Wie im Fall des Eisenbahn-, Bus- und Schiffsverkehrs umfasst die Tätigkeit des Piloten vorbereitende Teilarbeiten vor dem Flugantritt, die Steuerung des Flugzeuges sowie organisatorische Nebenarbeiten. Im Unterschied zu Tf, FiF oder Kapitänen erfolgt die Steuerung von Flugzeugen in doppelter Besetzung, wobei zwischen dem verantwortlichen Flugzeugführer (Flugkapitän) sowie dem Ersten Offizier unterschieden wird (Abbildung 8).

**Teilarbeiten des Piloten zur Vorbereitung von Flügen (Auswahl)**

- Überprüfung und Beurteilung der Wetterlage
- Berechnung von Flugzeiten und des Treibstoffbedarfs
- Sichtung von Flugunterlagen, ggf. Kontrolle der Ladung
- Prüfung der Instrumente und des Flugzeuges auf Betriebssicherheit

**Teilarbeiten des Piloten bei der Steuerung von Flügen (Auswahl)**

- Bedienung der Systeme zur Steuerung des Flugzeuges
- Beobachtung des Luftraums, v. a. durch Instrumente (z. B. RADAR)
- Durchführung des Sprechfunkverkehrs mit der Flugsicherung
- Einleitung von Maßnahmen bei Störungen und Abwendung von Gefahrensituationen

**Sonstige Teilarbeiten des Piloten (Auswahl)**

- Erstellung von Flugberichten und Mängelprotokollen
- Einhaltung von Vorschriften des Flugbetriebshandbuchs und weiterer Dokumente

Abbildung 8: Tätigkeiten des Piloten  
(eigene Darstellung in Anlehnung an [14])

#### 2.1.4.2 Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen

Im Luftverkehr zeichnen sich unter Fokussierung auf die Tätigkeit des Piloten u. a. nachfolgende Bestrebungen ab, die Führung von Flugzeugen durch den Einsatz digitaler Arbeits- und Hilfsmittel zu erleichtern und ggf. zu automatisieren (vgl. z. B. [15]). Um eine Vergleichbarkeit mit den im Eisenbahnbetrieb identifizierten Digitalisierungsoptionen zu gewährleisten, wurde die Kategorisierung auch für den Luftverkehr weitgehend beibehalten (Abbildung 9). Die einzelnen Digitalisierungsoptionen werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

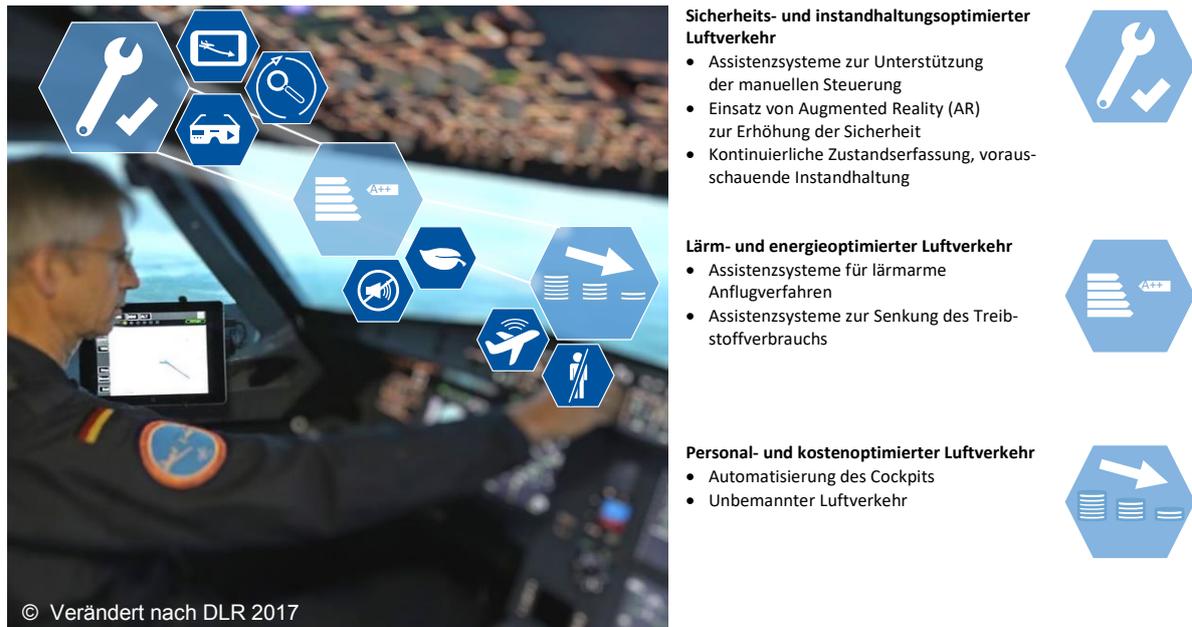


Abbildung 9: Kategorisierung von Digitalisierungsoptionen im Luftverkehr mit dem Fokus auf Tätigkeiten des Piloten (eigene Darstellung)

### Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter Luftverkehr

Ähnlich wie in anderen Verkehrsbranchen könnte auch im Luftverkehrsgewerbe der Einsatz digitaler Arbeits- und Hilfsmittel mit einer Erhöhung der Sicherheit einhergehen. Neue Cockpit-Funktionen, z. B. Assistenzsysteme bei der Flug- und Rollführung und der Einsatz von Augmented Reality (AR), könnten zu einer Entlastung von Piloten führen – etwa durch eine Unterstützung der manuellen Steuerung von Flugzeugen bei Extremereignissen.

Weiterhin bietet der verstärkte Einsatz von Sensoren das Potenzial, Flugzeugdaten kontinuierlich zu überwachen und eine vorausschauende Instandhaltung zu betreiben. In einem fortgeschrittenen Szenario könnten Zustandsdaten, etwa von Triebwerken, an das Werkstattpersonal am Boden übermittelt werden.

### Lärm- und energieoptimierter Luftverkehr

Aus ökonomischer wie ökologischer Sicht ergibt sich durch den Einsatz digitaler Piloten-Assistenzsysteme ein großes Potenzial zur Reduzierung der Lärmemissionen und des Treibstoffbedarfs insbesondere bei Start- und Landevorgängen. Das derzeit praktizierte Verfahren leitet sich vor allem aus Sicherheitserwägungen ab. Der besonders lärmarm stattfindende und treibstoffsparende Start- und Landevorgang steht dagegen bislang weniger im Vordergrund.

### Personal- und kostenoptimierter Luftverkehr

Der Luftverkehr zeichnet sich bereits heute durch einen hohen Automatisierungsgrad aus. Ein Geradeausflug mit gleichbleibender Geschwindigkeit wird i. d. R. mithilfe von Autopiloten durchgeführt.

Durch die fortschreitende Digitalisierung ist ein vollautomatisierter bzw. unbemannter Flugbetrieb zumindest im Frachtbereich denkbar, während im Passierflugbetrieb langfristig auf die Doppelbesetzung verzichtet und der „Ein-Piloten-Betrieb“ eingeführt werden könnte.

## 2.1.5 Digitalisierungsoptionen in weiteren Branchen

Die in vorangegangenen Abschnitten vorgenommene Darstellung der Digitalisierungsoptionen in den Verkehrsbranchen Eisenbahnbetrieb, ÖSPV, See- und Binnenschifffahrt und Luftverkehr fokussiert stets auf Tätigkeiten des Fahrzeugführers. In jedem Verkehrsmodus ist dieser dafür verantwortlich, Fahrzeugbewegungen vorzubereiten, durchzuführen und nachzubereiten, zudem ergeben sich verwaltungstechnische Nebenaufgaben. Sämtliche Tätigkeiten stehen unter einer hohen Sicherheitsverantwortung, so dass eine fortschreitende Digitalisierung in erster Linie Optionen bietet, die Sicherheit zu erhöhen und zugleich den dafür notwendigen Personal- und Materialaufwand zu reduzieren. Aus den Sicherheitsanforderungen resultiert zumeist die Notwendigkeit, eine Vielzahl an Dokumenten vorzuhalten. Digitale Anzeige- und Ausgabegeräte bieten die Option, Schriftdokumente zu reduzieren. Sämtliche Verkehrsbranchen streben angesichts endlicher fossiler Brennstoffe sowie aus ökologischen wie ökonomischen Gründen eine Reduktion des Energieverbrauchs durch den Einsatz digitaler Assistenzsysteme an. Als weitere Gemeinsamkeit konnte der Trend zur Automatisierung bzw. Autonomisierung des Fahrbetriebs identifiziert werden.

In einer erweiterten Betrachtungsweise werden auch Digitalisierungsoptionen außerhalb des Verkehrswesens in der Energiewirtschaft, Telekommunikation sowie im Werkzeugmaschinenbau als Teildisziplin des Maschinenwesens berücksichtigt. Im Folgenden werden ausgewählte Digitalisierungsoptionen dieser besonders technologieoffenen Branchen vorgestellt.

### 2.1.5.1 Digitalisierungsoptionen in der Energiewirtschaft

Energieübertragungsnetze und Kraftwerke zeichnen sich durch eine flächenhafte Verbreitung und die Existenz von Rückfallebenen zur Gewährleistung einer hohen Versorgungssicherheit aus. Die Verfügbarkeit von Strom, Gas oder Wasser ist in beinahe allen Lebensbereichen von elementarer Bedeutung.

Durch die angestrebte Digitalisierung innerhalb der Energiebranche ergeben sich neue Möglichkeiten, um die Energiebereitstellung sicherer und Instandhaltungsprozesse kostengünstiger zu gestalten. Eine kontinuierliche Fernüberwachung (Condition Monitoring, CM) dezentraler Infrastruktur, etwa lokaler Umspannstationen oder von Offshore-Windkraftanlagen, würde es ermöglichen, Ausfällen vorzubeugen, auf feste Instandhaltungsintervalle zugunsten einer flexiblen Wartung zu verzichten und somit Instandhaltungspersonal effizienter einzusetzen. Aufgrund der hohen Zahl an Endverbrauchern und dem damit verbundenen komplexen Energienetz ist diese Zielvorstellung mit der so genannten Big Data-Analyse zu verknüpfen. Millionenfach übermittelte und gespeicherte Zustandsdaten erfordern daher eine automatisierte Auswertung. Derzeit praktizierte Forschungsansätze des CM und der Big Data-Analyse könnten in den nächsten Jahren flächenhaft zur Anwendung kommen.

Trotz einer zunehmend digitalisierten Instandhaltung kann jedoch in absehbarer Zeit nicht auf lokales Instandhaltungspersonal verzichtet werden. Eine zunehmende Verbreitung mobiler Endgeräte (Laptops, Tablets, Smartphones etc.) bietet große Potenziale, etwa zur flexiblen Bereitstellung von Zustandsdaten, Instandhaltungsplänen oder Prüfprotokollen. Ein weiterer Schritt zur Effizienzsteigerung bietet die Zukunftsvision Augmented Reality (AR). Über spezieller „Datenbrillen“ könnten Wartungsarbeiten noch effizienter ablaufen, jedoch konzentrieren sich entsprechende Forschungsprojekte derzeit noch auf andere Anwendungsbereiche.

### 2.1.5.2 Digitalisierungsoptionen in der Telekommunikation

Die bereits vorhandene Telekommunikationstechnologie muss als Werkzeug zur Digitalisierung in anderen Branchen interpretiert werden. In erster Linie waren Infrastrukturmaßnahmen wie der Breitband-

ausbau und die Errichtung eines leistungsstarken Mobilfunknetzes die Wegbereiter für digitalisierte Prozesse im Dienstleistungssektor wie auch in der Industrie. Das kontinuierlich ansteigende Datenvolumen stationärer wie mobiler Anwendung zur Information und Kommunikation – etwa im Kontext des autonomen Fahrens – erfordert eine Weiterentwicklung der Übertragungstechnologien. Dabei stehen Verbesserungen bei den Übertragungskapazitäten (Bandbreiten) sowie eine effizientere Nutzung des Übertragungsnetzes gleichermaßen im Fokus.

Derzeit werden neue Technologiestandards zur schnelleren mobilen Datenübertragung entwickelt. Unter der Bezeichnung „2G“ wurde das bislang analoge Kommunikationssystem durch eine digitale Weiterentwicklung abgelöst. Mit dem Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)-Standard“ stand eine breitbandige, als „3G“ bezeichnete Mobilfunk-Datenübertragung zur Verfügung (bis zu 42 Mbit/s), die mittlerweile durch den Long Term Evolution (LTE)-Standard (4G) erweitert wurde (bis zu 1 Gbit/s). Zukünftige Forschungen zielen auf eine 5G-Datenübertragung ab, die dem weiterhin steigenden Datenaufkommen Rechnung tragen könnte [16].

Die beinahe flächendeckend verfügbare digitale Sprach- und Datenkommunikation findet derzeit unter Datenschutzgesichtspunkten eine verstärkte wissenschaftliche Betrachtung. Dabei wurden etwa im Fall der IP-Telefonie wie auch bei der mobilen Datenübertragung über digitale Endgeräte vielfältige Gefahren und Einfallstore für unerlaubtes Abhören des Sprach- und Datenverkehrs sowie manipulative Eingriffe festgestellt (vgl. z. B. [17]). Aktuelle Forschungen könnten daher einen Beitrag zur Erhöhung der IT-Sicherheit leisten.

Die vermehrt cloudbasiert und dezentral stattfindende Speicherung digitaler Informationen (Big Data) erzeugt sowohl gestiegene Anforderungen an Technologien zur Datenübertragung wie des Datenschutzes. Es lassen sich bereits Forschungen und Entwicklungen mit dem Ziel leistungsfähigerer und sichererer Cloud-Lösungen feststellen (vgl. z. B. [18]). Zudem zeichnet sich die Entwicklung ergänzender Dienstleistungen zur Datenauswertung (Big Data-Analyse) ab, die jedoch weniger im Bereich der universitären Forschung, sondern in privatwirtschaftlichen IT-Unternehmen angesiedelt ist.

### 2.1.5.3 Digitalisierungsoptionen im Werkzeugmaschinenbau

Die Digitalisierungsoptionen im Werkzeugmaschinenbau gehen einher mit der sogenannten Industrie 4.0. Im Mittelpunkt der Industrie 4.0 steht die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen und Objekten in cyber-physischen Systemen zum dynamischen Management komplexer Prozesse. Die Industrie 4.0 beruht vor allem auf Konzepten und Szenarien wie die Vernetzung, Assistenzsysteme und dezentrale Entscheidungen. Menschen, Maschinen und Objekte wie Sensoren und Aktuatoren können sich miteinander vernetzen und über das sogenannte Internet der Dinge (vgl. auch Abschnitt 2.2.5.2) miteinander kommunizieren. Hierbei können die Arbeitspersonen durch Assistenzsysteme, welche bei der Aggregation und Visualisierung von Daten behilflich sind, unterstützt werden. Cyber-physische Systeme können weitgehend autonom Daten sammeln, analysieren und dezentral Entscheidungen treffen. Ziele der industriellen Produktion in Hochlohnländern wie Deutschland sind eine zunehmende Variantenvielfalt und sinkende Losgröße von Produkten bis hin zur Losgröße 1 unter den Bedingungen einer hochkomplexen und hochflexiblen Produktion [19][20].

Mit der steigenden Komplexität im Werkzeugmaschinenbau kann die mentale Beanspruchung der Arbeitspersonen ansteigen. Die Verwendung von Assistenzsystemen und die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien, welche bereits im Alltag genutzt werden, wie Smartwatches, Smartphones, Tablets oder Multimedia-Brillen, kann neue Steuerungskonzepte entstehen lassen. Der Einsatz von diesen Technologien, die vor einigen Jahren noch deutlich kostenintensiver waren, hat das Potenzial, die mentale Beanspruchung der Mitarbeiter zu senken und stellt zudem eine transparente Schnittstelle dar. Mit einer individuellen Anpassung an den Nutzer über menschenzentrierte Bedienkonzepte

kann dieser gezielt unterstützt werden [21]. Über neueste Sensortechnologie können große Mengen an Daten erstellt werden. Die übersichtliche Aufbereitung dieser großen Datenmengen (Big Data) über selbstlernende (teil-)autonome Systeme bietet die Möglichkeit, neues Wissen zu generieren [22]. Das so entstehende Wissen kann Einblick in verschiedenste Eigenschaften des Produktionsablaufs ermöglichen. Im Fokus aller Bemühungen der Vernetzung sollte immer die aufgabenorientierte Zusammenarbeit von Mensch und Maschine stehen.

## 2.2 Forschungsvorhaben mit Bezug auf die Digitalisierung von Betriebsprozessen

In den vorherigen Abschnitten wurden Tätigkeiten von Fahrzeugpersonalen und daraus abgeleiteter Digitalisierungsoptionen in den Branchen Eisenbahnbetrieb, ÖSPV, See- und Binnenschifffahrt sowie Luftverkehr dargestellt. Nachfolgende Abschnitte zielen darauf ab, thematisch geeignete Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu nennen und zu beschreiben. Die Gliederung in Unterabschnitte orientiert sich dabei an der Klassifizierung von Digitalisierungsoptionen.

Die Eisenbahnproduktentwicklung zeichnet sich durch eine Vielzahl nationaler Projekte aus, die im Regelfall von nationalen EVU sowie Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) direkt oder indirekt finanziert und von Unternehmen der Fahrzeug- und Zulieferindustrie ausgeführt werden. Die in einem nationalen Umfeld übliche enge Verknüpfung der Industriepartner bei Produkt- und Prozessinnovationen beeinträchtigt häufig die Verfügbarkeit aktueller Informationen. Nachfolgende Recherchen können daher eine umfangreiche, aber keine vollständige Darstellung des Forschungs- und Entwicklungsstandes gewährleisten. Hingegen kann für Forschungsverbundprojekte, die durch öffentliche Auftraggeber oder die Europäische Union initiiert wurden und damit internationale Partner vereinigen, eine bessere Dokumentation erzielter Projektergebnisse festgestellt werden. Dies gilt auch für den ÖSPV.

Der Schiffs- und Luftverkehr findet vorwiegend international statt. Der grenzüberschreitende Charakter der beiden Verkehrsbranchen spiegelt sich auch in Form von thematisch größer angelegten Forschungsprojekten und breiter kommunizierten Forschungsergebnissen wieder. Im Themenschwerpunkt Digitalisierung der Energiewirtschaft und der Telekommunikation führten eine umfangreiche Förderpolitik des Bundes, der Länder und europäischer Institutionen zu vielfältigen Forschungsergebnissen mit dem übergeordneten Ziel, die Dekarbonisierung und digitale Vernetzung der Industrie und Gesellschaft zu beschleunigen.

### 2.2.1 Forschung im Bereich Digitalisierung des Eisenbahnbetriebs

Forschungsvorhaben des Eisenbahnbetriebs konzentrieren sich häufig auf Teilaspekte der identifizierten Digitalisierungsoptionen von Arbeitsprozessen im Rahmen der Tf-Tätigkeit (vgl. Abschnitt 2.1.1.5, Abbildung 3). Eine Recherche deutscher und europäischer Forschungsvorhaben bezieht u. a. Fachartikel, Konferenzbeiträge und sonstige Fachpublikationen mit ein, wobei auch Veröffentlichungen forschender Unternehmen im Bahnsektor eine besondere Berücksichtigung finden.

Ein Schwerpunkt der Forschungstätigkeit im Bereich Digitalisierung des Eisenbahnbetriebs liegt derzeit auf Projekten, die einen sichereren, instandhaltungsoptimierten und damit kostengünstigeren und zuverlässigeren Bahnbetrieb ermöglichen könnten. Digitale Lösungen berücksichtigen dabei sowohl infrastruktur- als auch fahrzeugseitige Technologien. Das als papierloser Bahnbetrieb bezeichnet Forschungsfeld erfährt eine im Vergleich zu digitalen Sicherheits- und Instandhaltungstechnologien nachgelagerte, aber dennoch erkennbare Aufmerksamkeit, wie einzelne Entwicklungen im Bereich digitaler Anzeige-

und Ausgabegeräte belegen. Die Entwicklung digitaler Fahrerassistenzsysteme für Tf hat nach zwei Jahrzehnten der Stagnation an Dynamik aufgenommen, mit dem Ziel, den Energieverbrauch und Verschleiß im Bahnbetrieb weiter zu reduzieren. Das als technisch harmonisierter Bahnbetrieb bezeichnete Forschungsfeld entwickelte sich vor allem unter der Initiative der Europäischen Union und mündete in eine Standardisierung europäischer Leit- und Sicherungstechnik, die im Führerraum in Form einer standardisierten Anordnung von digitalen Anzeigegegeräten und Bedienelementen ihren Ausdruck findet. Das Forschungsfeld des personal- und kostenoptimierten Bahnbetriebs könnte zukünftig die größte Dynamik entfalten. Entwicklungen in Richtung eines automatisierten Fahrens erzielen in der Automobil- und Nutzfahrzeugbranche immer größere Aufmerksamkeit, während diese im Bahnbetrieb noch eher erhalten kommuniziert werden. Die Eisenbahnbranche ist in diesem Themenfeld politisch und gesellschaftlich gefordert, erzielte Fortschritte und zukünftige Projekte ähnlich zu vermarkten.

### 2.2.1.1 Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter Bahnbetrieb

Die automatisierte Zustandserfassung von Tfz, Wagen und die fahrzeugseitige Prüfung der Integrität des Zugverbandes wird derzeit in mehreren Forschungsprojekten vorangetrieben. Neben dem übergeordneten Ziel eines sicherheitsoptimierten Bahnbetriebs verfolgen triebfahrzeug- und waggonorientierte Projekte vor allem Kostenreduktionen bei der Instandhaltung. Das erklärte Ziel der Bahnindustrie sowie einzelner EVU ist es, auf der Basis einer fernüberwachten, kontinuierlichen Aufzeichnung des Verschleißverhaltens von Fahrzeug- und Infrastrukturkomponenten (Condition Monitoring) auf feste Wartungsintervalle zu verzichten. Die Projekte zielen daher auf eine anlassbezogene, vorausschauende Instandhaltung (predictive maintenance) ab, ohne dass hierdurch Sicherheitsnachteile entstehen sollen.

Eine Arbeiterleichterung bzw. Digitalisierung von Arbeitsprozessen des Tf lässt sich aus den Projektbeschreibungen zum Thema digitale Instandhaltung zumeist nur mittelbar ableiten, hingegen stehen kostenkritische Arbeitsprozesse des Instandhaltungspersonals im Vordergrund. In erster Instanz tragen Tf jedoch die direkte Verantwortung, Unregelmäßigkeiten am Tfz und Zug zu erkennen, z. B. blockierte Radsätze, Flachstellen, Lagerschäden oder verschobene Ladungen, und müssen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr treffen. Dies betrifft sowohl Teilarbeiten zur Vor- und Nachbereitung sowie bei der Durchführung von Rangier- und Zugfahrten. Weiterhin sind gefahrdrohende Umstände entlang der Strecke zu erkennen und dem Fdl zu melden (vgl. z. B. Ril 418.3312 [1]). Eine automatisierte Detektion von Unregelmäßigkeiten und Zustandsmeldungen im Tfz-Führerraum würde daher v. a. visuell verrichtete Teilarbeiten des Tf unterstützen und ggf. sogar substituieren (z. B. optische Prüfung des Fahrwerks).

#### Projekte im Bereich der digitalen Zustandserfassung von Triebfahrzeugen

Mit der Entwicklung des Hochgeschwindigkeits-Triebzuges Velaro D begann Siemens Mobility Services die digitale Zustandserfassung von Fahrzeugdaten medienwirksam umzusetzen. Eine Vielzahl an Sensoren (Wireless Sensor Networks) sendet entsprechende Datenpakete drahtlos vom Tfz zu Siemens Data Services. Teilweise greift der Tfz-Hersteller auf Teilsysteme zurück, die von Zulieferern entwickelt wurden. Bereits Mitte der 2000er Jahre bewarb Knorr-Bremse ein Diagnosesystem für Radsatzlager und für die Laufoberflächen von Rädern [23]. Der Umfang des monatlich gesendeten Datenvolumens der Velaro D-Flotte betrug 2016/17 rund 1 Terrabyte. Die herstellereitige Analyse empfangener Daten ermöglicht es, Fehler zu detektieren und vorherzusagen sowie Instandhaltungsempfehlungen an den Kunden auszusprechen, der seinerseits Instandhaltungspläne anpasst [24].

Schwerwiegende Störungen, z. B. eine drohende Überhitzung von Fahrzeugbauteilen, blockierende oder entgleiste Radsätze sowie Heißläufer am Tfz werden dem Tf baureihenspezifisch auf dem Technical & Diagnostic Display (TDD) bzw. Maschinentechnischen Display (MTD) mitgeteilt [23]. Eine beispielhafte Anzeige eines TDD-/MTD-Grundbilds zeigt Abbildung 10.



Abbildung 10: Technical & Diagnostic Display (TDD) am Beispiel des Tzf Vossloh G 2000 BB (eigene Darstellung)

EVU-seitig wurde neben dem genannten Beispiel Velaro D bei DB Fernverkehr auch durch DB Schenker Rail (Heute DB Cargo) seit 2015 eine digitale Instandhaltungsstrategie umgesetzt, und zwar in den Projekten „Lok 4.0“ und „TechLok“. Zunächst veranlasste das EVU, fünf Loks der BR 185 (Bombardier) und 189 (Siemens) zu „intelligenten Loks“ aufzurüsten, indem Sensoren zur Zustandserfassung verbaut wurden. Im Jahr 2017 beauftragte DB Cargo den Schienenfahrzeughersteller Siemens mit der Ausrüstung weiterer Lokomotiven der BR 152 (Europrinter ES64F) und 170/191 (Vectron). Die Zahl der mit umfangreicher Sensorik zur Zustandserfassung ausgerüsteten Lokomotiven soll bis zum Jahr 2020 von derzeit rund 1.000 auf 2.000 ansteigen [25]. Mithilfe des Systems werden u. a. Temperaturabweichungen eines Lagers, Spannungen, Ströme oder Schaltzustände detektiert. Die Herausforderung besteht darin, Daten für automatisierte Voraussagen über drohende Schäden aufzubereiten. Erklärtes Ziel der DB-Tochter ist es dabei, ein baureihenübergreifendes zustandsorientiertes Instandhaltungssystem (Condition Based Maintenance) auch für ältere Bestandsfahrzeuge zu entwickeln. Auswirkungen für den Tf ergeben sich nach Aussagen der Projektleiter insbesondere bei der Schadensbegrenzung und –behebung vor Ort. Per Hotline soll ein Tf über notwendige Maßnahmen beraten werden, wobei das Servicecenter über echtzeitübermittelte Zustands- und Diagnosedaten verfügen wird [26; 27].

Ein ähnliches Forschungs- und Entwicklungsprojekt verfolgt die Sparte DB Mobility Networks Logistics im Personenverkehr mit dem Projekt „Zustandsorientierte Instandhaltung“ bzw. „Conditioned Based Maintenance“ (CBM). Unter anderem wurden DB-Regio-Nahverkehrstriebzüge der BR 442 (Bombardier) mit Sensorik ausgestattet. Unter Verwendung aktueller Forschungsergebnisse zur mathematisch-statistischen Prognose von Ereignissen (vgl. z. B. [28]) wurden Ausfallzeitpunkte bestimmter Teilsysteme im Triebzug prognostiziert. Eigenen Angaben zufolge waren 92 % der fernübermittelten Diagnosen gerechtfertigt, z. B. erwartete Störungen von Tür-Systemen oder der Klimatechnik. Störungsmeldungen erfolgten dabei im Mittel 90 h vor dem prognostizierten Ausfall des Systems, sodass ausreichend Zeit bestand, betreffende Tf zu informieren und in den Bereichen Fahrzeugdisposition und Werkstattmanagement eine Instandhaltungsmaßnahme vorzubereiten [29].

Neben Elektrolokomotiven und -triebzügen für den Streckendienst rüstete die DB auch die seit Ende 2010 eingesetzte Rangierlok BR 261 (Gravita 10 BB) des Herstellers Voith mit einer Sensorik zur Zustandserfassung aus. In einem Forschungs- und Entwicklungsprojekt brachten Voith IT Solutions und der Kooperationspartner IT-Informatik GmbH ein SAP-basiertes Instandhaltungssystem „Optimized Pro Active

Life Cycle Approach“ (OPRA) zur Marktreife, das Leistungs- und Diagnosedaten sowie Störungen sammelt und an ein DB-eigenes „Integriertes System der Instandhaltung“ (ISI) sendet. Für den Tf relevante Störungen werden über das TDD im Führerraum angezeigt. Die Fernübertragung der Sensor- und weiterer Betriebsdaten (u. a. Zähler- und Füllstände, Kilometerstand, Motorstunden) erfolgt in festgelegten Zyklen via GPRS, kann jedoch auch manuell durch den Tf ausgelöst werden [30; 31].

### Projekte im Bereich der digitalen Zustandserfassung von Zugverbänden

Die zuvor genannten Projekte der Fahrzeughersteller und –betreiber zielen auf die Zustandsüberwachung von Tzf bzw. Triebzügen ab, nicht jedoch auf heterogene Zugverbände, wie sie v. a. im Schienen-güterverkehr vorzufinden sind.

Ende 2016 beauftragte das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die Unternehmen DB Cargo und VTG AG mit dem Forschungsvorhaben „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“ (Laufzeit: 2016-2018, [32–34]). Ein zentrales Ziel des mit Mitteln aus dem Bundeshaushalt finanzierten Vorhabens war die Anwendung und Betriebserprobung prototypischer Güterwagentechnologien auf mehreren Versuchsträgern. Diese wurden mit Komponenten zur Lärmreduktion und Energieverbrauchssenkung, einer durchgängigen Stromversorgung und einem Controller Area Network (CAN)-Datenbus ausgerüstet. Dies ermöglichte den Einsatz einer elektronisch gesteuerten Bremse der Firmen Knorr-Bremse und Faively Transport anstelle der marktüblichen Druckluftsysteme sowie eine Implementierung mehrerer waggonspezifischer digitaler Technologien. Eine Telematik-Hardware der Firmen Nexiot und Siemens gewährleistet u. a. eine Standortbestimmung der Versuchsträger via GPS sowie die Erfassung von Laufleistungen oder Stoßereignissen. Mithilfe einer digitalen Bremsanzeige der Firma Asto Telematics wurde die (Fern-)Überwachung der Bremshebelstellung, der Zustände von Bremsbelägen, das Bremsgewicht sowie möglicher Fehler an der Bremsanlage einzelner Waggons realisiert. Per Smartphone-Applikation kann der Tf im Rahmen der Testanwendung zu jedem Betriebszeitpunkt Bremsfunktionen überprüfen. Eine bis Ende 2018 erfolgte Testung der Komponenten im Realbetrieb soll die Zukunftsfähigkeit des Projektvorhabens aufzeigen.

Im Jahr 2017 stellten die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB bzw. SBB Cargo), das Bundesamt für Umwelt (BAFU), die Rail Cargo Group (RCG), PJ Messtechnik (PJM) und weitere Industriepartner Ergebnisse des Projekts „leise, leicht, laufstark, logistikfähig und life-cycle-kostenorientiert“ anhand eines Demonstratorzuges vor („5L“, Laufzeit: 2015-2017, [35; 36]). Im Projekt wurde neben weiteren Technologien eine Teilautomatisierung der Zugvorbereitung verfolgt (Abbildung 11). Noch immer ist der Tf neben dem Wagenmeister und Bremsprobenbevollmächtigten in die Zugvorbereitung involviert, etwa bei der Durchführung der Bremsprobe. Der Einsatz von automatischen Kupplungen und von weiteren technischen Systemen ermöglicht eine automatische Bremsprobe und geht mit Zeiteinsparungen von bis zu zwei Stunden im Vergleich zu herkömmlichen Bremsproben einher [37].



- Automatische Kupplung
- Automatische Bremsprobe
- GPS-gestützte Geolokalisierung
- Sensorgestützte Überwachung des Frachtzustands (u. a. Temperatur)
- Verwendung von Radio-Frequency Identification (RFID)-Chips zur digitalen Waggonidentifizierung
- Aufbereitung von RFID-Daten zur Generierung kundengerechter Informationen (u. a. Wagenreihung oder Ankunfts- und Abfahrtszeiten)

Abbildung 11: Schlüsseltechnologien des 5L-Projekts unter Leitung der SBB Cargo (eigene Darstellung nach [37])

Weitere Projekte verfolgen eine automatisierte Zustandsüberwachung von Güterzügen. Die deutsche Fahrzeugentwicklungs- und Prüffirma Lenord, Bauer & Co. GmbH vertreibt derzeit marktfähige, im Achslagerdeckel verbaute Vibrationssensoren. Dadurch wird u. a. die Detektion von Flachstellen, drohender Lagerschäden sowie eine Drahtlos-Datenkommunikation an punktuell vorhandenen, verschlüsselten WLAN-Schnittstellen sowie per Radio-frequency identification (RFID) Handlesegerät ermöglicht (Abbildung 12). Eine Weiterentwicklung des Systems eignet sich darüber hinaus zur automatisierten Überprüfung des Zustands der Bremsen, Achslasten und des Ladeguts (u. a. hinsichtlich Erschütterungen oder der Temperatur), zur waggonübergreifenden Kommunikation via Datenbus sowie zur Datenfernabfrage via Mobilfunk und Cloud [38; 38]. Das heute verfügbare digitalisierte Bauteil lässt sich auf ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördertes Forschungsprojekt „Cargo Condition-based Monitoring“ (CargoCBM, Laufzeit: 2011-2013) unter Beteiligung der Technischen Universität Berlin und von Industriepartnern (u. a. Lenord, Bauer & Co. GmbH) zurückführen. Neu entwickelt wurden u. a. Diagnosealgorithmen, die On-Board-Diagnosehardware und eine On-Board-Energieversorgung [39]. Ähnliche Sensorsysteme wurden auch von weiteren Unternehmen, u. a. Bosch Engineering im Auftrag der SBB Cargo [36] oder Siemens [40], produziert und finden bereits eine prototypische Anwendung.

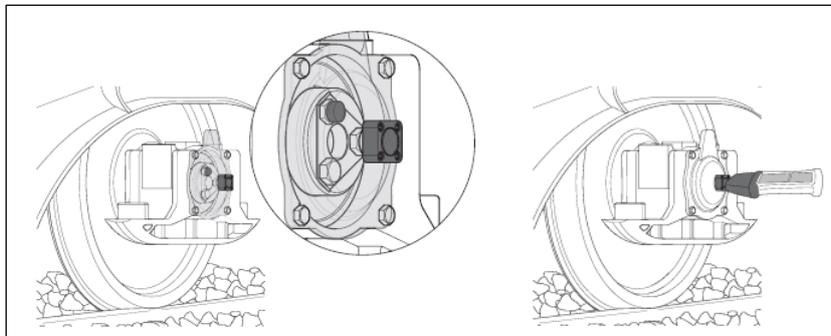


Abbildung 12: Konstruktion des Sensorsystems im Achslagerdeckel und Auswertung via RFID (Lenord + Bauer 2012 [41])

Neben der mobilfunkgestützten Intrazugkommunikation verfolgen unterschiedliche Projekte eine Kommunikation via Datenbus, Analog- und Digitalfunk (GSM-R) sowie Kurzstreckenfunk (W-LAN, DECT). Einer Untersuchung der Hochschule Rhein-Waal im Auftrag des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) zufolge bietet sich derzeit vor allem ein auf Kurzstreckenfunk basiertes System für den permanenten Austausch von Zustandsmeldungen zwischen Waggons und Tzf an. Insbesondere die Betriebsprozesse Rangier- und Zugfahrt würden von einer waggonübergreifenden Kommunikation profitieren [42].

In den letzten Jahren ist eine wachsende Zahl an Innovationsinitiativen zur Förderung der Forschung und Entwicklung im Bereich des „digitalen“ bzw. „intelligenten“ Güterwagens zu erkennen. Eine Plattform stellt der „Technische Innovationskreis Schienengüterverkehr“ (TIS) unter Beteiligung namhafter Fahrzeughersteller, Waggonvermieter und Verkehrsunternehmen (u. a. Knorr-Bremse, Waggonbau Niesky GmbH, Waggonbau Graaff GmbH, GATX Rail, VTG AG, DB Cargo, SBB Cargo) sowie der technischen Universitäten Berlin und Dresden dar [43]. Das EVU und Logistikunternehmen DB Cargo verfolgt unter der Bezeichnung „Integriertes Netzwerk und Güterwagen 4.0“ eine langfristige Digitalisierungs-offensive und beabsichtigt eine Fernüberwachung von Wagen- und Ladungszuständen [44]. Weitere Impulse gehen vom VDI aus, der unter Leitung der Fachhochschule (FH) Aachen in der Vergangenheit ein Expertenforum zum Thema „Automatisierung für Schienenverkehrssysteme – Der Weg zum Güterwagen 4.0“ ausrichtete [38; 42; 45–47]. Der VDV initiierte ein Projekt „Produktivitätssteigerung im SGV“, das Mitgliedsunternehmen u. a. bei der Digitalisierung von Güterwagen unterstützen soll, indem Vorschläge an die Politik, Behörden, die Industrie und Forschungspartner weitergeleitet werden [48].

## Projekte im Bereich der digitalen Zustandserfassung an Eisenbahnstrecken

Infrastrukturseitig existieren in Deutschland zwei bewährte, sensorgestützte Systeme zur Wagenzustandsortung, die so genannten Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA/ FBOA). Über ein Meldeanlagensystem (MAS) der DB Netz AG wird der zuständige FdI nach der Fernortung angewiesen, den betreffenden Zug per GSM-R-Anruf an den Tf zum Halten zu bringen. Der Zug ist vom Tf durch Vollbremsung anzuhalten, zudem ist der Tf verpflichtet, diesen anschließend auf Unregelmäßigkeiten zu untersuchen (Ril 418.3343 [1]). Ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt der DB Netz AG „Weiterentwicklung DB MAS sowie der HOA/FBOA“ (Laufzeit: 2016-2017) zielt auf einen automatisierten Meldeweg an den Tf via GSM-R ab. Fahrzeuge werden von einer technisch modernisierten Anlage direkt identifiziert, die Kommunikation mit dem Tf erfolgt über eine weiterentwickelte MAS (Abbildung 13). Eine Betriebserprobung des weiterentwickelten Systems erfolgt seit Ende 2016 [49].

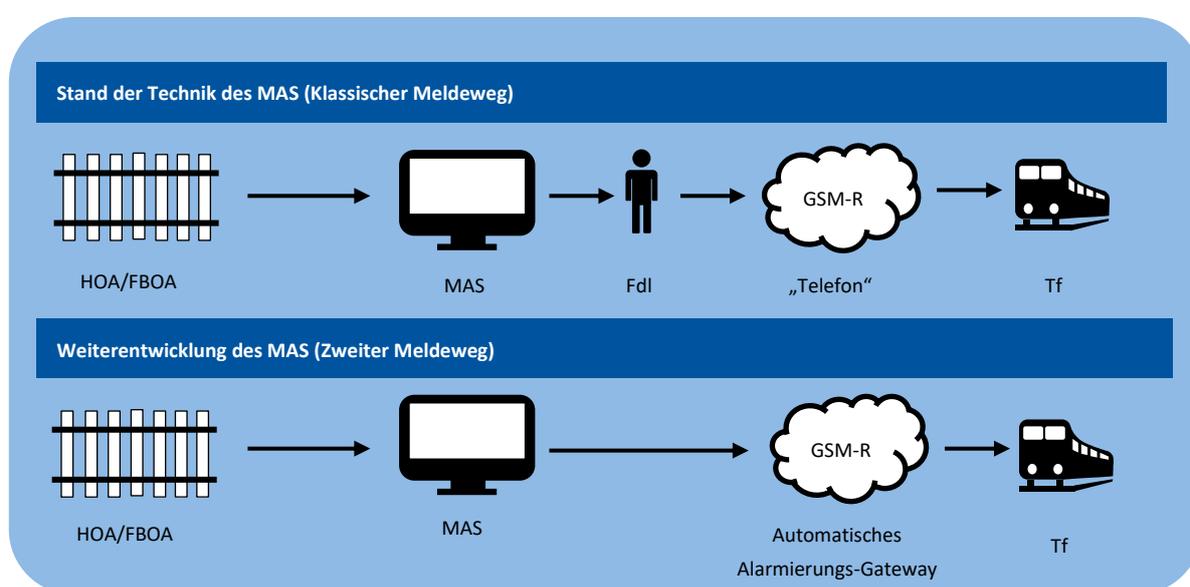


Abbildung 13: Weiterentwicklung des Meldeanlagensystems (MAS) für Heißläufer/feste Bremsen der DB Netz AG (eigene Darstellung in Anlehnung an DB Netz AG / Wolfgang Klein, vgl. [37])

Neben der HOA/FBOA kommt in Deutschland seit 2015 ein streckengebundenes System zur akustischen Radlagermessung zum Einsatz (Trackside Acoustic Detection System). Die von voestalpine SIGNALING Siershahn GmbH seit den 1990er Jahren entwickelte Technologie wurde in Deutschland an bislang drei Standorten installiert (Stand 2018) und überwacht die ICE 3-Flotte der DB Fernverkehr AG. Schäden an eindeutig per RFID identifizierbaren Fahrzeugen werden mithilfe des Systems frühzeitiger als bisher festgestellt, sodass sich Planungsvorlaufzeiten für Reparaturmaßnahmen verlängern und diese zeitlich besser koordiniert werden können [50].

Vergleichsweise innovative Systeme zur Ortung von Heißläufern bzw. festsitzenden Bremsen existieren auch im Ausland, etwa in Finnland. Dort wurde unter Federführung des finnischen EIU Liikennevirasto seit 2006 ein streckenseitiges Zugüberwachungssystem verbaut, um das Risiko für Entgleisungen schadhafter Schienenfahrzeuge zu verringern. In Ergänzung zur deutschen HOA/FBOA wurden bis 2017 zudem zwölf Standorte mit einer automatischen Stromabnehmerüberwachung (Automatic Pantograph Monitoring System, APMS) des schwedischen Herstellers Sensys Traffic ausgestattet. Das Kamera-, Radar- und RFID-gestützte System detektiert defekte Stromabnehmer am Triebfahrzeug in Echtzeit. Tf werden im Schadensfall per Funk dazu aufgefordert, den Stromabnehmer zu senken und, falls vorhanden, den zweiten Stromabnehmer zu nutzen [51].

Eine in Österreich installierte „Checkpoint-Lösung“ detektiert an 267 Standorten u. a. Heißläufer, feste Bremsen, Flachstellen an den Radlaufflächen, eine Überschreitung zulässiger Achslasten, Lademaßüberschreitungen sowie Entgleisungen. Das im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG durch die voestalpine SIGNALING Siershahn GmbH entwickelte System wird bereits seit 2003 kontinuierlich um neue Funktionen und verbesserte Detektionsmechanismen erweitert [52].

Das durch das BMVI aktuell geförderte Projekt „Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes“ (ZuG, Laufzeit: 2017-2020) dient nicht der Überwachung von Tfz und Wagen, sondern der Detektion sich abzeichnender Gefährdungen aus dem Gleisumfeld, z. B. infolge von Veränderungen streckennaher Bauwerke oder der Vegetation. Daneben soll die Instandhaltungsplanung verbessert werden. Installierte Kamerasysteme am Tfz sollen die Gleisumgebung aufnehmen, anschließend ermöglicht der automatisierte Vergleich zurückliegender und aktueller Aufnahmen die Detektion kurzfristiger und auch geringfügiger Veränderungen des Umfeldes (Abbildung 14). Auf erkannte Gefährdungspotenziale kann umgehend reagiert werden, zudem erfolgt die Identifikation im Regelfall verlässlicher als auf Basis des derzeit praktizierten Meldeverfahrens durch den Tf. Die praktische Erprobung der Kameraerfassung und der digitalen Auswertung großer Datenmengen erfolgen durch das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS), den Lehrstuhl für Schienenfahrzeugtechnik der Universität Stuttgart und im Rahmen einer Kooperation mit der DB Regio Netz GmbH [53].



Abbildung 14: Beispieldarstellung von Veränderungen entlang einer Bahntrasse im Projekt „Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes“ (ZuG)  
(Universität Stuttgart / Timo Strobel [53])

Ein in Teilbereichen vergleichbares Projekt wird derzeit in Finnland vollzogen. Im Auftrag der finnischen Eisenbahn hat das Unternehmen VR Track ein kamerabasiertes System zur automatischen Erkennung von Eisenbahnsignalen und Geschwindigkeitstafeln entwickelt. Im Vorfeld wurde in einem empirisch angelegten Versuch untersucht, wie zuverlässig und mit welcher Reaktionsgeschwindigkeit entsprechende Signale und Tafeln von Menschen bzw. dem Computer erkannt werden. Das computergestützte Erkennen erwies sich dabei als wesentlich genauer. Eine reguläre Anwendung des Systems zur Unterstützung des Tf ist derzeit nicht geplant. Die automatische Bilderkennung und –auswertung dient jedoch Instandhaltungsprozessen [54].

### Projekte im Bereich der kontinuierlichen Gleisüberwachung

Projekte der automatisierten Integritätsprüfung von Zügen werden vor allem durch die LST-Industrie sowie durch bestimmte EIU vorangetrieben. Durch eine ständige Zugortung und Zugvollständigkeitsüberprüfung über eine digitale, fahrzeugseitig installierte Technik könnte auf die kostenintensive Vorhaltung ortsfester Infrastruktur zur Gleisfreimeldung bzw. Zugvollständigkeitskontrolle (z. B. Achszähler

bzw. Gleisstromkreise) bei mindestens gleichbleibender Sicherheit verzichtet werden. Die Entwicklung fahrzeugseitig installierter Systeme zur exakten satellitengestützten Positionsbestimmung von Tzf und Wagen könnte einen Lösungsweg darstellen. In einem weiteren Schritt wäre eine kostengünstigere Realisierung kontinuierlich wirkender Zugbeeinflussungssysteme und somit eine beschleunigte Ablösung punktförmiger Systeme denkbar, wie sie derzeit mit dem European Train Control System (ETCS) ab Level 2 verfolgt wird. Positive Effekte würden sich durch eine Steigerung der Streckenleistungsfähigkeit, aber auch den Wegfall von Teilarbeiten des Tf bei der Bedienung eines PZB-Systems und ein höheres Sicherheitsniveau im Vergleich zu punktförmig wirkenden Zugbeeinflussungssystemen ergeben.

Trotz der nachfolgend genannten, teilweise abgeschlossenen Forschungsprojekte wurde die satellitengestützte Ortung im Eisenbahnwesen bislang nicht implementiert. Ein wesentliches Problem stellt der noch fehlende Sicherheitsnachweis existierender Sensor- und Ortungstechnologie dar. Die hohen Sicherheitsanforderungen des Schienenverkehrs erfordern bspw. mehrere Rückfallebenen, etwa durch die Kombination mehrerer Sensortechnologien, und die Nutzung sicherer Rechner sowie Datenübertragungstechnologien [55; 56].

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) verfolgt gemeinsam mit weiteren Projektpartnern – u. a. mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen sowie dem Institut für Regelungstechnik an der RWTH Aachen – in einem vom BMWi geförderten Forschungsprojekt „Galileo Online: Go!“ (Laufzeit: 2015-2018) die Zielsetzung, eine technisch sichere Lösung für die gleisgenaue Lokalisierung von Eisenbahnfahrzeugen sowie die permanente Zugvollständigkeitskontrolle zu entwickeln. Dabei werden u. a. Satellitenrohdaten des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo sowie des US-amerikanischen Pendanten NAVSTAR GPS in Kombination mit fahrzeugseitig gewonnenen Sensordaten genutzt (Abbildung 15). Die Projektbearbeiter an der RWTH Aachen verweisen auf zahlreiche vorangegangene Forschungsvorhaben mit ähnlichen Zielsetzungen, z. B. „Galileo Localisation for Railway Operation Innovation“ (GaLoROI, Laufzeit: 2012-2014), „Train-Satellite“ (3InSat, Laufzeit: 2012-2014), „ERTMS on Satellite“ (ERSAT, Projektbeginn 2015), „Railway High Integrity Navigation Overlay System“ (RHINOS, Laufzeit: 2016-2017) oder „Next Generation Train Control“ (NGTC, Laufzeit: 2013-2016). In Kooperation mit Partnerunternehmen aus der Industrie, u. a. Vodafone oder SCISYS Deutschland GmbH, soll eine prototypisch entwickelte technische Lösung mit standardisierten Schnittstellen entstehen, die zunächst im Testfeld des automatisierten Rangierbetriebs angewendet wird [57].

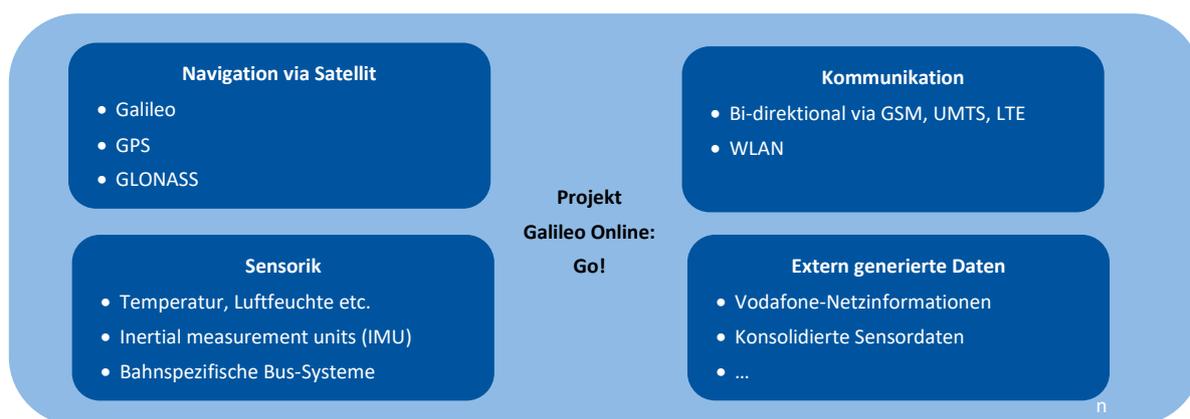


Abbildung 15: Komponenten des GOI-Empfängers im Forschungsprojekt Galileo Online: Go! (eigene Darstellung in Anlehnung an [57])

Auch EVU bzw. EIU sowie die Bahnindustrie betreiben Projekte in den Bereichen digitale Zugortung und Zugvollständigkeitskontrolle. In Großbritannien schlossen sich im Jahr 2016 unter der Leitung des britischen Schienennetzbetreibers Network Rail u. a. die EVU Arriva, Crossrail, Govia Thameslink, Keolis, Stagcoach Group sowie der Technologielieferant Siemens zum Projekt „Digital Railway“ zusammen und

streben eine umfassende Digitalisierungsoffensive im britischen Schienenverkehr an. Zu den Zielvorstellungen des industriegetriebenen Projekts gehören die Einführung von ERTMS bzw. ETCS Level 2 und 3, um eine Führerraumsignalisierung, den Wegfall ortsfester Signale und von Infrastruktur zur Gleisfreimeldung bis hin zum automatischen Zugbetrieb (Automated Train Operation – ATO) zu ermöglichen [58–60]. Im Zuge einer Kooperation der Unternehmen Network Rail, Siemens und Govia Thameslink gelang es im März 2018, im Großraum London eingesetzte Siemens-Triebwagen und die befahrene Infrastruktur für den automatischen Zugbetrieb ATO via ETCS Level 2 zu ertüchtigen [61]. Infolge der Umsetzung des Grade of Automation (GoA) 2 (vgl. Abschnitt 2.2.1.5) reduzieren sich die Aufgaben des Tf auf die Streckenbeobachtung, die Zugabfertigung im Bahnhof und Maßnahmen zur Störungsbeseitigung. Es ist davon auszugehen, dass weitere, vergleichbare Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Rahmen von Digital Railway folgen.

Das EIU SBB betreibt bereits mehrere Eisenbahnstrecken mit ETCS Level 2 und erreichte somit auf Teilstrecken eine Führerraumsignalisierung. Die volle Funktionalität von ETCS wird in Level 2 jedoch nicht ausgereizt und käme erst in Level 3 zum Tragen, nämlich die Möglichkeit der digitalen Zugvollständigkeitsprüfung, der lückenlosen Zugortung und des Wegfalls fester Blockabschnitte im Rahmen des „Moving Blocks“. Ähnlich wie im Projekt „Digital Railway“ lancieren die SBB in Kooperation mit dem EIU Bern-Lötschberg-Simplon (BLS) und weiteren Beteiligten ein Digitalisierungsprojekt „SmartRail 4.0“ (geplante Laufzeit: 2017-2040). Die Einführung von ETCS Level 3 in Verbindung mit ATO ist in der Periode 2025-2040 geplant (Abbildung 16) [62; 63].



Abbildung 16: Meilensteine im SBB-Projekt „SmartRail 4.0“  
(eigene Darstellung in Anlehnung an SBB AG/Martin Messerli [62])

### 2.2.1.2 Papierloser Bahnbetrieb

Mehrere EVU führten in der Vergangenheit Projekte zur Digitalisierung sicherheitsrelevanter und sonstiger Dokumente des Bahnbetriebs durch. Pioniere auf diesem Gebiet waren im Jahr 2013 die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), die ihre Tf mit Tablets der Firma Apple (iPads) ausstatteten. Die mobilen Endgeräte verfügen über die Applikation „Lokpersonal Electronic Assistant“ (LEA), die zudem als Back-End-System entwickelt wurde. Die Applikation LEA enthält u. a. Fahrpläne, Langsamfahrstellen, Regelwerke, Weisungen, Bedienungsanleitungen und Dienstpläne, die zu Dienstbeginn jeweils tagesaktuell synchronisiert werden. Auch eine elektronische Quittierung sicherheitsrelevanter Unterlagen ist möglich. Unterstützt wird zudem das energieeffiziente Fahren mithilfe der so genannten Adaptiven Lenkung (ADL), die – GPS-basiert – Fahrempfehlungen an den Tf ausgibt. Bei einem Ausfall der Tablet-Anwendung dient eine Ersatzanwendung als Rückfallebene, die auf dem Diensthandy auszuführen ist [64].

In Deutschland zeigte sich das Unternehmen DB Fernverkehr AG federführend bei der Einführung mobiler Endgeräte für die Tf-Anwendung. Dort wurden Tf im Jahr 2015 handelsübliche Tablets im Führerraum zur Verfügung gestellt. Ein grundlegendes Ziel der Maßnahme ist es, Papierschnittstellen schrittweise durch digital vorliegende Dokumente zu ersetzen. Im Fokus steht dabei insbesondere die digitale Vorhaltung der „Zusammenstellung der Langsamfahrstellen-Berichtigungen“, die so genannten „Tages-La“, und weiterer relevanter Informationen außerhalb des EBU-La, z. B. Regelwerke, Weisungen und Fahrplanunterlagen [65]. Das Rollout der digitalen La wurde durch eine bereits 2013 weitgehend abgeschlossene Software-Entwicklung „Rail in Motion“ (RiM) der DB-Tochtergesellschaft Systel im Auftrag der EVU DB Cargo, DB Fernverkehr und DB Regio begünstigt. Der Auslöser für die Zusammenarbeit der DB-EVU war die bislang übliche Verteilpraxis der bis zu 150 Seiten starken La-Hefte durch die DB Netz AG (Abbildung 17). Mehrere Nachteile des schriftlichen Dokumentenaustauschs, z. B. lange Vorlaufzeiten für die Druckvorbereitung, ein hoher Personalbedarf für die Verteilung und Entsorgung der Druckerzeugnisse und der zusätzliche Aufwand durch die Bekanntgabe kurzfristiger Langsamfahrstellen (Tages-La), wurden beseitigt. Nach DB-Angaben können La-Änderungen nun bis zum Nachmittag umgesetzt werden, wenn eine digitale La-Verteilung ab 21 Uhr desselben Tages geplant ist [66].

Die Tablet-basierte La-Anzeige wurde bei DB-Fernverkehr und weiteren DB-EVU in den Jahren 2014/15 im Pilotbetrieb erprobt, wobei zunächst Schriftdokumente als Rückfallebene zur Verfügung standen (Abbildung 17). Nach der erfolgreichen DB-internen Einführung wurde die digitale Tages-La zum Stichtag 11.12.2016 allen EVU über ein Kundenportal verfügbar gemacht; zum Fahrplanwechsel im Dezember 2017 wurde die über Trassenentgelte finanzierte Verteilung gedruckter La eingestellt und der Erwerb von La-Druckerzeugnissen zur entgeltspflichtigen Nebenleistung erklärt.

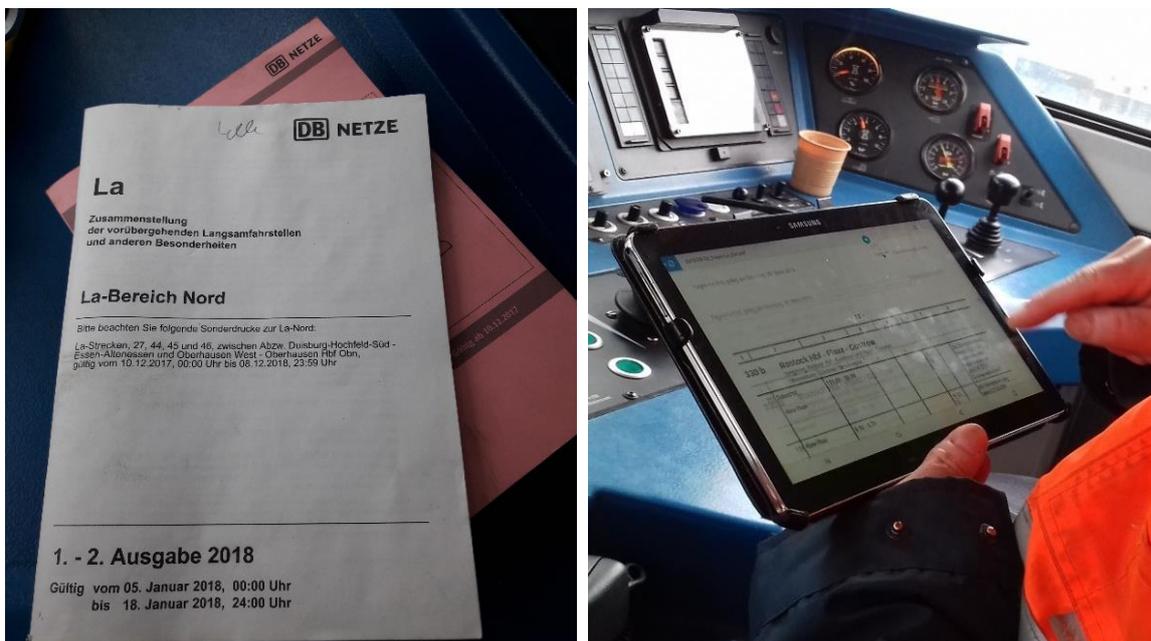


Abbildung 17: Druckfassung der La-Zusammenstellung (links) und Tablet-Darstellung der digitalen La (rechts) (eigene Darstellung)

Neben der digitalen Anzeige von Tages-La's wurde die Plattform „Rail in Motion“ von DB Systel in Kooperation mit den einzelnen EVU des DB-Konzerns um zusätzliche Funktionalitäten erweitert. Per Eingabeformular wird es dem Tf ermöglicht, neben sicherheitsrelevanten Dokumenten auch personen- und fahrtspezifische Informationen auf dem Tablet abzurufen. Die Tablet-Applikation sieht u. a. die nachfolgend aufgelisteten Prozesse vor und erfüllt dabei bestimmte Anforderungen (Tabelle 2).

TABELLE 2: UNTERSTÜTZTE PROZESSE DURCH UND ANFORDERUNGEN AN DIE TABLET-APPLIKATION „RAIL IN MOTION“ (RIM)  
(EIGENE DARSTELLUNG IN ANLEHNUNG AN DB CARGO 2018 [67])

Unterstützte Prozesse	Allgemeine Anforderungen an die Software
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abruf relevanter Regelwerke, Weisungen und Fahrplanunterlagen außerhalb EBUa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kompatibilität mit marktüblichen Tablet-Geräten des Herstellers Samsung und mit dem Google-Betriebssystem Android</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informationen über Schichten und Arbeitsaufträge sowie kurzfristige Änderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verschlüsselte Datenübertragung via WLAN und mobilfunkbasiert per SIM-Karte</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronisches Melden des Tf beim Disponenten durch Anklicken eines Meldebuttons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Datenimport über DB-eigene Dispositionssysteme, z. B. EDITH bei DB Fernverkehr</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronische Arbeitszeiterfassung und Abrechnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Veranlassung des Datenimports nach vorheriger Autorisierung über personalisierten Account bzw. via Sharepoint-Portal</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Voranmeldung von Fahrzeugstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anzeige von PDF- und XML-Dokumenten</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abfrage von Mitarbeitermeinungen zu aktuellen Themen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spezielle Fenstertechnik zur parallelen Anzeige von zwei Dokumenten</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schneller Anzeigenwechsel zwischen Dokumenten</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Setzen von Sprungmarken in Dokumenten zum schnelleren Scrollen</li> </ul>

Rail in Motion wird derzeit DB-weit eingesetzt; die Tochter DB Cargo zählt nach eigenen Angaben ca. 4.500 Anwender. Neben einer erweiterten Funktionalität beschäftigten sich die Projektverantwortlichen zuletzt mit der Verbesserung der Performance der Tablet-Anwendung sowie des Updateverhaltens und mit einer sicherheitskritischen Auslegung der Serverarchitektur. Im Laufe des Jahres 2018 ist DB-intern geplant, Rail in Motion neben Tf und dem Bordpersonal auch Rangierern und Wagenmeistern zur Verfügung zu stellen [67].



Abbildung 18: Tablet-Anwendung „Rail in Motion“ der Deutschen Bahn AG  
(Pressefoto Deutsche Bahn AG / Gert Wagner)

Eine weitere Software-Entwicklung, die sich ebenfalls für die Tablet-Anwendung im Führerraum eignet, gehört zur Produktplattform „DiLoc“ des deutschen Unternehmens CN-Consult. Das Softwaremodul „DiLoc|Sync“ wurde entwickelt, um Dokumente über einen Dokumentenserver synchron an mobile Endgeräte der Tf zu verteilen und dort lokal abzulegen, wobei u. a. folgende Informationen vorgesehen sind (Tabelle 3).

TABELLE 3: ANGEZEIGTE DOKUMENTE DURCH DIE TABLET-APPLIKATION „DILOC|SYNC“ VON CN-CONSULT  
(EIGENE DARSTELLUNG)

#### Angezeigte Dokumente durch die Tablet-Applikation „DiLoc|Sync“

- Betriebsregelwerke
- Dienst- und Schichtpläne
- Langsamfahrstellen, insbesondere Tages-La
- Buch- und Ersatzfahrpläne
- Schriftliche Weisungen, insbesondere im Umgang mit Gefahrgut
- Tfz-Bedienungsanleitungen
- Unternehmensinterne Neuigkeiten, E-Mails, freigegebene Webseiten oder Portale

Das Softwaremodul ermöglicht es, Disponenten eine Lesebestätigung über sicherheitsrelevante Dokumente zur Verfügung zu stellen, sobald diese vom Tf abgerufen wurden. Für Lesebestätigungen und empfangene Dokumente erfolgt eine automatisierte Archivierung. DiLoc|Sync kommt seit der Produkteinführung im Jahr 2010 nach Angaben des Herstellers bei über 50 EVU und mehr als 7.000 Tf zum Einsatz. Seit Februar 2017 besteht zwischen CN-Consult und der DB Regio AG ein Rahmenvertrag, der den regionalen Teilgesellschaften eine Lizenzierung von DiLoc|Sync ermöglicht [68; 69]. Während z. B. die DB Regio Bayern die Tablets von Tf mit DiLoc|Sync ausstattete, verwenden andere Regionen die konzerneigene Tablet-Applikation Rail in Motion.

Die Marktteilnehmer wurden über Branchenverbände, z. B. über das Netzwerk Europäischer Eisenbahnen (NEE), von dem Produkt DiLoc|Sync in Kenntnis gesetzt. Die Verwendung der Software wurde u. a.

aus Gründen der personalintensiven Verteilung von Schriftdokumenten in Tfz-Führerständen beschlossen. Zudem trat besonders im Fall von geliehenen bzw. geleasteten Tfz das Problem auf, dass Koffer mit Schriftdokumenten teilweise fehlten oder unvollständig waren, was zu Beanstandungen durch das EBA führte. Weitere Befragungsergebnisse privater EVU zeigen, dass der Entwicklungsprozess nach der Einführung der Applikation i. d. R. nicht abgeschlossen ist, stattdessen streben EVU individuelle Anpassungen an. Dies betrifft u. a. Nachbearbeitungen an PDF-Dokumenten (z. B. „Abschneiden“ weißer Ränder für eine bessere Skalierbarkeit), das Einfügen von Favoriten-Leisten bzw. Merklisten und von Suchfunktionen sowie die Einführung eines geteilten Bildschirms (bspw. zur parallelen Anzeige von Tages-La und Ersatzfahrplänen) bei gleichzeitiger Sichtbarkeit diverser Tool-Leisten. Eine Umstellung zum papierlosen Dokumentenaustausch setzt daher umfangreiches unternehmensinternes IT-Knowhow oder die Unterstützung durch externe Dienstleister voraus. Ein relativ hoher personeller und finanzieller Aufwand wird somit unvermeidbar, wobei jedoch die Kostenvorteile durch den Wegfall papiergestützter Verfahren überwiegen.

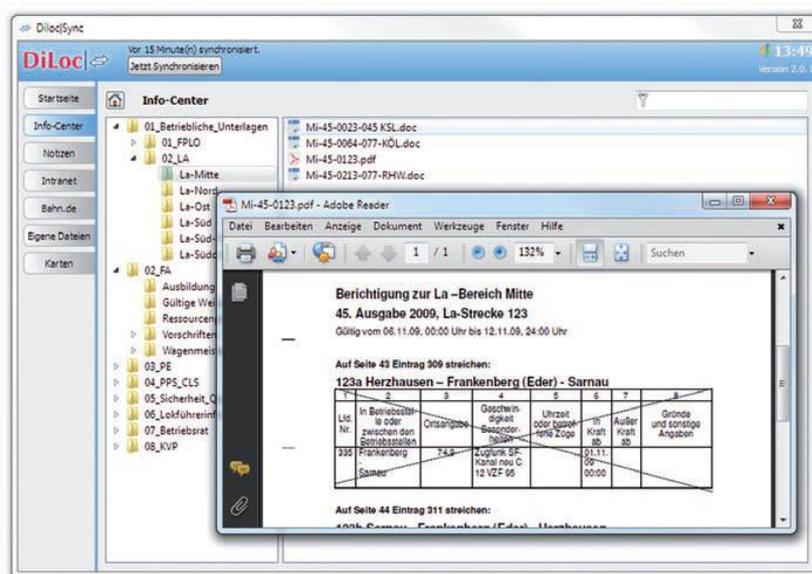


Abbildung 19: Tablet-Anwendung DiLoc|Sync mit beispielhafter La-Anzeige und Datenbank im Hintergrund (CN-Consult [70])

Eine Teilaufgabe des Tf im Rahmen der Vor- und Nachbereitung von Zugfahrten umfasst die Protokollierung von Prüftätigkeiten und -ergebnissen in Tfz-Übergabebüchern sowie die papiergestützte oder (fern-)mündliche Übermittlung von Störungen oder Ausrüstungsmängeln am Tfz und am Zug an die Betriebsführung und das Werkstattpersonal. Die durchgeführten Recherchen ergaben keine Anhaltspunkte für größere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der digitalisierten Protokollierung von Prüftätigkeiten. Aktuelle Projekte im Bereich der vorausschauenden Instandhaltung mithilfe von triebfahrzeugseitig verbauter Sensorik berücksichtigen häufig weder die bis dato durch den Tf ausgeführten Prüftätigkeiten, noch ziehen sie in Betracht, dem Fahrpersonal ausgewählte sensorgestützte Prüfergebnisse mitzuteilen. Grundsätzlich könnten Tf jedoch als zusätzliche Prüfinstanz in den Prozess des CBM einbezogen werden. Aktuelle Bestrebungen im DB-internen Projekt „TechLok“ (vgl. Abschnitt Sicherheits- und instandhaltungsoptimierter Bahnbetrieb) zielen auf eine „Elektronische Schadensmeldung“ (ESM) durch den Tf ab. Nach Auskunft der Projektbeteiligten könnte die als Mensch-Maschine-Schnittstelle geplante Komponente „Schäden, Störungen oder das Fehlen von Ausrüstungsgegenständen bzw. Betriebsstoffen mit einem Schadenscode oder visuell über eine Systemdarstellung der Lok-Komponenten auf dem Monitor im Führerraum in Sekundenschnelle an die Werkstatt vormelden“ [71]. Der Schwerpunkt der weiteren Entwicklung des Systems TechLok wird jedoch auf der sensorgestützten Selbstdiagnose des Fahrzeugs liegen.

Ein weiteres Forschungs- und Entwicklungsprojekt, das im ÖPNV-Umfeld entstand und mittlerweile auch auf Tzf-Führerständen eine Anwendungsreife erlangt hat, wird vom Berliner Unternehmen IVU Traffic Technologies AG betrieben. Neben verschiedenen Busunternehmen nutzt das Schweizer EVU Wynental- und Suhrentalbahn AG (SWB) seit September 2016 als „Pilotkunde“ eine neue Tabletlösung, das so genannte „IVU.pad“ (Abbildung 20) [72]. Im Fokus der Anwendung steht der digitale Informationsaustausch zwischen Disposition und Fahrpersonal, der u. a. nachfolgende Prozesse umfasst (Tabelle 4).



Abbildung 20: Tablet-Anwendung IVU.pad in einem Schienenfahrzeug  
(IVU Traffic Technologies AG)

TABELLE 4: UNTERSTÜTZTE PROZESSE DURCH DIE TABLET-APPLIKATION „IVU.PAD“  
(EIGENE DARSTELLUNG IN ANLEHNUNG AN [72])

#### **Unterstützte Prozesse durch die Tablet-Applikation „IVU.Pad“**

- Anzeige eines Buchfahrplans mit dynamischer Visualisierung von Abfahrtszeiten, Fahrbegriffen, Bremsverhältnissen sowie von Infrastruktur-Informationen in Abhängigkeit des Fahrzeugstandortes
- Erfassung von Wartungsinformationen und von Schäden am Fahrzeug
- Information über kurzfristige Änderungen und Störungen durch den Disponenten
- Verteilung von Dienstanweisungen und elektronische Lesebestätigung
- Eingabe von Urlaubs- und Dienstwünschen in das Dispositionssystem
- Erfassung und Auswertung von Arbeitszeiten, Lohnabrechnung

Nach Angaben von IVU wurde das IVU.pad für den Datenaustausch zwischen Dispositionssystem und Tablet-Anwendung über standardisierte Schnittstellen konzipiert, um eine größtmögliche Flexibilität beim Einsatz in verschiedenen Verkehrsunternehmen zu gewährleisten. Eine Administratoroberfläche gestattet es Disponenten, Dokumente und Nachrichten anhand eigener Kriterien zu verteilen. Werden vom Unternehmen spezifische Softwareanpassungen gewünscht, lassen sich diese nach Angaben von IVU durch die Wahl eines gängigen Programmierstandards (aktuell HTML5) relativ einfach und plattformunabhängig umsetzen [72].

Trotz fortschrittlicher Tablet-Anwendungen und der digitalen Vorhaltung von Dokumenten, etwa dem Verzeichnis von Langsamfahrstellen, Regelwerken oder Formularen zur Schadensmeldung, sind Tf und Rangierpersonale noch immer mit papiergebundenen Verfahren konfrontiert. Dies betrifft etwa die Vorhaltung von Ersatzfahrplänen im Fall eines Ausfalls des EBUa-Bordgerätes, Befehlsvordrucke, Bremszettel oder gar Fahrtenbücher, die bei der Ein- und Ausfahrt in sicherungstechnisch nicht überwachte Rangierbahnhöfe geführt werden müssen. Im Rahmen der Zugabfertigung sind weitere Papierdokumente zu pflegen, etwa Wagenlisten. Wird ein Zugverband neu gebildet, müssen bis heute entsprechende DIN A5-Vordrucke ausgefüllt werden, wobei ein Zugwagen für Wagen vom Wagenmeister bzw. Lokrangierführer abzuschreiben und entsprechende Wagenanschriften abzulesen und zu dokumentieren sind. Es ergeben sich vielfach Herausforderungen, etwa bei der korrekten Notiz der zwölf Ziffern umfassenden Wagennummern oder durch ungünstige Witterungs- und Sichtverhältnisse. In Befragungen sprechen sich Eisenbahnbetriebsleiter (EBL) und erfahrene Tf zum Teil gegen eine digitale Vorhaltung bzw. Eingabe genannter Daten und Prozesse aus. Diese Haltung wird weniger mit fehlenden technischen Möglichkeiten, sondern Sicherheitsabwägungen begründet. Eine handschriftliche Notiz würde ein Sicherheitsmerkmal darstellen, da visuell oder auditiv gewonnene Informationen nicht nur passiv verarbeitet, sondern aktiv per Schreibebewegung umgesetzt werden müssten. Offensichtliche Fehler, z. B. Zahlendreher oder missverständlich ausgedrückte Anweisungen, würden somit eher bemerkt und korrigiert werden. Auf der anderen Seite stehen technisch anwendbare Lösungsvorschläge, z. B. QR-Codes (QR für Quick Response). Per QR-Code-Scanner könnten etwa Wagenanschriften gescannt und in einem digitalen Bahnwagenmanagementsystem vorgehalten werden [73].

### 2.2.1.3 Energie- und kapazitätsoptimierter Bahnbetrieb

Fahrerassistenzsysteme auf Tfz (FAS) ermöglichen in erster Linie eine Unterstützung des Tf bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen mit dem Ziel, den Energieverbrauch und Verschleiß zu verringern. Weiterhin ergeben sich für Schieneninfrastrukturbetreiber Vorteile, da bei entsprechend hochentwickelten Assistenzsystemen eine Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit, v. a. durch die Angleichung von Fahrgeschwindigkeiten und der Bremsvorgänge, möglich ist. Dies setzt eine optimale Vernetzung auf Train-to-Train- sowie Train-to-Dispatcher-Ebene voraus, die auch für eine Vollautomatisierung von Bahnen notwendig wäre. Befragte EVU geben zu bedenken, dass eine energie- und kapazitätsoptimierende Wirkung von Assistenzsystemen eine möglichst flächendeckende fahrzeugseitige Ausrüstung, aber auch eine Reduktion der Handlungsfreiheit auf Seiten des Fdl voraussetzt. Sie führen z. B. an, dass Signalhalte ohne betriebliche Notwendigkeit, z. B. durch eine nachlässige Fahrdienstleitung, auszuschließen wären. Ein durch Fdl initiiertes „Freifahren“ betrieblich selten genutzter Weichen und Gleise durch Güterzüge, etwa zur Vermeidung von Korrosion bzw. Schäden an der Gleisfreimeldetechnik, müsse ebenfalls entfallen, um Güterzüge nicht unnötig zu verlangsamen und wieder zu beschleunigen.

Mit der bereits Anfang der 2000er Jahre bei der DB AG vorgenommenen Einführung des EBUa entstand neben der digitalen Fahrplananzeige ein erstes serienmäßig eingesetztes FAS im Schienenpersonennah- und Fernverkehr, das energieeffizientes Fahren unterstützt (Abbildung 21). Die Entwicklung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover und einem DB-Tochterunternehmen TLC GmbH. Auf der Basis eines hinterlegten Fahrplans, einer kontinuierlichen Zugortung sowie fahrdynamischer Berechnungen des zurückzulegenden Fahrweges empfiehlt das in EBUa integrierte Modul „Energiesparende Fahrweise“ (ESF) den optimalen Zeitpunkt zur Leistungsrücknahme mit dem Ziel, ein Ausrollen des Zuges bis zum nächsten Bahnhof zu ermöglichen. Dem Tf steht es frei, die Empfehlungen zu befolgen [74]. Da die ESF-Software auf Fahrplandaten des EBUa-Systems zurückgreift, dieses jedoch bis in die Gegenwart keine tagesaktuelle Signalisierung von Langsamfahrstellen (La) zulässt, ist davon auszugehen, dass die Zuverlässigkeit der berechneten Fahrempfehlungen im Regelbetrieb entsprechend der Datenverfügbarkeit variiert. Auf einzelnen ICE-Linien konnte infolge des Einsatzes von ESF ein Energieeinsparpotenzial von 5 % nachgewiesen werden [75].

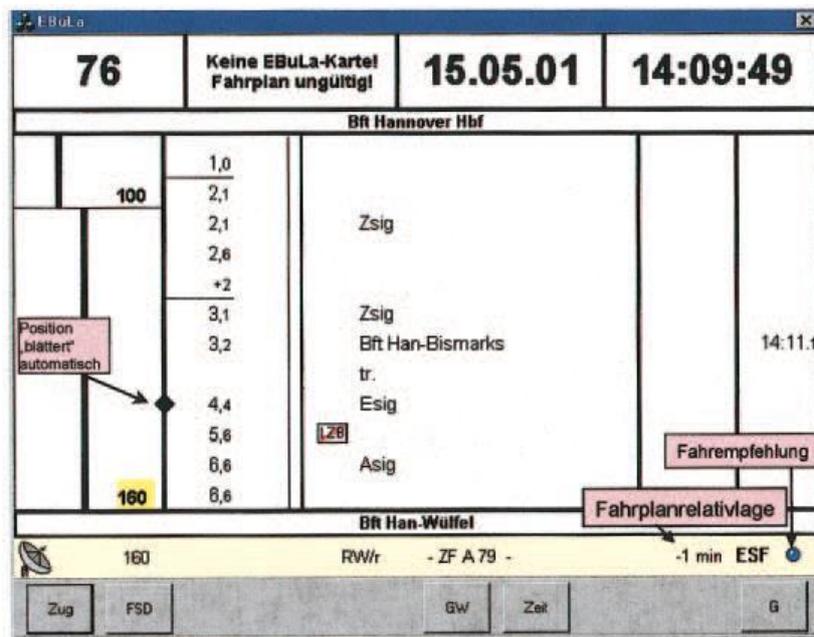


Abbildung 21: Elektronische Anzeige des Buchfahrplans mit ESF-LM am unteren Bildrand (Sanftleben, Sonntag & Weber / Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 2001 [74])

Der Schienenpersonennahverkehr (SPNV) in Deutschland wird durch eine wachsende Zahl privater, d. h. nicht zum DB-Konzern gehörender EVU abgewickelt. Nicht repräsentative Befragungen durch die Projektbearbeiter ergaben, dass private EVU häufig aus wirtschaftlichen Gründen auf das von der DB entwickelte EBU-La-System und damit auch das ESF-Modul verzichten. Stattdessen kommen nach wie vor gedruckte Buchfahrpläne zum Einsatz, wie sie auch im Güterverkehr noch üblich sind. Einige Tzf-Hersteller sowie IT-Dienstleister entwickeln daher Assistenzsysteme zur energieeffizienten Zugsteuerung, die zukünftig insbesondere bei privaten EVU Anwendung finden könnten. Einer 2017 abgeschlossenen Marktuntersuchung im Auftrag des Interessenverbands Allianz pro Schiene zufolge existieren derzeit mindestens 13 FAS zur Reduktion des Energieverbrauchs, die jedoch nur teilweise im Regelbetrieb angewendet werden [76].

Ein Beispiel ist das von den Firmen ETC und Inavet hervorgebrachte System „smartrain.das“, welches bei den privaten EVU cantus, nordbahn und agilis im Jahr 2017 prototypisch erprobt und anschließend ausgerollt wurde (Abbildung 22). Das System eignet sich für die Anwendung auf mobilen Endgeräten (Tablets/Smartphones) und benötigt keine Schnittstellen zur Fahrzeugtechnik, sondern greift auf ein Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL) zu. Eine Zulassung durch das EBA entfällt, sodass eine relativ kostengünstige Implementierung gegeben ist. Im RBL hinterlegte, tagesaktuelle Fahrplaninformationen werden an eine mobile Komponente, smartrains.mobile, übermittelt, anschließend erfolgt die Berechnung und Visualisierung eines möglichst energieeffizienten Fahrtverlaufs zwischen Haltestellen. Die hinterlegten Algorithmen berücksichtigen Streckenparameter – z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeiten, Halte- und Bahnsteigpositionen oder Gradienten – sowie Fahrzeugdaten. Nach Angaben der Entwickler des Systems passt sich smartrain.das dynamisch an, wenn Fahrpläne verspätet abgefahren werden. Der Abbau geringer Verspätungen wird z. B. nicht zwangsläufig beim nächsten Halt, sondern erst bis zum Erreichen wichtiger Knotenpunkte forciert. Die entscheidende Anzeige für den Tf, „Leistung abschalten!“, wird als Pop-Up-Anzeige auf dem mobilen Endgerät eingeblendet und signalisiert dem Tf den optimalen Umschaltzeitpunkt zwischen Antrieb und Ausrollenlassen des Tzf. Die Systementwickler geben an, dass mithilfe von FAS je nach Einsatz- und Rahmenbedingungen Energieeinsparungen von 5 bis 15 % möglich sind [77].

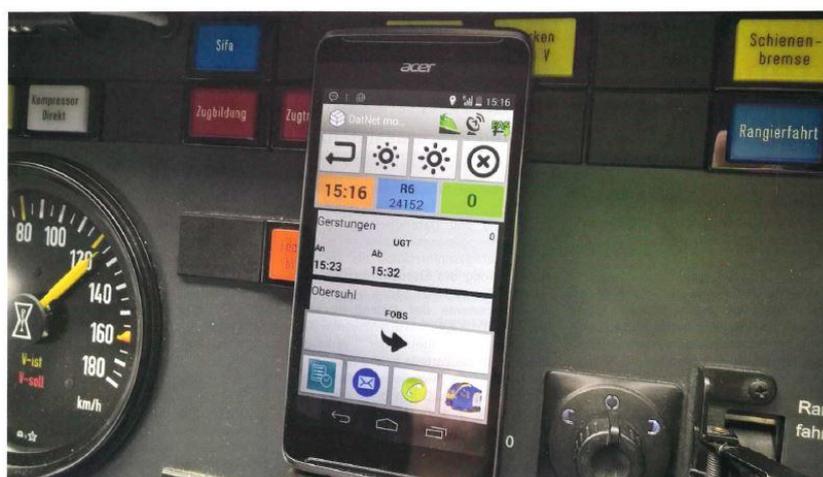


Abbildung 22: Smartphone-Anwendung „smartrain.das“ in einem Schienenfahrzeug (INAVET GmbH / Der Eisenbahningenieur (EI) 2017 [77])

In Deutschland betreibt die DB aktuell insbesondere im Schienengüterverkehr Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der FAS auf Tzf. In Zusammenarbeit mit der Knorr-Bremse AG setzt DB Cargo seit Herbst 2016 das System „Locomotive Engineer Assist Display and Event Recorder“, kurz LEADER, auf Elektrolokomotiven der BR 145, 152 und 185 ein. Die Entwicklung des Systems geht auf den US-amerikanischen Hersteller von Druckluftbremsen, New York Air Brake (NYAB), zurück, der bereits im Jahr 2010 erste Diesellokomotiven in den USA hiermit ausrüstete. Die US-amerikanische Bahngesellschaft Norfolk Southern zählte 2015 bereits 1.770 mit LEADER ausgerüstete Diesellokomotiven im Bestand. Nach Angaben der Güterbahn werden durchschnittlich 5 % Dieseltreibstoff je Zugfahrt eingespart [78]. LEADER stellt dem Tf über eine zusätzliche Anzeige im Führerraum strecken- und zugbezogene Informationen zur Verfügung, um im Unterschied zum System ESF nicht nur ein energiesparendes, sondern zudem ein verschleißoptimiertes Fahren von Güterzügen zu unterstützen (Abbildung 23). Zur Berechnung von Fahrempfehlungen werden streckenbezogen vorliegende Steigungen und Kurvenradien des zu befahrenden Abschnittes, Geschwindigkeitsbegrenzungen und zu erwartende Signalbegriffe verwendet. Fahrzeugseitig werden u. a. Zuglängskräfte oder der Verlauf des Bremsdrucks ausgewertet. Ein GPS-Empfänger, der im LEADER-Bordgerät verbaut ist, dient der Lokalisierung des Tzf. Nach Angaben des DB-Kooperationspartners Knorr-Bremse, Muttergesellschaft von NYAB, lässt das LEADER-Bordgerät die Realisierung zusätzlicher Funktionen zu, etwa eine Übertragung des Fahrzeugzustands an die Werkstatt [79]. Aussagen von DB-Cargo zufolge hat das FAS LEADER in Testläufen Energieeinsparungen von bis zu 12 % ermöglicht [80].

Aktuellen Informationen der DB Cargo zufolge ist eine Weiterentwicklung des FAS im Zeitraum 2018 bis 2020 geplant. Bislang berücksichtigen Fahrempfehlungen weder Live-Daten vorausfahrender oder nachfolgender Züge, noch reagieren diese auf tagesaktuelle Änderungen des Fahrplans. Zur Optimierung des Systems wurde bereits eine Kooperation mit dem EIU DB Netz angestrebt. Das EIU könnte optimale Fahrgeschwindigkeiten auf einer Strecke an das EVU übermitteln (entspricht einem Driver Advisory System-Central, kurz DAS-C), während das DAS-O an Bord des Tzf (Driver Advisory System-Onboard) optimale Zeitkorridore zur Erreichung eines bestimmten Streckenpunktes berechnet und dem Tf per LEADER-Displayanzeige mitteilt [81]. Die Vernetzung der Systeme im Führerraum mit den Betriebszentralen projektiert die DB Netz in einem eigenen Projekt „Zuglaufregelung“ (ZLR). In einem Vorgängerprojekt „FreeFloat“ wurde bereits eine prototypische ZLR getestet; die vollständige Umsetzung der ZLR-Funktion im Regelbetrieb wird jedoch nach Angaben des EIU nicht vor 2022 erfolgen. Teilfunktionen des energieeffizienten Bahnbetriebs werden durch die DB Netz AG unter dem Begriff „Grüne Funktionen der Zuglaufregelung“ seit dem 1. Juni 2018 EVU in Form von gebührenpflichtigen Daten zur Verfügung

gestellt. EVU, die über entsprechende Anzeigen im Führerraum verfügen (z. B. LEADER), können die Daten nutzen, um Fahrempfehlungen entsprechend der aktuellen Betriebslage zu präzisieren [82].



Abbildung 23: FAS „LEADER“ der Deutschen Bahn AG  
(Pressefoto DB AG / Kiên Hoàng Lê)

Auch das EIU SBB AG betreibt in Kooperation mit der BLS AG seit dem Jahr 2015 Forschungen zum energiesparenden S-Bahn-Betrieb. Es wurden zwei tabletbasierte FAS – „Energymiser“ des australischen Unternehmens TTG und das in Dänemark durch die Firma Cubris entwickelte „GreenSpeed“ – im Realbetrieb getestet. Die Funktionsweise der GPS-gestützten Systeme sieht eine Reduktion von Geschwindigkeiten und das frühzeitige Ausrollen vor Halt zeigenden Signalen bzw. Fahrplanhalten vor. Als Randbedingungen mussten Fahrplanzeiten an wichtigen Fixpunkten (u. a. Knotenbahnhöfe) eingehalten werden, an übrigen Betriebspunkten wurde eine geringe Fahrplanabweichung (+/- 30 Sekunden) toleriert. Durch eine Protokollierung der Fahrten konnte überprüft werden, ob dynamische Fahrempfehlungen von Testlokfürhern umgesetzt worden waren. Die Evaluation der assistierten Testfahrten ergab, dass im Vergleich zu den Kontrollfahrten ohne FAS zwischen 8,8 und 16,2 Prozent Traktionsenergie eingespart werden konnte. Die Testlokfürhern bewerteten die Fahrempfehlungen als hilfreich [83].

Trotz der relativ großen Zahl unterschiedlicher Entwicklungsansätze bei energieeffizienten FAS kommen diese nur in etwa 15 % der in Deutschland eingesetzten Schienenfahrzeuge zum Einsatz, wie eine Erhebung durch Allianz pro Schiene ergab [84]. Vielfältige Hürden erschweren die Einführung, etwa der fehlende kostenfreie Zugriff auf aktuelle Infrastrukturdaten durch Netzbetreiber, uneinheitliche Schnittstellen und Datenformate zwischen unterschiedlichen Herstellern bzw. eine generelle Inkompatibilität sowie bestehende Vorbehalte der Tf gegenüber der neuartigen Technik [84]. Bordeigene Systeme realisieren derzeit nur indirekt die kapazitätssteigernden Potenziale des optimierten Fahrens – etwa durch die frühzeitige Berücksichtigung von Signalbegriffen. Eine direkte Interaktion zwischen der Dispositionsebene und Tf oder zwischen hintereinander verkehrenden Zügen wurde hingegen noch nicht realisiert.

#### 2.2.1.4 Technisch harmonisierter Bahnbetrieb

Neben der Beobachtung von Außensignalen und der zu befahrenden Strecke leiten sich Tätigkeiten des Tf maßgeblich aus der Beobachtung von Führerraumanzeigen im Tzf ab. Besondere Relevanz besitzen hier v. a. die in Abbildung 24 visualisierten Informationen.



Abbildung 24: Führerraumanzeigen und Informationen im Tfz am Beispiel des ICE 4 (BR 412)  
(Verändert nach Deutsche Bahn AG / Volker Emersleben)

Erste Bemühungen zur Vereinheitlichung von Bedienelementen und Anzeigen in Führerständen erfolgten in Deutschland im Rahmen des DB-eigenen Projekts „integrierter Führerraum“ (umgangssprachlich Einheitsführerstand), der anschließend u. a. in den DB-Tfz der BR 111, 120 und 401 (ICE 1) zur Anwendung kam. Digitale Führerraumanzeigen waren im integrierten Führerraum mit der Ausnahme des Digitalfunks noch nicht vorgesehen [85]. Aktuellere EU-geförderte Forschungsprojekte zielen auf eine europaweite Standardisierung des Führertisches und der heute üblichen digitalen Anzeigen ab. Trotz erheblicher Fortschritte bei digitalen Anzeigemöglichkeiten werden einige Statusmeldungen und grundlegende Informationen im Führerraum jedoch bis heute mithilfe klassischer Anzeigetechnologien realisiert (z. B. via Druckmesser oder LM).

Im Zeitraum 1999-2003 initiierte die EU im Rahmen des 5. Rahmenprogramms für Forschung und Technologie und Entwicklung das Vorhaben „European Driver’s Desk“ (EUDD) als europaweite Forschungsoperation zwischen Tfz-Herstellern, Forschungseinrichtungen und Bahnbetreibern. Ziel war es, national unterschiedliche Führertische in Tfz zu standardisieren, um Interoperabilitätsbarrieren im grenzüberschreitenden Schienenverkehr zu verringern und zu einer allgemeinen Erhöhung der Sicherheit des Bahnbetriebs und des Bedienkomforts beizutragen. Unter der Federführung von Bombardier Design sowie Siemens entstanden unterschiedliche Entwürfe, die in den Jahren 2002/2003 in Demonstratoren (Mock-ups) realitätsnah erprobt wurden. Die Demonstratoren standen dabei Tfz aus verschiedenen europäischen Staaten zu Testzwecken der Funktionalität, der mentalen Beanspruchung und der Gebrauchstauglichkeit zur Verfügung. Der EUDD wurde anschließend von verschiedenen Tfz-Herstellern umgesetzt [86; 87]. Die Fortsetzung des EUDD-Projekts unter dem Namen „Innovative Modular Vehicle Concepts for an Integrated European Railway System MODTRAIN/EUCAB“ in den Jahren 2004-2008 ermöglichte die Entwicklung einer weiteren Führerraumkabine [88; 89]. Das jüngste Folgeprojekt „EUDDplus“ konnte auf diesen Erkenntnissen aufbauen und beinhaltete die Integration eines EUDDplus-Führertisches in das Mehrsystem-Tfz Alstom PRIMA II im Jahr 2009 [90; 91]. Die optimierte Anordnung der Bedienelemente und Anzeigen wurden u. a. in den betrieblichen Spezifikationen zur Gestaltung des Arbeitsplatzes für Tfz (UIC-Merkblatt 612-0) [92] sowie in der DIN EN zur Gestaltung von Führerraumanzeigen (DIN EN 16186-3) [93] festgeschrieben.

Im EUDDplus-Führerraum sind vier standardisierte digitale Anzeigen bzw. Führerraumdisplays, so genannte Driver-Machine-Interfaces (DMI), vorgesehen. Die Bedienung der Anzeigen erfolgt über Tasten (so genannte Hardkeys), die um das Display herum angeordnet sind [93]. In Abbildung 25 werden die Funktionen der vier DMI aufgelistet, wobei die gewählte Reihenfolge in Leserichtung der realisierten Anordnung im Führertisch von links nach rechts entspricht (Abbildung 26).

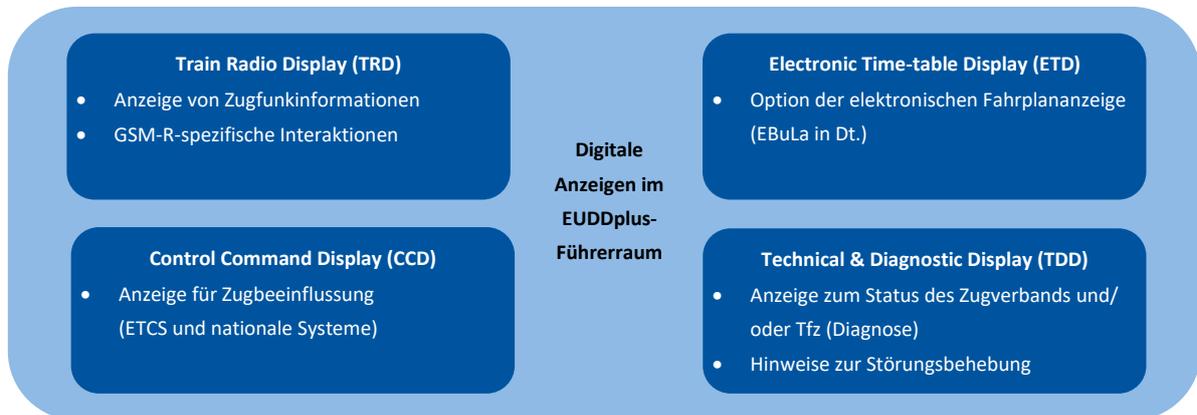


Abbildung 25: Standardisierte Anzeigeeinheiten (DMI) im EUDDplus-Führerraumkonzept (eigene Darstellung)

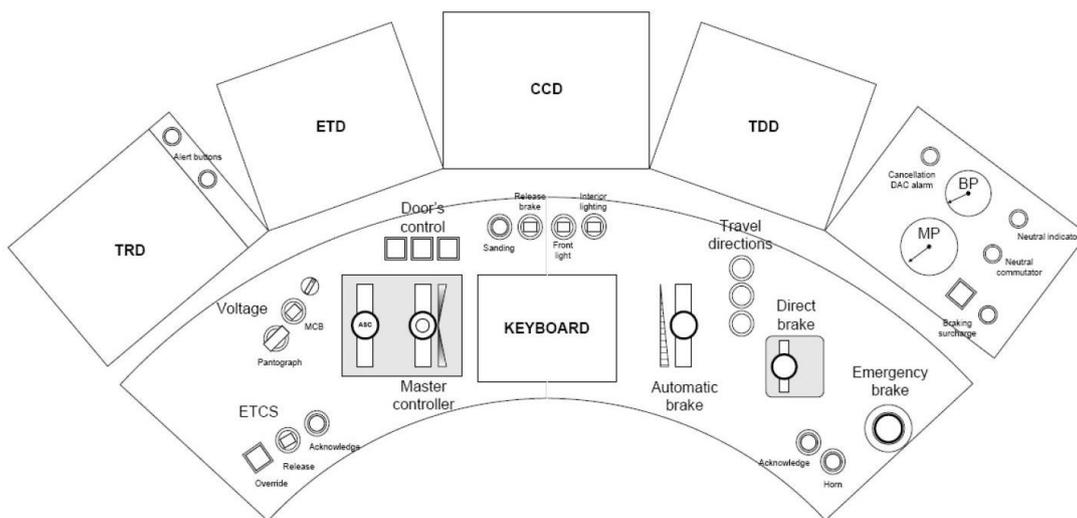


Abbildung 26: Display-Anordnung gemäß European Driver's Desk plus-Konzept (EUDDplus) (TSB Innovationsagentur Berlin GmbH [91])

Es kann festgestellt werden, dass die Funktionalitäten des TRD und ETD in Deutschland bereits in vorangegangenen Tfz-Generationen mithilfe der digitalen Anzeigeräte GSM-R und EBuLa umgesetzt wurden; die Entwicklungen stellen jedoch eine europaweite Harmonisierung und Optimierung der DMI dar. Eine Neuerung im Vergleich zu vielen älteren Bestandsfahrzeugen ist hingegen das CCD. Das zentral im unmittelbaren Blickfeld des Tf angeordnete Display kann für alle nationalen Sicherungssysteme genutzt werden, sofern diese ein Specific Transmission Module (STM) nutzen. Sind nationale Sicherungssysteme nicht per STM umsetzbar, ist hingegen nach wie vor ein zusätzliches Display notwendig, das nach Angaben der Entwickler ergonomisch nur schwierig im optimierten EUDDplus-Führerraum zu integrieren wäre [90]. Umfangreiche, im Rahmen des EUDDplus-Projektes durchgeführte Blickbewegungsanalysen bestätigten die Bedeutung des CCD. Bei Fahrten mit Außensignalisierung wurde das CCD durchschnittlich

lich 26 % der Gesamtzeit beobachtet (Strecke: 40,5 %, ETD 14,1 %). Bei Fahrten unter ETCS-Überwachung bzw. Führerraumsignalisierung stieg die Beobachtungszeit des CCD auf 39,4 % (Strecke: 36,3 %, ETD 8,5 %) (Abbildung 27 und [90]).



Abbildung 27: Blickbewegungsanalysen im EUIDplus während eines Beschleunigungsablaufes mit ETCS (TSB Innovationsagentur Berlin GmbH [91])

Die überwiegend mithilfe von Hardkeys, d. h. ohne Touch-Funktion zu bedienenden DMI im Tfz-Führerraum könnten zukünftig durch modernere Lösungen ersetzt werden. Wie in nachfolgenden Abschnitten noch auszuführen ist, verfügen die z. T. auf jahrzehntealte Entwicklungen basierenden Führerraumdisplays über unzureichende Schnittstellen für den flexiblen Datenaustausch. Zudem wünschen einzelne EVU ein fünftes Führerraumdisplay für eine individuelle Fahrplananzeige und die Anzeige zusätzlicher betrieblicher Dokumente. Außerdem wird die Umsetzung hochauflösender Touchscreens und reaktionsschneller Anzeigen gefordert. Eine mögliche Anordnung solcher Anzeigegeräte präsentiert der deutsche Schienenfahrzeugzulieferer Schaltbau GmbH unter dem Produktnamen „IntelliDesk 2.0“ (Abbildung 28). Das neuartige Design der montierten Geräte und Systeme erfüllt nach Unternehmensangaben die Vorgaben nach UIC 612. Eine vollständige Implementierung des Führerpults in einem Schienenfahrzeug gelang bislang noch nicht [94].



Abbildung 28: Fahrpultkonzept „IntelliDesk 2.0“ des Herstellers Schaltbau GmbH (Schaltbau GmbH [94])

Die in den 1990er Jahren begonnene Entwicklung und Umsetzung eines einheitlichen europäischen Zugbeeinflussungssystems (European Train Control System – ETCS) verzeichnete in den letzten Jahren deutliche Fortschritte. Im Januar 2012 legte die EU-Kommission mit dem Beschluss der Technischen Spezifikation für die Interoperabilität „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ (TSI ZSS) eine ETCS-Ausrüstungsverpflichtung für Eisenbahnfahrzeuge fest, die ab 1. Januar 2015 in Betrieb genommen worden waren [95]. Seit wenigen Jahren wird auf ausgewählten Eisenbahnstrecken eine ETCS-Führerraumsignalisierung im Rahmen von ETCS-Level 2 (teilweise auch in Level 1 in der Betriebsart FS) realisiert. Dies hat zur Folge, dass die Bedeutung der Strecken- und Signalbeobachtung als Teilaufgabe des Tf einen geringeren Stellenwert zugunsten einer Beobachtung digitaler Anzeige- und Bedienelemente im Führerraum einnimmt. Im Zuge eines weitgehend automatisierten, ETCS-geführten Zugbetriebes ähnlich der LZB ist es denkbar, dass das Vorhandensein von Streckenkunde sowie baureihenspezifisch erworbener Kenntnisse zukünftig nicht länger verpflichtende Voraussetzungen der Tf-Tätigkeit sind.

Aktuellere Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich der triebfahrzeugseitigen Implementierung von ETCS beschäftigen sich u. a. mit der Frage, wie die bereits erwähnten Specific Transmission Modules (STM) rascher und kostengünstiger auch in Bestandsfahrzeuge integriert werden könnten, um von der ETCS-Funktionalität zu profitieren und Informationen des Zugbeeinflussungssystems oder von Sicherungssystemen in einem Display zu integrieren. Ein solches Projekt führte etwa der LST-Hersteller Thales in Kooperation mit dem Schienenfahrzeughersteller Škoda in den Jahren 2009-2010 durch. Es wurden aus den 1970er Jahren stammende Lokomotiven, aber auch moderne Zuggarnituren mit ETCS-Bordgeräten ausgestattet. Jedoch war aus wirtschaftlichen Gründen im Fall der älteren Lokomotiven eine komplette Integration des bestehenden slowakischen Zugsicherungssystems MIREL in ETCS nicht möglich. Stattdessen gelang es, die MIREL-Geschwindigkeitsanzeige am ETCS-DMI zu realisieren, während auf das MIREL-System (Fahrzeugrechner) nicht verzichtet werden konnte. Dieses koexistiert nunmehr neben dem ETCS-European Vital Computer (EVC) weiter. Im Fall der ETCS-Nachrüstung der neueren Zuggarnituren entschieden sich die Projektverantwortlichen dafür, die MIREL- und ETCS-Anzeigen in paralleler Weise beizubehalten, um zu gewährleisten, dass MIREL bei einem Ausfall des ETCS-Fahrzeuggeräts als Rückfallebene fungieren kann [96]. Die Beispiele zeigen, dass eine Harmonisierung von Anzeigen des Zugbeeinflussungssystems innerhalb eines gemeinsamen CCD von wirtschaftlichen und technischen Einzelentscheidungen der Hersteller und Bahnunternehmen abhängen. Insbesondere im Fall von Bestandsfahrzeugen ist daher nicht davon auszugehen, dass eine ETCS-Ausrüstung zwangsläufig mit einer technischen Harmonisierung der digitalen Anzeigeräte einhergeht.

Neben dem Zugsicherungssystem ETCS war das europaweit technisch harmonisierte Bahn-Kommunikationssystem „Global System for Mobile Communications – Rail(way)“ (GSM-R) seit den 1990er Jahren Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Das Digitalfunksystem ist ein verbindlicher Standard bei Neubau- und Erneuerungsmaßnahmen von Bahnstrecken gemäß Technischer Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ (ZZS) [97]. In Deutschland waren im Jahr 2016 ca. 29.000 km des etwa 33.000 km umfassenden Streckennetzes mit GSM-R ausgerüstet [98]. In Ergänzung zum GSM-Standard verfügt das GSM-R-Netz über die betrieblich besonders relevanten Funktionen funktionale und ortsabhängige Adressierung, Gruppenrufe und Priorisierung, welche in Abbildung 29 dargestellt sind.

- Funktionale Adressierung**

Ausgewählte Teilnehmer können über eine funktionale Zuordnung (z. B. Tf über die Zugnummer) erreicht werden. Funktionale Zuordnungen dürfen nur einmalig vergeben werden.
- Ortsabhängige Adressierung**

Ortsfeste Teilnehmer (z. B. Weichenwärter, Disponenten) können in Abhängigkeit des Standortes eines Zuges vom Tf erreicht werden.
- Gruppenrufe**

Es können mehrere mobile oder ortsfeste Teilnehmer innerhalb eines Gruppenbereichs (z. B. Tf innerhalb eines Bereichs) erreicht werden. Die Teilnehmer können Wechselsprechen.
- Priorisierung**

Bestehende Gespräche können durch vorrangige Gespräche verdrängt werden, z. B. durch einen Notruf. Alle Tf und die örtlich zuständigen Stellen hören mit.

Abbildung 29: Eisenbahnspezifische Leistungsmerkmale des GSM-Standards  
(eigene Darstellung nach DB Ril 418.6330 [1])

GSM-R wird im Zug-, Rangier-, Betriebs- und Instandhaltungsdienst angewendet, v. a. zur fernmündlichen Verständigung zwischen dem Zugpersonal und ortsfesten Teilnehmern. Übermittelt werden beispielsweise Zuglaufmeldungen, Befehle oder Dispositionsgespräche (Ril 418.6330 [1]).



Abbildung 30: GSM-R Zugfunkgerät  
(eigene Darstellung)

Vor dem Hintergrund der im Deutschen Bundestag [99] diskutierten Störungen und Teilausfälle sowie der im Vergleich zur aktuellen Mobilfunktechnologie relativ geringen Bandbreite des GSM-R-Netzes bestehen beim EIU DB Netz AG zunehmend Bestrebungen, ein Nachfolgesystem zu entwickeln. Im Jahr 2014 präsentierten die Mobilfunkhersteller Nokia und Huawei Lösungen, um den GSM-R-Standard durch Long Term Evolution (LTE)-Technik abzulösen [100]. 2015 beauftragte die Deutsche Bahn das Konsortium Siemens Convergence Creators und Huawei mit einem Upgrade des GSM-R-Netzes der ersten

Generation sowie der Option einer LTE-Aufwertung auf einem 12.000 km umfassenden Streckennetz [101]. Den heutigen Plänen zu Folge soll GSM-R jedoch bis ins Jahr 2030 aufrechterhalten werden, auch wenn der weltweite Eisenbahnverband UIC bereits 2016 ein „Future Railway Mobile Communication System-Project“ (FRMCS) erarbeitet hat und im Jahr 2019 ein neuer Kommunikationsstandard auf europäischer Ebene beschlossen werden könnte [102].

Innerhalb des EU-Forschungsrahmens „Horizon 2020/Shift2Rail“ betreiben drei europäische Projektpartner im Zeitraum 2016 bis 2018 das Forschungsprojekt „Mistral – Communication Systems For Next-generation Railways“. Das Ziel des Projekts ist u. a. die Erarbeitung einer Spezifikation für ein zukünftiges Breitband-Eisenbahn-Kommunikationssystem, das auch der Bahnautomatisierung dienen soll [103]. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Entwicklungsimpulse ist davon auszugehen, dass das bestehende digitale Kommunikationssystem GSM-R in wenigen Jahren von einem leistungsfähigeren Kommunikationsstandard (LTE, 5G) abgelöst wird.

### 2.2.1.5 Personal- und kostenoptimierter Bahnbetrieb

Der digitalisierte Bahnbetrieb bietet das Potenzial, heute als personalintensiv geltende Prozesse durch technische Systeme abzulösen. Dabei geht es weniger darum, bestehendes Personal zu substituieren. Vielmehr sind sich Branchenvertreter einig, dass nur durch eine umfangreiche Effizienzsteigerung des Bahn- und insbesondere des Rangierbetriebs längst an den Straßenverkehr verlorene Transportleistungen zurückgewonnen und weiter ausgebaut werden können, sodass langfristig sogar zusätzliches, entsprechend den digitalen Erfordernissen geschultes Personal einzustellen ist.

In zahlreichen Forschungsprojekten im Bereich des digitalisierten Schienengüterverkehrs wurden technische und organisatorische Lösungen entwickelt, um Tätigkeiten des Tf sowie des Rangierers und Wagenmeisters mithilfe digital vernetzter arbeitender Hilfsmittel durchzuführen. Seit Ende der 1980er Jahre kommt die Funkfernsteuerung (FFS) von Rangierlokomotiven bei der Deutschen Bahn im Regelbetrieb zum Einsatz (Abbildung 31). Es handelt sich um einen tragbaren Sender, mit dem Steuerbefehle an das Tzf fernübertragen werden können. Zuvor war es erforderlich, das Tzf aus dem Führerraum zu steuern. Im Fall eines geschobenen Zugverbands musste die Zugspitze daher mit einem zweiten Mitarbeiter (i. d. R. Rangierbegleiter) besetzt werden. Der Kontakt zwischen Tf und Rangierbegleiter erfolgte per Funk.



Abbildung 31: Funkfernsteuerung - Arbeitsmittel für Lokrangierführer (Lrf)  
(Pressefoto ThyssenKrupp Steel Europe)

Durch den Einsatz der FFS kann auf einen Rangierbegleiter verzichtet werden. Ein Tf darf das Tfz verlassen und den Zugverband an der Spitze selbst besetzen. Dies hat jedoch zur Folge, dass beim Richtungswechsel des Zuges der gesamte Zug abgelaufen werden muss. Die Berufsbezeichnung „Lokrangierführer“ (Lrf) verknüpft Tätigkeiten des Tf und des Rangierers und umfasst u. a. die nachfolgend gelisteten Tätigkeiten (Abbildung 32).



Abbildung 32: Tätigkeiten des Lokrangierführers (Lrf)  
(eigene Darstellung in Anlehnung an [104])

Um die Sicherheit allein arbeitender Lrf zu erhöhen, beschaffte die DB Schenker Rail AG (heute DB Cargo) in den letzten Jahren hochentwickelte Handsprechfunkgeräte als digitale Hilfsmittel. Diese ermöglichen die digitale Sprachkommunikation mittels GSM-R und sind zusätzlich mit einem GPS-Empfänger und Neigungssensor zur Ortung bzw. Erkennung einer möglichen Schiefelage des Gerätes ausgestattet. Infolge des DB-internen Forschungs- und Entwicklungsprojekts „Willensunabhängiger Personennotruf“ wurde im Jahr 2015 eine automatisierte, GPS-unterstützte Notruffunktion realisiert, sobald das Gerät in eine dauerhafte Schiefelage gerät und Alarmsignale ignoriert werden. Die Datenübermittlung erfolgt dabei per SMS an eine ständig besetzte Leitstelle [105].

Eine technische Lösungsoption, die einen Verzicht auf die durch den Lrf zu besetzende Zugspitze zur Folge haben könnte, ist das Rangieren mit technisch überwachter Spitze (RTUS). Die Ausstattung des letzten Wagens mit Sensorik zur Umfelderkennung und einer Videokamera war bereits Gegenstand wissenschaftlicher Überlegungen, u. a. an der Fachhochschule (FH) Aachen. Umsetzungen scheiterten bislang am Aufwand und an noch ungewissen Erfolgsaussichten eines Nachweises gleicher Sicherheit bei der Eisenbahnaufsichtsbehörde [106].

Die Einführung der FFS ging z. T. mit der Einrichtung elektrisch ortsgestellter Weichen (EOW) und Gleissperren (EOGS) einher. Im Vergleich zu konventionellen ortsfesten Weichen entfällt ein Auf- und Absteigen vom Fahrzeug, da sich EOW/EOGS per Schlagtaster während einer verlangsamten Vorbeifahrt in die gewünschte Endlage stellen lassen [104]. Weiterhin findet die automatische Rangierkupplung bei zahlreichen Tfz im Rangierbetrieb Anwendung. Diese beschleunigt und erleichtert das Kuppeln und Entkuppeln von Tfz und Wagen, da ein manuelles Einhängen des Kupplungsbügels in den Zughaken sowie das Anziehen der Schraubenkupplung entfallen. Die Fernbedienung der Kupplung erfolgt im Tfz-Führerraum. Bremschläuche sind jedoch weiterhin manuell zwischen Tfz und Wagen zu verbinden (Ril 418.2118A01 [1]).

Die bereits eingesetzten digitalen und allgemein elektronischen Arbeits- und Hilfsmittel ermöglichen bislang lediglich einen teilautomatisierten Rangierbetrieb. Das mehrheitliche Fehlen einer ferngesteuerten automatischen Kupplung an den in Europa eingesetzten Güterwagen stellt ein wesentliches Hindernis für die Vollautomatisierung des Rangierbetriebs dar, sodass Güterwagen bis heute manuell gekuppelt und geschlaucht werden müssen. Im Personenverkehr erfolgreich eingesetzte vollautomatische Kupplungssysteme konnten sich im Güterverkehr vorwiegend aus politischen und finanziellen Gründen bislang nicht etablieren [107]. Auch wenn eine automatisierte Zugzusammenstellung aufgrund dieser

Hindernisse bislang scheiterte, war die Fernsteuerung fahrerloser Rangierhilfsmittel in der Vergangenheit Gegenstand der Forschung.

In Kooperation mit der RWTH Aachen betrieb die DB-Tochter Systel GmbH im Jahr 2016 Testversuche zum automatisierten Umsetzen einzelner Güterwagen mithilfe eines modifizierten Zweiwegefahrzeug „Rotrac E2“ des Herstellers Zwiheoff. Das Fahrzeug wurde für erste Tests mit Sensoren, Funkempfängern sowie einer Schnittstelle zu einem DB-eigenen IT-System ausgerüstet. Das Ziel der Ende 2016 abgeschlossenen Testläufe war es, die Voraussetzungen für einen automatisierten Rangierbetrieb zu prüfen, bei dem das Zweiwegefahrzeug lediglich vom Disponenten in einer Betriebszentrale angefordert wird und ohne weiteren Personaleinsatz Güterwagen rangiert. Die Projektverantwortlichen kamen zu dem Schluss, dass dieses Ziel mittelfristig nur durch zusätzliche stationäre LST, Lichtraumüberwachung und ein Radarsystem am Fahrzeug zu gewährleisten ist [108].

Eine vergleichsweise unkonventionelle Lösung zur schienengebundenen Automatisierung der Zustellung von Waggons und Ladeeinheiten stellt ein 2017 in Betrieb genommenes System des Chemieunternehmens BASF am Standort Ludwigshafen dar. In einer Forschungs- und Entwicklungszusammenarbeit zwischen BASF und dem holländischen Fahrzeughersteller VDL entstand ein „Automated Guided Vehicle“ (AGV), das die straßengebundene automatische Zustellung von Tankcontainern übernimmt. Als digitale Technik kommen eine fahrzeugseitige Sensorik und in der Fahrbahn verbaute Transponder zum Einsatz, während Mitarbeiter in einer Leitstelle Transporte überwachen und ggf. per FFS in den automatischen Betrieb eingreifen können (Abbildung 33 und [109]).



Abbildung 33: Automated Guided Vehicle auf dem BASF-Werksgelände  
(Pressefoto BASF SE)

Autonome Güterverkehrssysteme könnten im Unterschied zu automatisierten Systemen Fahrentscheidungen selbst treffen und Fahraufgaben ohne Steuerung von außen mithilfe von Sensoren und Satellitenortung erledigen. Die Realisierung solcher Systeme ist im Vergleich zur Automatisierung jedoch noch nicht absehbar. Unter der Bezeichnung „Güterwagen 4.0 (GW40)“ forscht u. a. die Fachhochschule (FH) Aachen an einem umfassenden Konzept zur Automatisierung des mechanischen und pneumatischen Kuppelns und Entkuppelns sowie der technischen Wagenbehandlung (TWb). Neben einer umfangreichen Sensorik zur Waggonzustandserfassung und -ortung sieht das Konzept vor, Güterwagen per Nachrüstung mit autarken Rangierantrieben und vollautomatischen Kupplungen auszustatten. Ortsfeste Kamerasysteme könnten zusätzlich zu waggonseitig verbauten Sensoren Zustände des Fahrzeuges und der Ladung überwachen. Für die Vor-Ort-Bedienung des Waggons ist die Nutzung digitaler Eingabegeräte (Smartphones, Tablets, Wearables) geplant [46; 110].

Unter dem Namen „RANGierASSistent“ forschte die Ruhr-Universität Bochum in Kooperation mit der Westfälischen Lokomotiv-Fabrik Reuschling GmbH & Co. KG bis ins Jahr 2017 an einem prototypischen fahrzeugseitigen Assistenzsystem als Voraussetzung für autonom stattfindende Rangierprozesse. Zur

Umgebungserkennung kamen Radarsensoren und Videokameras zur Anwendung. Die Ergebnisse des Projekts lassen erkennen, dass mit fahrzeugseitiger Sensorik bislang lediglich „auf Sicht“ autonom gefahren werden kann, da ein schlecht einsehbares Gelände und weitere limitierende Faktoren (z. B. der zeitverzögerte Aufbau eines Bremsdruckes) einer zu schnellen Fortbewegung des Fahrzeuges entgegenstehen. Eine Vollautomatisierung mit höheren Fahrgeschwindigkeiten setzt daher die Kenntnis über Zustände jenseits der Reichweite der Assistenzsysteme voraus [111].

Die Hindernis-Erkennung auf der Strecke und die prototypische Ausstattung eines Tfz mit einem ATO-System war Gegenstand eines Forschungsprojekts zwischen der Siemens AG und DB Cargo im Jahr 2016. Zudem wurden das automatisierte Anfahren an eine Wagengruppe zum Kuppeln, das automatisierte Bremsen und Anfahren nach Streckenvorgabe, die automatisierte Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit sowie das Abfahren einer Langsamfahrstelle getestet. Dabei gelang es, die notwendige Sensorik und weitere Komponenten in ein Tfz der BR 170 (Vectron) zu integrieren und an die Fahrzeugsteuerung anzubinden. Ermöglicht wurde zudem eine Steuerung des Zuges per Tablet. Verbaut wurden Kfz-Sensoren LIDAR und RADAR, wobei eine Erweiterung der Reichweite des RADARs auf 400 Meter vorgenommen wurde. Es erfolgte eine Fusion der Sensordaten sowie eine Echtzeit-Meldung detektierter Hindernisse an die fahrzeugseitige ATO. DB Cargo wertet den Ausgang des Projekts als großen Erfolg und plant ausgewählte Autopilot-Funktionen bereits bis 2020 im Regelbetrieb einzuführen und zuzulassen [71; 112]. Aus den vorliegenden Unterlagen geht nicht hervor, wie der Sicherheitsnachweis des ATO-Systems angesichts der limitierten Reichweite der fahrzeugseitigen Sensorik erbracht werden könnte.

Innerhalb der EU-Förderinitiative „Shift2Rail“, die durch das „Horizon 2020“-Forschungs- und Innovationsprogramm initiiert wurde, betreiben mehrere Partner, darunter die Universität Bremen und die RWTH Aachen, im Zeitraum 2016 bis 2019 das Projekt „Smart Automation of Rail Transport“. Ein Ziel des Projektes ist es, ein Hindernis-Erkennungssystem u. a. für den autonomen Rangierbetrieb mit Güterwaggons zu entwickeln. Mit der Verwendung von Wärmebildkameras und Bildverstärkern, Kamera- und Laserscanner-Systemen wird derzeit eine Multi-Sensorik-Lösung zur Hinderniserkennung bei Tag- und Nachtbedingungen für den Nah- und Fernbereich (kleiner 200 bzw. kleiner 1.000 m) angestrebt, die sich u. a. an der Technologie autonom fahrender Kraftfahrzeuge orientiert [113].

Unter der Bezeichnung „Automated Rail Cargo Consortium“ (ARCC) betreiben u. a. die Partner Deutsche Bahn sowie die Schienenfahrzeughersteller Bombardier und Ansaldo ein weiteres EU-gefördertes Shift2Rail-Projekt mit einer Laufzeit von 2016 bis 2019. Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Demonstrators mit der Funktion einer Automated Train Operation (ATO) im Schienengüterverkehr. Im Fokus stehen hierbei zu entwickelnde Systeme der automatischen Hindernisdetektion für Schienenfahrzeuge. Derzeit liegen noch keine Ergebnisse der Entwicklungsbemühungen vor [114].

Im Unterschied zum autonomen Kraftfahrzeugverkehr reicht die Nutzung bordeigener Systeme und Sensoren in einem Szenario autonom fahrender Züge nicht aus, um Fahrentscheidungen zu treffen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass Fahrentscheidungen weiterhin durch Betriebsleitzentralen (Operation Control Center) und Stellwerke ausgelöst und infrastrukturseitig überwacht werden, um die optimale Nutzung der Infrastrukturkapazitäten und ein größtmögliches Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Experten befürworten daher gegenwärtig nicht den autonomen Bahnbetrieb (Fahrzeug trifft eigenständig Fahrentscheidungen), sondern einen automatisierten Bahnbetrieb (Automatic Train Operation (ATO)), in welchem Fahrentscheidungen einem übergeordneten System obliegen [115; 116]. Auch der im Bahnbetrieb gebräuchliche „Grade of Automation“ (GoA) sieht bis zur höchsten Stufe GoA 4 (fahrerloser Betrieb; engl. Unattended Train Operation, kurz UTO) eine Überwachung des Zugbetriebes durch eine Leitstelle vor (Abbildung 34). Daneben ist weiterhin ein Zugsicherungssystem (Automated Train Protection System, ATP) sowie ein System zur automatischen Zugsteuerung (ATO) notwendig. Derartige Bahnsysteme sind derzeit lediglich im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) als automatisierte U-Bahnen anzutreffen [117] (vgl. auch Abschnitt 2.2.2). Hingegen existieren auch für den Eisenbahnbe-

trieb bereits Konzepte und Technologieansätze, die auf eine Automatisierung des Streckendienstes abzielen.

Automatisierungsgrad	Art des Zugbetriebs	Beschleunigungsvorgang	Bremsvorgang	Türschließung	Störungsbehebung
GoA 1	ATP mit Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Fahrer
GoA 2	ATP und ATO mit Fahrer	Automatisch	Automatisch	Fahrer	Fahrer
GoA 3	Fahrerlos	Automatisch	Automatisch	Zugbegleiter	Zugbegleiter
GoA 4	UTO	Automatisch	Automatisch	Automatisch	Automatisch

ATP – Automatic Train Protection    ATO – Automatic Train Operation    UTO – Unattended Train Operation

Abbildung 34: Grades of Automation (GoA) – Automatisierungsgrade im Eisenbahnwesen  
(eigene Darstellung nach UITP 2012 [117])

Unter dem Aspekt des sicherheits- und instandhaltungsoptimierten Bahnbetriebs wurden bereits Forschungen zur digitalen Zugvollständigkeitsprüfung und Zugortung innerhalb des Projekts „SmartRail 4.0“ der SBB erörtert. Die SBB streben im Zeitraum 2025 bis 2040 die Einführung der ATO in Verknüpfung mit dem europäischen Zugsicherungssystem ETCS in der Anwendungsstufe Level 3 an. In ETCS Level 2 ist es in der Schweiz bereits möglich, einen Zug automatisch zu beschleunigen und zu bremsen, wobei Daten aus der ETCS-Streckenzentrale (Radio Block Center, RBC) mit Daten aus der Betriebsleitzentrale verknüpft werden, um die Streckenleistungsfähigkeit zu erhöhen. Der Tf übernimmt jedoch weiterhin die volle Verantwortung für die Führung des Tfz (entspricht GoA 2) [118].

Noch nicht absehbar ist hingegen, ob und in welcher technischen Konfiguration auf einen Tf verzichtet werden wird. Die Vollautomatisierung des Bahnbetriebs erfordert nach Ansicht der SBB viele und größtenteils neuartige technologische Entwicklungen. Zwar kann zum Zweck der Automatisierung des Fahrdienstes auf den Technologiestandard ETCS und die bestehende ETCS-Balisen und -Fahrzeugtechnik aufgebaut werden, notwendig sind jedoch eine Vielzahl hochwertiger und redundant arbeitender neuer Systeme. Das 2017 vorgestellte Grobkonzept der SBB unterscheidet hierbei zwischen Systemen zur Lokalisierung von Fahrzeugen, zur Vollüberwachung von Gleisen und zum leistungsstarken Datenaustausch (Lokalisierung, Connectivity, Security – LCS), zur Steuerung von Zügen (ETCS-Stellwerke – ES) sowie zur Automatisierung der Planung und Disposition (Traffic-Management System – TMS; Abbildung 35). Durch eine von den SBB beabsichtigte Standardisierung der Mensch-Maschine-Schnittstellen werden sich in Tfz, Stellwerken und Betriebsleitzentralen jeweils dieselben Betriebsprozesse ergeben, ohne dass anlagenspezifisches Wissen oder Ortskenntnisse für den Bediener zwingend erforderlich sind [62].



Abbildung 35: Geplante Projektphasen des SBB-Projekts „SmartRail 4.0“ (Martin Messerli, SBB AG [63])

Weitere Kostenvorteile in Höhe von 450 Mio. Franken (ca. 379 Mio. Euro) jährlich sind durch eine drastische Reduktion des Personaleinsatzes auf dispositiver Ebene, den Wegfall vieler Außenanlagen und Stellwerke sowie durch die geplanten offenen Plattformen neuer Stellwerke zu erwarten. Aus Unternehmenssicht ergeben sich direkte und indirekte Vorteile infolge einer Erhöhung der Netzkapazitäten und der Verfügbarkeit von Sicherungsanlagen sowie einer Senkung der Kollisionswahrscheinlichkeit, letztere insbesondere im Rangierbetrieb und auf Baustellen. Das Projekt SmartRail 4.0 befindet sich aktuell SBB-intern in der Projektierungsphase. Eine Erprobung und Systementwicklung ist ab 2020, der industrialisierte Rollout ab 2025 geplant [63].

Im September 2017 kündigte das österreichische Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) die Inbetriebnahme einer Teststrecke für selbstfahrende Züge im Juni 2018 an. Auf einer 25,5 km langen stillgelegten Eisenbahnstrecke im Besitz des Landes Burgenland soll 60 km nordöstlich von Graz ein „Open.Rail.Lab“ entstehen. Neben mehreren Forschungseinrichtungen, darunter die TU Graz, sind u. a. die Bahnhersteller Bombardier Transportation Austria, Kapsch CarrierCom und Thales Austria am Projekt beteiligt [119].

Ende 2017 kündigte das niederländische EIU ProRail an, in den nächsten Jahren einen automatisierten Testbetrieb mit Güterzügen auf der niederländischen Betuwe-Strecke durchzuführen. Derzeit betreibt ProRail mit Alstom Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, um das bestehende Zugsicherungssystem ETCS sowie das Kommunikationssystem GSM-R für den ATO-Betrieb zu ertüchtigen [120]. Ebenfalls kündigte DB Cargo an, zwischen Rotterdam und Emmerich den automatisierten Zugbetrieb auf der Basis von ETCS Level 2 zu erproben [121].

Im Rahmen der „Horizon 2020/Shift2Rail“-Initiative der Europäischen Union sind mehrere Forschungsprojekte im Themengebiet Bahnautomatisierung angesiedelt. Im „Innovation Programme 2“ wurden unter dem Titel „Advanced Traffic Management and Control Systems“ sieben Projekte zusammengefasst. Das Ziel aller Projekte ist die Entwicklung technologischer Demonstratoren (Technology Demonstrators; TDs), die als Soft- oder Hardware-Lösungen zu Testzwecken und zur europaweiten Weiterentwicklung zur Verfügung stehen sollen [122]. Die finanziell höchstdotierten Projekte, „X2Rail-1“ sowie „X2Rail-2“, erfolgen unter Beteiligung der Bahnindustrie (u. a. Alstom, Ansaldo, Bombardier, Siemens, Thales), von Bahnkonzernen (u. a. DB AG, SBB AG, SNCF) sowie weiterer Forschungs- und Dienstleistungsunternehmen.

Das Projekt X2Rail-1 mit einer Laufzeit von 2016 bis 2019 zielt auf Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in sieben Teilbereichen ab (Abbildung 36).

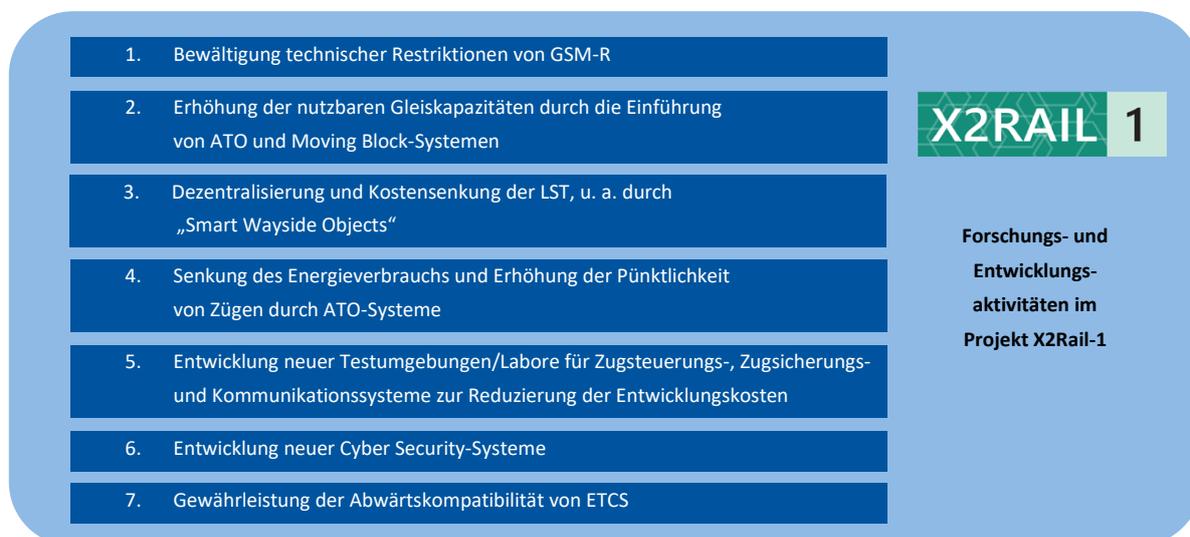


Abbildung 36: Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Projekt X2Rail-1 (eigene Darstellung in Anlehnung an [123])

Das zeitlich parallel initiierte Projekt X2Rail-2 (Laufzeit: 2017 bis 2020) widmet sich vier Teilbereichen (Abbildung 37).



Abbildung 37: Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Projekt X2Rail-2 (eigene Darstellung in Anlehnung an [124])

In einem weiteren, durch Shift2Rail geförderten Forschungsprojekt „ASTRail“ untersuchen mehrere Forschungsinstitutionen sowie der Verband der europäischen Eisenbahnindustrie (UNIFE) im Zeitraum 2017 bis 2019 die Übertragbarkeit technischer Automatisierungslösungen der Luftverkehrs- und Automobilindustrie mit dem Ziel eines automatisierten Bahnbetriebs. Im Vordergrund steht hierbei das Globale Navigationssatellitensystem und die Evaluierung, wie dieses in das europäische Zugsicherungssystem ETCS integriert werden könnte. Die Ergebnisse der Forschungen stehen noch aus [125].

Auch im Shift2Rail geförderten Projekt „Etalon“ werden wichtige Voraussetzungen des automatisierten Bahnbetriebs untersucht. Im Projektzeitraum 2017 bis 2020 beabsichtigen mehrere europäische Forschungsinstitutionen unter der Leitung des Verbands der europäischen Eisenbahnindustrie (UNIFE), fahrzeugseitige Systeme der Zugintegritätsprüfung sowie infrastrukturseitig installierte Wegpunkte

(waypoints) zu entwickeln, um die bestehende kabelgebundene Infrastruktur zur Gleisfreimeldung zu ersetzen [126].

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf europäischer und nationaler Ebene verdeutlichen das Automatisierungspotenzial des Bahnbetriebs mit dem Ziel, den Kosten- und Personalaufwand zu senken und die Verfügbarkeit zu erhöhen. Im Unterschied zu automatisierten Nahverkehrssystemen (z. B. U-Bahnen) und prototypischen Lösungen im Rangierbetrieb existieren im Schienenfernverkehr derzeit noch keine praxistauglichen vollautomatisierten Systeme. Die Ergebnisse der Projekte werden zeigen, in welchem Zeitraum von einer Marktfähigkeit der beabsichtigten Innovationen ausgegangen werden kann. Ebenfalls bleibt offen, in welchem Umfang langfristig auf Tf verzichtet werden könnte.

## 2.2.2 Forschung im Bereich Digitalisierung des ÖSPV

In den Folgeabschnitten werden Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich des ÖSPV vorgestellt und entsprechend den identifizierten Digitalisierungsoptionen bei Tätigkeiten von Fachkräften im Fahrdienst (FiF) gegliedert (vgl. Abschnitt 2.1.2.2, Abbildung 5).

Der kleinteilig und häufig in kommunaler Trägerschaft organisierte ÖSPV zeichnet sich durch eine relativ ausgeprägte Innovationskraft bei digitalen Anwendungen aus, insbesondere in den Bereichen elektronisches Ticketing, Fahrgast-Applikationen für die Smartphone-Anwendung und stationäre elektronische Anzeigen. Im Fokus des Forschungsprojektes steht dagegen eine Untersuchung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel für Betriebspersonale. Interessante Anwendungen sind hier digitale Diagnose- und Fahrerassistenzsysteme, mit vielfältigen Funktionen ausgestattete Bordrechner am Fahrerarbeitsplatz, Tablet-Anwendungen für das Fahrpersonal und digitale Systeme, die eine Automatisierung bzw. Autonomisierung des Fahrbetriebs und somit den vollständigen Personalverzicht ermöglichen.

### 2.2.2.1 Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierter ÖSPV

Gängige Instandhaltungsstrategien im ÖSPV sehen regelmäßige Inspektionsintervalle vor, es handelt sich folglich um präventive und zugleich zustandsorientierte Maßnahmen, je nach inspiziertem Verschleißgrad in der Werkstatt. Das relativ starre System entsprechend vorgegebener Laufkilometer oder Zeitvorgaben hat sich in der Vergangenheit unter Sicherheitsgesichtspunkten bewährt. In Ergänzung dazu obliegt es dem FiF, den verkehrssicheren Zustand des Fahrzeugs vor und nach dem Fahrdienst festzustellen.

Die heute verfügbare Sensorik könnte auch im ÖSPV eine permanente Zustandsüberwachung sicherheitsrelevanter Funktionen, eine Entlastung der fahrzeugspezifischen Prüfaufgaben des FiF und eine vorausschauende Fahrzeuginstandhaltung (predictive maintenance) ermöglichen. Dennoch befinden sich diese Entwicklungen nach Ansicht von Branchenvertretern noch in einem Anfangsstadium [127]. Insbesondere würden Diagnoseanzeigen im Fahrzeug (On-Board-Diagnose, OBD) Tätigkeiten der FiF unterstützen. Die Durchsetzung von OBDs verfolgt der VDV mit entsprechenden Empfehlungen seit den 2000er Jahren (z. B. mit der VDV-Schrift 883 „On-Board-Diagnose (OBD) für Linienbusse“). Jedoch stellen lediglich Straßenbahnfahrzeuge und Busse der neuesten Generation dem Fahrpersonal in größerem Umfang Diagnosedaten zur Verfügung, im Fall von Bussen z. B. zum Abgasverhalten entsprechend der Euro 6-Gesetzgebung [128; 129]. Die bisherige EDV-Unterstützung der Instandhaltungsplanung über so genannte Betriebshofmanagementsysteme (BMS) beschränkt sich bislang zumeist auf die Ortung und Wegeoptimierung von Fahrzeugen sowie die statische Erfassung von Daten (z. B. zur Laufleistung) [130]. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzung vorhandener Diagnosedaten für vorbeugende Instandhaltungssysteme Gegenstand zukünftiger Forschungen sein wird.

Die Erhöhung der Sicherheit mithilfe aktiver FAS wird derzeit v. a. im Straßenbahnsektor angestrebt. Ein Innovationstreiber ist der Fahrzeughersteller Bombardier Transportation in Kooperation mit dem Austrian Institute of Technology (AIT) und dem Automobilzulieferer Bosch Engineering bei der Entwicklung eines Systems zur Kollisionswarnung. Seit Mitte 2013 wurden Straßenbahnen prototypisch mit einer „Stereovision-Technologie“ ausgestattet. Mithilfe von drei hinter der Frontscheibe angebrachten Kameras erfolgt eine Überwachung des zurückzulegenden Fahrwegs. Ein Rechnersystem wertet Bilddaten aus, um Kollisionsgefahren zu erkennen, etwa kreuzende Pkw oder Fußgänger (Abbildung 38). Gegebenenfalls folgt eine akustische Warnung per Sicherheitsfahrerschaltung (SIFA) und es wird eine Bremsung eingeleitet. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten führten 2015 zu einem serienreifen System, das erstmals in Frankfurt zur Anwendung kam [131; 132].

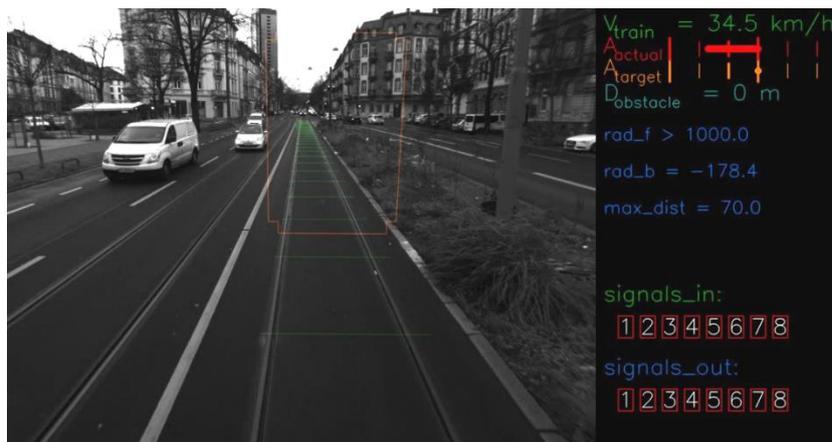


Abbildung 38: Fahrwegüberwachung mithilfe des Bombardier-FAS in Straßenbahnen (Bombardier Transportation 2015 [133])

Weitere digitale Technologien konnten sich bereits in größerem Ausmaß im ÖSPV etablieren. Statt herkömmlicher Außenspiegel kommen in Straßenbahnen vermehrt elektronische Außenspiegel-Systeme zum Einsatz. Die Anzeige erfolgt im Sichtbereich des Fahrers mithilfe mehrerer TFT-Displays. Überwacht werden sowohl Bahnsteige und Türen, der Fahrgastinnenraum sowie Kupplungen bei Mehrfachtraktionen [134]. Im Busbetrieb führen industriegetriebene Entwicklungen zunehmend zur Übertragung von Technologien aus dem Automobilsektor. Dies betrifft z. B. Spurhalteassistenzsysteme und die adaptive Lenkunterstützung des Busfahrers je nach Fahrgeschwindigkeit oder bei der Annäherung an Bordsteinkanten [135].

### 2.2.2.2 Papierloser ÖSPV

Die Verkehrstelematik spielt im ÖSPV eine bedeutsame Rolle. Zur Planung und Steuerung des Transportbetriebs finden digitale „Intermodal Transport Control Systems“ (ITCS) einen zunehmend flächendeckenden Einsatz. Die Entwicklung der Systeme erfolgt überwiegend durch private IT-Unternehmen, z. B. IVU, INIT, Trapeze oder T-Systems. Bis in die 1990er Jahre dominierende Papierunterlagen (z. B. Fahr- und Dienstpläne, Wageneinsatzkarten, Fahrhinweise) und der Analogfunk wurden durch IT-Systeme – zunächst Rechnergestützte Betriebsleitsysteme (RBL), heute ITCS genannte Plattformen – abgelöst [136]. Als digitale Arbeits- und Hilfsmittel des FiF sind am Fahrerarbeitsplatz verbaute ITCS-Bordrechner und -Anzeigen von zentraler Bedeutung (Abbildung 39). Sie dienen in erster Linie dem Fahrscheindruck sowie als Kartenleser für E-Ticketing. Neben den Ticketing-Funktionalitäten zeigen gängige Software-Lösungen dem Fahrer Informationen zum Standort (z. B. via GPS, Wegimpuls) sowie die Fahrplanlage an und ermöglichen die Sprach- und Datenkommunikation mit der Leitstelle via Digitalfunk, Mobilfunk und WLAN [137].



Abbildung 39: ITCS-Bordrechner am Fahrerarbeitsplatz in einem Linienbus  
(eigene Darstellung / Tobias Müller)

In Ergänzung zu ITCS-Basisfunktionen führten in der Vergangenheit zahlreiche Software-Weiterentwicklungen zu Arbeiterleichterungen für FiF. Dies betrifft z. B. die Automatisierung der Umleitungsplanung im Busverkehr (Onlineumleitung), etwa infolge kurzfristiger Straßensperrungen. Durch den Disponenten wird eine Fernübertragung aktualisierter Fahrplandaten auf den ITCS-Bordrechner ausgelöst sowie eine digitale Aufforderung des Fahrers, Umleitungen wahrzunehmen (Abbildung 40). Die fahrzeug- und haltestellenseitige Fahrgastinformationen werden automatisch an die veränderte Betriebsituation angepasst [138]. Durch die Einführung von Elektrobussen ergeben sich aktuell weitere Erfordernisse an ITCS-Bordgeräte. Branchenvertreter bemängeln, dass betriebsrelevante Informationen, z. B. zum Ladezustand oder zu der Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur, bislang auf zusätzlichen Hardwarekomponenten im Fahrzeug angezeigt werden. Eine Integration in bestehende ITCS-Bordrechner ist anzustreben [139].

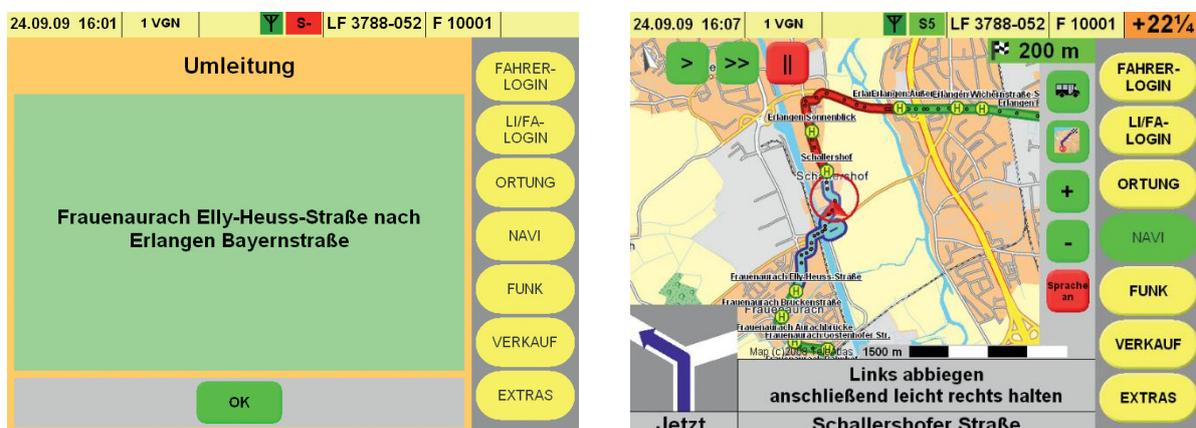


Abbildung 40: ITCS-Konfiguration „Onlineumleitung“: Aufforderung an den Fahrer, eine Umleitung zu fahren (links) und Navigationsfunktion (rechts)  
(INIT GmbH 2011 / Walter 2011 [138])

Neben RBL-/ITC-Systemen ermöglicht der verstärkte Einsatz mobiler Datenendgeräte (Tablets, Smartphones) durch FiF einen zunehmend papierlosen Fahrbetrieb. Vom IT-Systemhaus IVU Traffic Technologies wurde in Kooperation mit dem Schweizer Verkehrsunternehmen AAR bus+bahn eine Tablet-Lösung „IVU.pad“ entwickelt, um den vorherrschenden Papieraustausch abzulösen. Rund 180 FiF wurden mit der Applikation ausgestattet, die u. a. die Anzeige persönlicher Dienstpläne, Fahrpläne, Streckeninformationen, elektronischer Formulare sowie die Dokumentenquittierung ermöglicht. Elektronische Formulare sind z. B. zur Erfassung von Wartungsinformationen und Schäden vorgesehen. Das Tablet kann in einer Halterung am Fahrerarbeitsplatz fixiert und während der Fahrt ständig eingesehen werden [72].

Ein weiteres Beispiel für die Tablet-Einführung im ÖSPV bietet das Unternehmen Aktiv Bus Flensburg GmbH. Gemeinsam mit dem IT-Haus Pure Vision Systems wurde ein elektronisches Fahrerhandbuch realisiert. Dieses umfasst die übersichtliche Bereitstellung von PDF-Dokumenten (u. a. Dienstpläne und -anweisungen, Tarifinformationen, Baustellen-Umleitungen) mithilfe einer speziell entwickelten Menüführung und Selektionsmöglichkeit. Ein Ampelsystem signalisiert dem Anwender, ob Einträge noch zu lesen sind (rot), gelesen wurden aber noch nicht bestätigt sind (gelb) oder bereits bestätigt wurden (grün). Die Aktualisierung der Dokumente sowie der Versand von Empfangs- und Lesebestätigungen an den Administrator erfolgt per WLAN. Weitere genutzte Funktionalitäten des Tablets sind die Kommunikation unternehmensinterner Nachrichten per E-Mail, Kartenanwendungen als Hilfsmittel zur Erteilung von Wegeauskünften an Fahrgäste sowie die Kamera- und Sprachaufzeichnung wichtiger Sachverhalte, etwa von Schäden an Haltestelleneinrichtungen (Abbildung 41) [140].



Abbildung 41: Tablet-Anwendung „elektronisches Fahrerhandbuch“  
(Aktiv Bus Flensburg / Der Nahverkehr 2016 [140])

### 2.2.2.3 Energie- und kapazitätsoptimierter ÖSPV

Assistenzsysteme zur Förderung eines energieeffizienteren bzw. kapazitätsoptimierten Fahrbetriebs konnten sich im ÖSPV bislang noch nicht in einem größeren Umfang etablieren. Dennoch sind erste Forschungs- und Entwicklungsbemühungen festzustellen. Der spurgeführte ÖSPV per U-, Stadt- und Straßenbahn eignet sich vergleichsweise gut zur Umsetzung von Fahrempfehlungen, um den Energieverbrauch zu senken, den Fahrkomfort zu erhöhen und darüber hinaus Fahrzeiten durch eine optimierte Querung von Kreuzungen zu verkürzen.

Diese Ziele wurden mit dem im Jahr 2014 abgeschlossenen Forschungsprojekt „Computer-Optimised Speed control for Energy-efficient Light-rails“ (COSEL) der TU Dresden in Kooperation mit den Dresdner Verkehrsbetrieben (DVB) angestrebt. Bis Ende 2013 wurde bereits die Hälfte aller Straßenbahnen der DVB mit dem Smartphone-basierten System ausgerüstet (Abbildung 42). Durch die Befolgung einer optimalen Fahrgeschwindigkeit vor der Überquerung einer LSA-geregelten Kreuzung können FiF betrieblich unnötige Halte vermeiden, die sich negativ auf Fahrzeiten, den Fahrkomfort sowie die Energiebilanz auswirken [141].



Abbildung 42: Smartphone-Anwendung „Computer-Optimised Speed control for Energy-efficient Light-rails“ der DVB (Pressefoto DVB AG 2017)

Ein weiteres deutschlandweites Pilotprojekt zur Erhöhung der Energieeffizienz des spurgeführten U-Bahn-Verkehrs betreibt die Hamburger Hochbahn AG seit mehreren Jahren. In Kooperation mit der TU Dresden wurde in umfangreichen Forschungsarbeiten ein Assistenzsystem für die energiesparende Fahrweise entwickelt und im Jahr 2013 in U-Bahn-Fahrzeugen installiert. Der FiF wird nach dem Wiederaufahren aus einer Halteposition eine so genannte „Abschaltgeschwindigkeit“ signalisiert, die zuvor durch eine maximale Beschleunigung anzustreben ist. Wird diese Geschwindigkeit erreicht, beginnt die Ausroll- und die Bremsphase bis zum Erreichen der nächsten Halteposition. Entscheidend ist die möglichst genaue Berechnung der Abschaltgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Fahrplanlage, sodass eine pünktliche Ankunft gewährleistet wird. Nach Angaben der Systementwickler beläuft sich die Energieeinsparung auf fünf bis 15 Prozent [142].

Für den ÖSPV per Bus entwickelte das auf Kreiselensortechnik spezialisierte Unternehmen Datatec Co., Ltd. bereits in den 1990er Jahren ein Monitoring-System „SAFErecorder“ zur Analyse der Fahrweise von Busfahrern. Über eine komplexe Sensorik werden Richtungswechsel, Kurvenfahrten, Beschleunigungs- und Bremsvorgänge aufgezeichnet. Die Methodik lässt sich mit einem schwingenden Pendel vergleichen, das bei auffälligen Ereignissen definierte Referenzwerte überschreitet. Durch eine Analysesoftware werden häufige Überschreitungen in automatisierter Weise ausgewertet, wobei sich durch eine besonders ausgeglichene Fahrweise eine höhere Gesamtpunktzahl je Fahrt einstellt (Abbildung 43). Das Produkt SAFErecorder findet v. a. in Japan Anwendung, etwa im Bus-Shuttle-Verkehr des Flughafens Tokyo. Im Jahr 2012 entschloss sich das Busunternehmen Marburger Verkehrsgesellschaft mbH (MVG) zur Einführung des SAFErecorders, um die Ausbildung von FiF zu unterstützen. Eine Vollüberwachung des Fahrpersonals wurde nicht angestrebt, stattdessen liegt der Fokus auf jährlich stattfindende Fahrerschulungen mit dem Ziel, das Bewusstsein für einen komfort-, energie- und verschleißoptimierten Busbetrieb zu verfestigen [143].

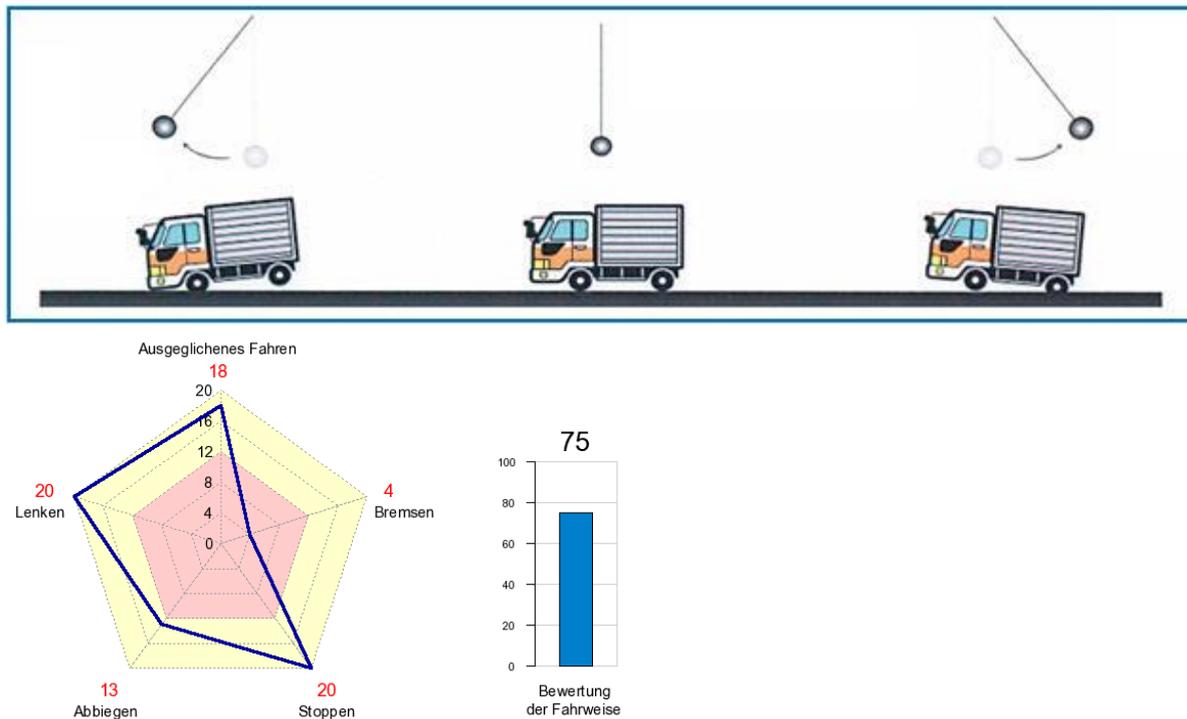


Abbildung 43: Pendelprinzip (oben) und Bewertungssystem der Fahrweise (unten) des Produkts „SAFERecorder“ (Perform Tech AG 2012 / Der Nahverkehr 2012 [143])

Eine andere technische Lösung, das „Eco-Fahrssystem“ des deutschen Herstellers „Traffilog“, ermöglicht eine Echtzeit-Information über effizientes Fahrverhalten im Busbetrieb. Das bereits 2010 beworbene System wurde in Linien- und Reisebussen in mehreren europäischen Ländern installiert, u. a. in England (National Express) und in Österreich (Postbus). Die Funktion „Fuel Save“ übermittelt dem Fahrpersonal in Echtzeit einen ggf. erhöhten Treibstoffverbrauch, eine Bremsverschleißrate und weitere Parameter als einfache Ampel-Darstellung. Daneben erfolgt eine automatische Übermittlung von Zustandsdaten an die Werkstattverantwortlichen [144].

#### 2.2.2.4 Personal- und kostenoptimierter ÖSPV

Mehrere abgeschlossene Forschungs- und Entwicklungsprojekte haben in der Vergangenheit eine Vollautomatisierung des schienengebundenen ÖSPV forciert. Dabei handelt es sich ausschließlich um U-Bahnen bzw. Metro-Systeme, die aufgrund der weitgehend fehlenden Interaktionen mit der Umwelt (z. B. infolge von Tunnellagen oder aufgeständerter Fahrwegführung) sowie der Homogenität von Infrastruktur und Fahrzeugen wenigen Störquellen ausgesetzt sind und sich daher in besonderer Weise für die Fernüberwachung des Zugbetriebs eignen. Es zeichnen sich jedoch erste Entwicklungsbemühungen im Bereich autonom verkehrender Straßenbahnen und Busse ab.

Seit 2008 betreibt die Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (VAG) eine vollautomatisierte, fahrerlose U-Bahn-Linie (U3), eine weitere Linie (U2) wurde 2010 eröffnet (Abbildung 44). Nach Angaben des Betreibers konnte in Folge der Vollautomatisierung auf die Neuanstellung von etwa 100 FiF und 45 Kunden- und Systembetreuer verzichtet werden. Zugleich entstand durch zusätzliche Infrastruktur- und Fahrzeugtechnik ein personeller Instandhaltungsmehrbedarf in einer Größenordnung von 10 bis 15 Arbeitskräften. Die Personaloptimierung resultiert nicht nur aus dem fahrerlosen Zugbetrieb, sondern ist zugleich das Ergebnis einer Reduktion schwach nachgefragter Fahrten. Eine optimierte Fahrweise der

neuen Fahrzeuge führt zu weiteren Einsparungen [145]. Die Automatisierungsbemühungen der VAG waren ein Auslöser für Forschungen und Entwicklungen bei gleis- und fahrzeugseitig verbauten Sensor-Systemen. Finanzierungsvereinbarungen zwischen dem Bund, dem Freistaat Bayern und der VAG führten im Jahr 2001 zur Vergabe des Projektes „Realisierung einer automatisierten U-Bahn in Nürnberg“ (RUBIN) an die Siemens AG. Ein Teil des RUBIN-Projekts umfasste z. B. die Entwicklung von Systemen zur Bahnsteiggleisüberwachung (BGÜ) unter Beteiligung des Unternehmens Honeywell oder zur Automatisierung der Zugsteuerung (Automatic Train Control, ATC) und zur Türspaltensicherung (Optical Safety Edge, OSE) unter Siemens-Beteiligung [146; 147].



Abbildung 44: Fahrerlose U-Bahn-Linie 3 der VAG Nürnberg  
(beide Fotos VAG Nürnberg / Claus Felix)

Weltweit entstanden in den letzten Jahren vollautomatisierte, fahrerlose U-Bahn-Systeme, z. B. in Las Vegas, Dubai oder Tokio. Ein weiteres Beispiel stellt das von der „Régie autonome des transports Parisiens“ (RATP) betriebene und auf einzelnen Linien automatisierte Pariser Metro-Netz dar. Weitere Automatisierungen sind projektiert. Wie im Fall des Nürnberger U-Bahn-Netzes erforderte die Umsetzung eines GoA4-konformen Metrobetriebs auch in Paris umfangreiche technologische Entwicklungen. Zum Einsatz kommen u. a. ein von Siemens entwickeltes „Communication Based Train Control System“ (CBC) sowie das unter der Federführung von Alstom entstandene ATO-System „Système d’aide à la conduite, à l’exploitation et à la maintenance“ (SACEM) [148].

In den nächsten Jahren ist von einer raschen Entwicklung autonom verkehrender Straßenbahnen auszugehen. Derzeit werden Fahrerassistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung (vgl. Abschnitt 2.2.2.1, Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierter ÖSPV) für den autonomen Fahrbetrieb dahingehend erprobt. Im September 2018 präsentierte die Siemens Mobility GmbH die weltweit erste autonom fahrende Straßenbahn in Potsdam, jedoch außerhalb des Fahrgastbetriebs und mit einer FiF als Rückfallebene in der Fahrerkabine. Auf einem sechs Kilometer langen Abschnitt wurden auch Straßen mit LSA-Regelung gekreuzt. Die Kosten der Forschungs- und Entwicklungsbemühungen übernahm die Siemens Mobility GmbH [149].

Der Einsatz fahrerloser Busse steht vor ungleich größeren Herausforderungen im Vergleich zu spurgeführten U-Bahnen. Fahrentscheidungen sind in autonomer Weise vom Fahrzeug zu treffen, z. B. das Einleiten von Ausweichmanövern im Fall eines blockierten Fahrweges. Die notwendige Sensorik und Steuerungstechnik ist v. a. fahrzeugseitig vorzuhalten. Als erstes Unternehmen weltweit führte die Schweizer Postauto AG im Jahr 2016 autonome Shuttle-Kleinbusse, so genannte „SmartShuttle“, im Stadtverkehr ein. Das Fahrzeug wurde vom französischen Unternehmen Navya hergestellt, greift auf ein hinterlegtes 3D-Streckennetz zurück und verfügt u. a. über GPS-, Kamera-, RADAR- und LIDAR-Technik. Die Erprobung des Systems erfolgte unter Beteiligung einer Forschungskooperation „Mobility Lab Sion“. Der

Kooperation gehören die Schweizer Postauto AG, der Fahrzeughersteller Navya und ein Start-Up-Unternehmens der Hochschule Lausanne, BestMile, an, das sich im Bereich Softwareentwicklung zur Steuerung autonomer Fahrzeuge betätigt [150].

In Deutschland führt die Deutsche Bahn seit 2018 Versuche mit einem autonomen Shuttle-Bus im regulären Linienbetrieb der bayerischen Kommune Bad Birnbach durch. Das Fahrzeug stammt vom französischen Start-Up-Unternehmen Easy Mile und ist weltweit verbreitet. Trotz der Integration des Fahrzeuges in den Linienverkehr handelt es sich um einen Versuchsbetrieb. Das Fahrzeug verkehrt mit lediglich 15 km/h und wird von einem Aufsichtspersonal begleitet. Getestet wird u. a. die Akzeptanz der Nutzer und die Funktionalität der Steuerungselektronik bei verkehrlichen Behinderungen (Abbildung 45 und [151]).



Abbildung 45: Autonomer Shuttle-Bus der Deutschen Bahn AG in Bad Birnbach  
(Pressefoto Deutsche Bahn AG / Uwe Miethe)

Weitere deutsche Forschungsprojekte dienen der Erprobung autonomer Bus-Shuttles unter speziellen Testbedingungen: In den Jahren 2016 bis 2017 wurden im Berliner Stadtquartier „Europäisches Energieforum“ (EUREF) umfangreiche Testfahrten mit einem autonomen Shuttle-Bus des US-amerikanischen Herstellers Local Motors durchgeführt. In einer zweimonatigen Testphase erprobte das Unternehmen DB Schenker 2016 auf einem Werksgelände den autonomen Shuttle-Betrieb [152]. Unter der Bezeichnung „Hamburg Electric Autonomous Transportation“ (HEAT, Laufzeit: 2018-2021) betreiben u. a. die Partner Siemens AG, die Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr GmbH (IAV) und die Hamburger Hochbahn AG ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördertes Pilotvorhaben, um autonome Kleinbusse in den städtischen Verkehr zu integrieren [153].

Angesichts der wachsenden Zahl der Pilotprojekte im autonomen Busverkehr kann in der Mittelfristperspektive davon ausgegangen werden, dass der konventionelle ÖSPV per Bus zumindest auf kurzen Distanzen vermehrt durch fahrerlose Beförderungsleistungen ergänzt wird. Eine Substitution konventioneller Busse in größerem Umfang ist – anders als im Fall des automatisierten U-Bahn-Betriebs – dagegen weder kurz- noch mittelfristig absehbar.

### 2.2.3 Forschung im Bereich Digitalisierung der See- und Binnenschifffahrt

In den Folgeabschnitten werden Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich der See- und Binnenschifffahrt vorgestellt und entsprechend den identifizierten Digitalisierungsoptionen bei Tätigkeiten des Kapitäns gegliedert (vgl. Abschnitt 2.1.3.2, Abbildung 7).

Forschungsprojekte im Bereich der See- und teilweise der Binnenschifffahrt besitzen aufgrund der internationalen Ausrichtung dieser Verkehrsbranchen häufig eine internationale Tragweite. Ein Ziel der International Maritime Organisation (IMO) ist es beispielsweise, land- und seeseitig vorhandene, digitale Verkehrsleit- und Kommunikationssysteme unter Sicherheitsaspekten weiterzuentwickeln. Die Fernüberwachung von Maschinenbauteilen in der Seeschifffahrt wird ebenfalls auf internationaler Ebene, jedoch auch mithilfe deutscher Fördermittel forciert. Der papierlose, digitalisierte Schiffsbetrieb steht im Interesse einzelner Seehäfen und Aufsichtsbehörden von Binnenwasserstraßen und vereint Sicherheits-, Effizienz- und Marketingbestrebungen. Ökologische Ambitionen zur Reduktion des Treibhausgasausstoßes durch die Schifffahrt besitzt v. a. die Europäische Union, unter deren Leitung mehrere Projekte für digitale Assistenzsysteme zur Reduktion von Energieverbräuchen und Emissionen durchgeführt wurden. Das Ziel einer autonomen und somit möglichst personal- und kostenoptimierten See- und Binnenschifffahrt steht im Zentrum einzelner Hersteller und könnte in nächster Zeit auch Forschungs- und Entwicklungsprojekte nach sich ziehen.

### 2.2.3.1 Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierte See- und Binnenschifffahrt

Die Entwicklung neuartiger Navigationssysteme durch die Verknüpfung bordeigener Sensorik und satellitengestützter Informationen ist derzeit Gegenstand intensiver Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der europäischen und weltweiten Schifffahrt. Unter dem Namen „e-Navigation“ verfolgt die IMO seit 2006 eine Digitalisierungsstrategie im weltweiten Schiffsverkehr. Im Jahr 2014 wurde ein Implementierungsplan für ein digitales On-Board- sowie ein landseitiges (Ashore-) Verkehrssystem für die maritime Anwendung verabschiedet. Das übergeordnete Ziel des Projekts ist die Verringerung des Unfallrisikos in der Seeschifffahrt. In Bezug auf die On-Board-Technologie ist der Einsatz von Schiffssensorik, externer Daten, standardisierter Bedienplätze sowie eines aktiven Notfallsystems vorgesehen. Das landseitige Verkehrsmanagement-System soll der verbesserten Koordination von Schiffsbewegungen sowie dem Austausch sicherheitsrelevanter Informationen dienen. Der Datenaustausch ist mithilfe einer neuartigen Kommunikationsumgebung zu gewährleisten [154].

In der Vergangenheit initiierte die IMO mehrere Forschungsprojekte zur Vorbereitung der industriellen Entwicklung neuer Systeme. Ein Beispiel ist das Projekt „Maritime Verkehrstechnik (MVT)-eNav-I“ des DLR. Im Zeitraum 2011 bis 2014 entwickelte das DLR ein Konzept für ein maritimes Positions-, Navigations- und Zeitsystem (PNT) sowie ein System zur Verkehrslageerfassung und -evaluierung (TSA). Dabei wurden u. a. die Erweiterung von GPS-Diensten mithilfe des europäischen Satellitennavigationssystems GALILEO und weiterer GNSS-Systeme auf einem Schiffs-Demonstrator analysiert und Möglichkeiten der Standardisierung von PNT-Einheiten evaluiert. Weiterhin wurde untersucht, in welchem Umfang heute verfügbare Daten des maritimen Automatic Identification Systems (AIS) und RADAR-Daten für TSA-Systeme genutzt werden können. Die Ergebnisse des Projektes wurden der IMO als Handlungsempfehlungen zur Verfügung gestellt [155]. In einem Nachfolgeprojekt „Automated Aids for safe and efficient Vessel Processes“ (A++Set, Laufzeit: 2016-2018) verfolgt das DLR derzeit eine Weiterentwicklung des PNT- und TSA-Moduls, die im Jahr 2018 einen vorläufigen Abschluss finden soll [156].

In einem vom BMWi geförderten Forschungsprojekt „Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inland Water Traffic“ (PiLoNav, Laufzeit: 2012-2014) war es das Ziel der Projektpartner (u. a. TU Dresden und DLR), eine PNT-Unit für den Binnenschiffsverkehr sowie eine Train Location Unit (TLU) für den Bahnverkehr zu konzipieren. Die Testung der Systeme erfolgte dabei im Rahmen laborgestützter Simulationen sowie mithilfe mehrerer mit Sensorik ausgestatteter Versuchsschiffe [157]. Ein ebenfalls vom BMWi gefördertes Folgeprojekt „Leit- und Assistenzsysteme zur Erhöhung der Sicherheit der Schifffahrt auf Inlandwasserstraßen“ (LAESSI, Laufzeit: 2015-2017) des DLR in Kooperation mit weiteren Partnern führte im März 2018 zur Testfahrt eines mit verschiedenen digitalen Assistenzsystemen ausgestatteten Binnenschiffs. Es wurden ein System zur Warnung vor niedrigen Brückendurchfahrten, ein Autopilot zur automatischen Schiffssteuerung, ein Informationssystem u. a. zur Ruderlage und Drehzahl

der Schiffsschraube sowie ein Assistenzsystem zum präzisen Anlegen an Kaimauern und an anderen Schiffen installiert (Abbildung 46) [158].



Abbildung 46: Schiffsassistentensysteme im Rahmen des DLR-Verbundprojekts „LAESSI“ (DLR 2018 [158])

Neben den genannten Projekten existieren zahlreiche weitere Entwicklungen, um die Schifffahrt mithilfe bordeigener Sensoren sowie satellitengestützter Informationen sicherer zu gestalten. Neben Navigationsanwendungen dienen Sensoren bereits heute der Identifizierung vermisster Personen in großen Distanzen oder der frühzeitigen Warnung vor Piraterie. Dabei finden Wärmebildtechnologien, HD-Farbkameras, Lasersysteme und weitere Sensoren Anwendung [159].

Presseberichten zufolge ist festzustellen, dass die Zustandsüberwachung einzelner Schiffsbauteile (v. a. von Motorbauteilen, Getrieben, Generatoren) bereits von mehreren Reedern prototypisch realisiert wurde. Neben der Entwicklung verbesserter Navigationslösungen wird die Digitalisierung der Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) von Schiffsbauteilen derzeit durch industrielle Forschung vorangetrieben. Dieses Ziel verfolgt z. B. das Projekt „Condition Monitoring of Marine Gearboxes“ (CoMoGear, Laufzeit: 2016-2018), das vom BMWi gefördert wird. Die Projektpartner aus der Industrie und Wissenschaft streben eine Weiterentwicklung der Fernüberwachung von Betriebszuständen im Getriebe (z. B. von Temperaturen, Drehzahlen, Drehmomenten und Schwingungen) an, um neben einer frühzeitigen Schadensfeststellung auch den Verschleiß rotierender Bauteile zu messen. Die Entwicklung eines Demonstrators ist geplant [160].

### 2.2.3.2 Papierlose See- und Binnenschifffahrt

Als Vorreiter bei der Digitalisierung vormals papiergestützter Prozesse gilt der Hamburger Hafen. Im Rahmen des Vorzeigeprojektes „smartPORT logistics“ wurden seit 2013 von der Hamburger Port Authority (HPA) mehrere IT-Lösungen mit dem Ziel eines vernetzten und effizienteren Hafenbetriebs initiiert. Bis Mitte 2018 ist nach einer mehrmonatigen Entwicklungsphase die Einführung eines elektronischen Meldeverfahrens für Binnenschiffe bei der Nutzung von Hafeninfrastruktur geplant. Zu diesem Zweck wurde ein Webportal „ELBA“ erstellt. Die Übermittlung von Dokumenten erfolgte zuvor zumeist per Fax [161]. Im Verkehr mit Seeschiffen wurde bereits im Jahr 2012 ein elektronisches Meldesystem „Maritime user Service tool for Hamburg vessel calls“ (Must-Have) eingeführt, die Entwicklung erfolgte durch einen externen IT-Dienstleister [162]. Vorarbeiten innerhalb eines Forschungsprojekts an der Universität Hamburg „Generische Architekturen für Leitstände“ (GeneAL) führten zur Entwicklung eines „Port Monitor“ genannten Leitsystems im Hamburger Hafen. Der Port Monitor übermittelt Kapitänen und Hafenbediensteten seit Herbst 2012 Echtzeit-Informationen u. a. zu Pegelständen, Brückenmaßen und

Baustellen, die in einer georeferenzierten Kartendarstellung auch auf mobilen Endgeräten abgerufen werden können, ohne dass eine Dokumentenvorhaltung in Papierform länger notwendig ist [163].

Auch in der Binnenschifffahrt existieren Beispiele für Forschungs- und Entwicklungsbemühungen in Richtung eines papierlosen Betriebs. Im Jahr 2006 projektierte das österreichische BMVIT mithilfe von Fördergeldern aus dem europäischen Fonds für transeuropäische Verkehrsprojekte (TEN) ein Informations- und Managementsystem für die Binnenschifffahrt auf der Donau (Donau River Information Services, DoRIS). Die per Smartphone-/Tablet-Applikation umgesetzten Dienstleistungen sind u. a. die Bereitstellung elektronischer Wasserstraßenkarten, von Informationen zu Wasserpegeln, Schleusenbetriebsstellen oder der internationale Datenaustausch (z. B. Gefahrgutmeldungen) (Abbildung 47) [164]. Das Projekt wurde beständig weiterentwickelt. Seit 2017 gilt beispielsweise eine elektronische Meldepflicht für Kapitäne bei der Einfahrt in die Bundeswasserstraße Donau mit dem Ziel, Wartezeiten zu reduzieren [165].



Abbildung 47: Tablet-Anwendung „DoRIS“ - Ausschnitt aus Image-Film „DoRIS mobile“ der viadonau (viadonau 2014 [166])

Mithilfe von Finanzmitteln aus dem europäischen CEF-Fonds wurde am Oberrhein zwischen Basel und Mannheim im Zeitraum 2014 bis 2017 ein Entwicklungsprojekt „Verkehrsmanagement-Plattform“ durchgeführt. Insgesamt schlossen sich sieben Hafenbetriebe zusammen mit dem Ziel, eine IT-Plattform für eine effizientere Abwicklung des Binnenschiffbetriebs auf dem Oberrhein zu entwickeln. Die realisierten Funktionen umfassen eine elektronische Reservierung von Liegeplatzzeiten an Containerterminals, eine elektronische Übertragung von Lösch- und Ladelisten, die Generierung elektronischer Zollformulare sowie die Schaffung einer Transportplattform zur Vermarktung freier Transportkapazitäten [167].

### 2.2.3.3 Energie- und kapazitätsoptimierte See- und Binnenschifffahrt

Die Entwicklungen zur Erreichung einer energieeffizienteren Schifffahrt befinden sich derzeit noch in den Grundzügen. Die Schiffsindustrie und Reeder sind vielfach noch nicht bereit, in eine entsprechende Forschung und in Technologien zu investieren [168]. Ein technologisch kostenneutraler Lösungsansatz zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs und von CO<sub>2</sub>-Emissionen – die Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten von Schiffen – wurde z. B. im EU-geförderten Forschungsansatz „Ultra Slow Ships“ (ULYSSES, Laufzeit: 2011-2013) verfolgt [169]. Ein weiteres EU-Forschungsprojekt „Green Retrofitting of Existing Ships“ (REFRESH, Laufzeit: 2012-2015) unter Beteiligung von 19 Partnern, darunter Reeder, Werftbetreiber und Forschungsinstitutionen, führte zur Entwicklung eines prototypischen „Ship Energy Efficiency Management Plan“ (SEEMP). Auf einem im Jahr 2014 zu Testzwecken ertüchtigten Schiff konnte ein effizientes Live-Monitoring u. a. von Energieverbräuchen und Emissionen nachgewiesen werden [170; 171].

An einigen Hafenstandorten wurde in der Vergangenheit eine Kapazitätsoptimierung des Schiffsbetriebs durch die Installation digitaler Verkehrsmanagementsysteme (auch Sea Traffic Management Systeme genannt) durchgeführt. Neben bestimmten Binnenhäfen (vgl. vorherigen Abschnitt) positionierte sich in Europa der Port of Rotterdam als Innovationstreiber bei der Anwendung neuer Systeme (Port Call Optimisation; Pronto; Shiptracker) u. a. zur automatisierten Prognose der voraussichtlichen Schiffs-Ankunftszeit (ETA) unter Berücksichtigung von Wasser-, Wetter- und weiterer Sensordaten, zur Übertragung umfangreicher schiffsbezogener Informationen (z. B. Tiefgang, Informationen zur Ladung) sowie zum Tracking aller Hafenaktivitäten (z. B. Löschen und Laden, Treibstoffaufnahme etc.) eines Schiffes nach dem Einlaufen. Es ergeben sich positive Effekte durch den Wegfall manueller Meldeprozesse des Kapitäns via Funk und Radar sowie durch den Genauigkeitsgewinn beim Datenaustausch und den infolgedessen optimierbaren Logistikprozessen im Seehafen (Abbildung 48) [172; 173].



Abbildung 48: Generierte Vorteile durch das Digitalisierungsprojekt „Pronto“ im Hafen Rotterdam (eigene Darstellung in Anlehnung an [174])

Die in Rotterdam realisierten Systeme lassen sich auf umfängliche Forschungs- und Entwicklungsprojekte zurückführen, etwa zur Standardisierung des Datenaustauschs zwischen Schiffen und Häfen sowie bei der technischen Realisierung des Datenaustauschs. Zu nennen sind u. a. die EU-geförderten Projekte „MONALISA 1.0/2.0“ (Laufzeit: 2010-2015, [175]) sowie die von dem United Kingdom Hydrographic Office (UHKO) in Kooperation mit der International Harbour Master’s Association (IHMA) entwickelten Projekte „Access to Validated, Nautical Information“ (AVANTI) und „Port Rendezvous Of Nautical and Terminal Operations“ (PRONTO) [176].

#### 2.2.3.4 Personal- und kostenoptimierte See- und Binnenschifffahrt

Die vollautomatisierte sowie die autonome Seeschifffahrt werden in der Fachpresse bereits ausführlich und teilweise kontrovers diskutiert. Vom Motoren- und Turbinenhersteller Rolls-Royce wurden in der Vergangenheit Konzepte autonomer Schiffe u. a. für den Einsatz als Küstenpatrouille-Boote entwickelt. Experten zufolge ist ein regulärer Einsatz autonomer Hochseeschiffe frühestens ab 2030 denkbar [177]. Die Entwicklung neuartiger Navigationslösungen auf der Brücke (vgl. z. B. Bemühungen der IMO, siehe oben) könnte die Einführung der autonomen Seeschifffahrt unterstützen. Durch den weitgehenden Verzicht auf eine Besatzung ergäbe sich neben einer Kosten- auch eine Platzersparnis, da bestimmte Aufbauten und Einrichtungen zur Unterbringung und Lebensrettung der Besatzung entfielen.

Im Zeitraum von 2015 bis 2017 initiierte Rolls-Royce ein Forschungsverbundprojekt „Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative“ (AAWA) gemeinsam mit Industriepartnern, Universitäten und Forschungsinstituten. Eine Technologiebasis bildet das Ship-to-Ship- bzw. Ship-to-Shore-Kommunikationssystem „Fleet Xpress service“ des Unternehmens Inmarsat. Weitere Entwicklungen im Rahmen der AAWA-Initiative werden bei Kontroll-Algorithmen, bei der Sensor-Fusion, im Bereich des Risikomanagements und der rechtlichen Bewertung verschiedener Szenarien des autonomen Fahrens angestrebt (Abbildung 49) [178]. In einem 2017 durchgeführten Feldversuch gelang Rolls-Royce die Fernsteuerung eines kommerziellen Schiffes im Kopenhagener Hafen [179]. In den nächsten Jahren sind weitere Testläufe auch auf hoher See zu erwarten.

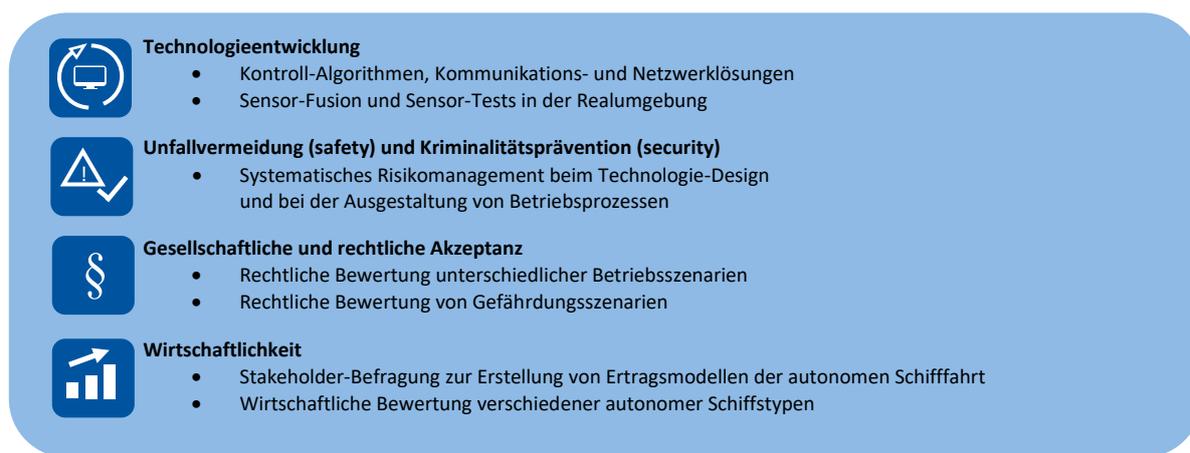


Abbildung 49: Forschungsfelder im Rahmen der AAWA-Initiative (eigene Darstellung in Anlehnung an [178])

## 2.2.4 Forschung im Bereich Digitalisierung des Luftverkehrs

In den Folgeabschnitten werden Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich des Luftverkehrs vorgestellt und entsprechend den identifizierten Digitalisierungsoptionen bei Tätigkeiten des Piloten gegliedert (vgl. Abschnitt 2.1.4.2, Abbildung 9).

Ähnlich wie im Fall der See- und Binnenschifffahrt zeichnen sich Projekte des Luftverkehrs häufig durch eine internationale Beteiligung aus. Nachfolgende Ausführungen konzentrieren sich vorwiegend auf europäische Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit dem Ziel, neue digitale Piloten-Assistenzsysteme zur Erhöhung der Sicherheit und Senkung von Lärmemissionen zu etablieren. In weiteren, z. T. industriegetriebenen Forschungsprojekten werden derzeit die Voraussetzungen für den autonomen Flugbetrieb geschaffen, der mit Personal- und Kostenreduktionen einhergehen könnte.

### 2.2.4.1 Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierter Luftverkehr

Trotz eines hochautomatisierten Flugbetriebs müssen Piloten in der Lage sein, Flugzeuge jederzeit manuell zu fliegen und in Extremsituationen die Steuerung zu übernehmen. Eine mögliche Unterstützung manueller Handlungen des Piloten durch ein digitales Assistenzsystem wurde bereits im Rahmen eines europäischen Forschungsprojekts analysiert. Ziel des im Zeitraum 2012 bis 2016 durch das 7. EU-Forschungsrahmenprogramm geförderten Projekts „Manual Operation for 4th Generation Airliners“ (Man4Gen) war es, das Verhalten von Piloten in Extremsituationen (u. a. bei eingeschränkter Sicht, dem Vorliegen eines Autopilotenfehlers bzw. Triebwerksausfalls) innerhalb einer Simulationsumgebung zu evaluieren. In einem zweiten Szenario wurde Testpiloten ein von den Projektpartnern (u. a. DLR, Airbus, Boeing) entwickeltes Assistenzsystem zur Verfügung gestellt. Durch den Einsatz eines so genannten

„Risk Information System“ als Displayanwendung im Cockpit konnte eine sinkende Arbeitsbelastung der Piloten nachgewiesen werden. Das System informierte u. a. über das Risikolevel verschiedener Flugphasen, die Auswirkungen von Störungen bzw. von Extremsituationen auf den Gesamtzustand des Flugzeugs sowie Schritte zur Fehlerbehebung (Abbildung 50). Nach dem Abschluss des Projekts im Jahr 2016 werden die gewonnenen Forschungsergebnisse zurzeit in weiteren Simulator-Kampagnen getestet und bewertet [180; 181].



Abbildung 50: Display-Anwendung „Risk Information System“ im Cockpit (DLR 2016 [180])

Ein weiteres Beispiel für Forschungen zur Entwicklung digitaler Pilotenassistenzsysteme bietet das in den Jahren 2009 bis 2012 betriebene DLR-Projekt „Wetter und Fliegen“. Im Forschungsverbund mit mehreren DLR-Instituten wurden entsprechende Zusatzinformationen über Windböen, -scherungen und –schleppen in vorhandene Cockpit-Displays integriert. Zudem wurde ein Algorithmus entwickelt, der es der Flugsteuerung ermöglicht, entsprechenden Wetterphänomenen automatisch gegenzusteuern. Das Assistenzsystem basiert auf Wetterdaten von Satelliten, Radarstationen und Wetterdiensten sowie auf Flugzeugdaten. Die Ergebnisse des Projekts wurden im Rahmen von Patentanmeldungen geschützt und fließen in Folgeprojekte des DLR ein [182; 183].

Ein im Vergleich zu den vorgestellten digitalen Assistenzsystemen besonders innovatives Forschungsfeld lässt sich unter dem Begriff „Augmented Reality“ (AR) fassen. Im Fokus steht z. B. die Entwicklung von Head-up-Displays (HUD) sowie Head-mounted-Displays (HMD). Im AR-Modus werden in Ergänzung zur visuell erkennbaren Realität flugrelevante Informationen in das Sichtfeld des Piloten per Projektionsfläche oder Hologramm (im Fall von HUD) sowie per Brille (im Fall von HMD) eingeblendet (Abbildung 51). Dabei handelt es sich beispielsweise um Geschwindigkeits- und Höhendaten oder Angaben zum Anstellwinkel des Höhenruders [184]. Während sich AR-Systeme im militärischen Luftverkehr längst etabliert haben, wird die Anwendung im zivilen Luftverkehr zurzeit prototypisch erforscht. Das Start-Up-Unternehmen Aeroglass entwickelt HMDs, die zukünftig in großer Zahl zum Einsatz kommen könnten. In einem durch das EU-Forschungsprogramm „Horizon 2020“ geförderten Forschungsprojekt „Augmented reality aerial navigation for a safer and more effective aviation“ (AEROGLOSS, Laufzeit: 2015-2017) wurden die Grundlagen für das Industrieprojekt gelegt. Das Aeroglass-HMD ist mittlerweile für die reguläre Anwendung erhältlich [185].



Abbildung 51: Beispielhafte Informationseinblendung per HMD  
(Aeroglass / Screenshot Imagevideo [186])

Die prädiktive Instandhaltung von Flugzeug-Bauteilen durch eine kontinuierliche Zustandsüberwachung ist aktuell Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsprozessen. Moderne Verkehrsflugzeuge verfügen bereits in der Gegenwart über eine umfangreiche Sensorik, sodass je Flug bis zu 500 Megabyte an Daten generiert werden. Die Herausforderung besteht darin, kritische Zustände bereits während des Fluges zu diagnostizieren, diese im Cockpit anzuzeigen und dem Bodenpersonal zu übermitteln. Somit könnten der Flugverkehr sicherer gestaltet und Wartungsprozesse angepasst werden. Bislang fließt die Mehrzahl erfasster Daten noch nicht in Instandhaltungsprozesse ein [187]. Zur Weiterentwicklung der Instandhaltungsverfahren betreibt u. a. das Unternehmen Lufthansa Technik entsprechende Forschungsprojekte. In einer Teilstudie in Kooperation mit der TU Darmstadt wurden im Jahr 2014 u. a. Prognosealgorithmen zur Simulation und Bewertung einer möglichen zukünftigen Instandhaltungsstrategie spezifiziert [188]. In einem weiteren, größeren Verbundprojekt „Overall Management Architecture for Health Analysis“ (OMAHA, Laufzeit: 2014-2017) im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo) des BMWi wurden ähnliche Zielsetzungen angestrebt. Die Projektpartner (u. a. Airbus, Lufthansa, DLR) entwickelten u. a. Simulationsumgebungen zur Modifizierung von Hard- und Softwarekomponenten einzelner Flugzeuge [189].

#### 2.2.4.2 Lärm- und energieoptimierter Luftverkehr

In einem 2016 vorgestellten Forschungsprojekt des DLR evaluierten die Projektbeteiligten lärm- und emissionsarme Landeanflugverfahren im Rahmen eines neu entwickelten, digitalen Pilotenassistenzsystems. Bei der „Low Noise Augmentation System“ (LNAS) genannten Entwicklung handelt es sich um eine Displaylösung im Cockpit, das so genannte „Electronic Flight Bag“ (EFB), welches dem Piloten den jeweils optimalen Zeitpunkt für Handlungen während des Landeanflugs visualisiert. Dabei wird u. a. zwischen Zeitpunkten für das Setzen von Landeklappen und das Ausfahren der Fahrwerke unterschieden. Es soll insbesondere der lärmintensive Einsatz von Bremsklappen zur Verringerung des Schubs vermieden werden. Weiterhin ergibt sich ein verringerter Treibstoffverbrauch in einer Größenordnung von bis zu zehn Prozent je Landevorgang. Die Berechnung des optimalen Zeitpunkts für Handlungen des Piloten hängt u. a. von der vorliegenden Wetterlage, Sichtbedingungen, dem Flugzeuggewicht und weiteren Variablen ab. Das LNA-System kam bereits im Rahmen von Testflügen zur Anwendung. Weitere Forschungen sind notwendig, um das System für den kommerziellen Flugbetrieb zuzulassen [190; 191].



Abbildung 52: Display-Anwendung „Low Noise Augmentation System“ (LNAS) des DLR (Pressefoto DLR 2016 [180])

#### 2.2.4.3 Personal- und kostenoptimierter Luftverkehr

Bestimmte Flugzeughersteller, z. B. Airbus und Boeing, streben bereits heute die Entwicklung neuer Technologien an, um die kommerzielle Luftfahrt kosteneffizienter zu gestalten. Die Zukunftsvisionen umfassen zunächst die „Single-Pilot-Operation“ von Flugzeugen, d. h. den Verzicht auf eine Doppelbesetzung des Cockpits. Darüber hinaus soll der unbemannte Flugbetrieb langfristig nicht nur auf Drohnen beschränkt sein, sondern auf den Personentransport in Helikoptern und Passagierflugzeugen erweitert werden [192].

Derartige Zukunftskonzepte wurden beispielsweise im „Horizon 2020“ geförderten EU-Forschungsprojekt „AI-based autonomous flight control for the electric passenger aircraft of the nearest futures“ (Covid, Laufzeit: 2016-2017) erforscht. Unter Leitung des Start-Up-Unternehmens Daedalean, einem interdisziplinären Team u. a. bestehend aus Google-, SpaceX- und ETH Zürich-Mitarbeitern, wurden Strategien ausgearbeitet, um rechtliche Barrieren und sonstige Markteintrittsbarrieren eines bestehenden, mit künstlicher Intelligenz (AI) ausgestatteten Autopilot-Systems für den kommerziellen Luftverkehr zu evaluieren [193].

Der unbemannte Lufttransport größerer Frachtgüter wird derzeit u. a. in einem Forschungsprojekt „Automated Low Altitude Air Delivery“ (ALAADy, Laufzeit: 2016-2018) des DLR erforscht. Im Unterschied zu Projekten größerer Flugzeughersteller und Airlines geht es um eine Automatisierung des Flugbetriebs auf niedrigen Höhen unter 150 m mithilfe großer Drohnen. Das geplante System wird derzeit in Simulationsumgebungen geprüft, um die Betriebssicherheit und mögliche Einsatzszenarien zu evaluieren [194]. In einem weiteren Forschungsprojekt unter Beteiligung des DLR, „Unmanned Freight Operations“ (UFO, Laufzeit: 2014-2017), wurden Möglichkeiten des autonomen Flugbetriebs großer Frachtflugzeuge auf Langstrecken erforscht. Ein besonderer Fokus lag auf der Evaluierung technischer Anforderungen an die Kommunikation, Navigation und Überwachung unter Berücksichtigung derzeitig verfügbarer Systeme. Zudem ging es um die Integration in den bestehenden Luftverkehr, die Zustandsüberwachung durch Lotsen am Boden und die Frage, ob sich durch das unbemannte Fliegen Nachteile für den konventionellen Luftverkehr ergeben [195].

## 2.2.5 Forschung im Bereich Digitalisierung in weiteren Branchen

### 2.2.5.1 Energiewirtschaft

In der Energiewirtschaft lassen sich derzeit zahlreiche, mit dem Begriff der Digitalisierung verknüpfte Forschungstätigkeiten im Bereich Condition Monitoring (CM) feststellen. Dabei stehen Technologien zur regenerativen Energieerzeugung im Fokus. Das international anerkannte Forschungsinstitut „Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.“ (ZAE Bayern) betreibt unter universitärer Beteiligung (u. a. TU München, FAU Erlangen) und mithilfe von Fördermitteln des Bundes und des Freistaates Bayern z. B. Projekte, um Photovoltaik-Module automatisiert zu überwachen und zu warten [196]. Derzeit verfügt der überwiegende Anteil installierter Anlagen über keine Überwachung, sodass Schäden häufig nicht oder zu spät erkannt werden [197]. Es werden derzeit bildgebende Verfahren (u. a. Infrarot-Thermographie) sowie Algorithmen entwickelt, die zukünftig die automatisierte Erkennung von Defekten an Solarmodulen ermöglichen könnten. In einem ähnlichen, im Zeitraum 2012 bis 2015 in Bayern betriebenen Forschungsprojekt „Photovoltaik (PV) Smart“, wurden ebenfalls Algorithmen zur Fehlererkennung und zur Ertragsprognose von Solaranlagen erprobt [197].

Im Technologiesektor Windkraft konnten sich Technologien des CM bereits etablieren und sind die Grundlage prädiktiver Instandhaltungsstrategien. Systeme zur schwingungs- bzw. körperschallbasierten Zustandsüberwachung von Triebstrangkomponenten sind Recherchen des „Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology“ (IWES) am weitesten entwickelt, während sich z. B. das „Getriebeöl-Monitoring“ oder die Überwachung der Strukturintegrität von Rotorblättern und Tragstrukturen noch im Entwicklungsstadium befinden. Betriebszustände und Umweltbedingungen (z. B. Rotorumdrehung, Windgeschwindigkeit) werden in der Regel in zehnminütigen Messintervallen aufgezeichnet und übermittelt [198]. Das IWES ist aktuell an mehreren durch das BMWi und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Forschungsverbundprojekten im Themenbereich der digitalen Instandhaltung beteiligt. Entwickelt werden z. B. ein laser- und kamerabasiertes Inspektionssystem zur Dokumentation von Schäden im Mikrometerbereich (Projekt „BeLeb“, Laufzeit: 2017-2020, [199]) sowie ein Sensorsystem an Windkraftanlagen für die präventive Instandhaltung und Ausfall-Ursachenforschung (Projekt „MOD-CMS“, Laufzeit: 2015- 2019, [200]). Bestehende Überwachungssysteme der Strukturintegrität werden optimiert (Projekt „MultiMonitor RB“, Laufzeit: 2017-2020, [201]), zudem wird eine Studie zur Wartung und Inspektion unter dem Einsatz unbemannter Fluggeräte erstellt (Projekt „Thermoflight“, Laufzeit: 2017-2018, [202]). Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Im Forschungsgebiet „Big Data-Analyse“ lässt sich eine enge Verknüpfung des Ingenieurwesens mit den Disziplinen Mathematik und Informatik feststellen. Ein Großteil der Projekte mit dem Ziel des CM kommt nicht umhin, umfangreiche Diagnosedaten mithilfe zum Teil komplexer Algorithmen für Instandhaltungszwecke aufzubereiten. Ein größerer Forschungsbedarf ergibt sich zudem, wenn Zielzustände mithilfe von Modellen prognostiziert werden sollen, etwa kritische Verschleißzustände. Beispielhaft soll an dieser Stelle das u. a. durch das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) und die Unternehmen Resolto Informatik GmbH sowie Deutsche Windtechnik Service GmbH & Co. KG durchgeführte Forschungsprojekt „PrognoseBrain“ (Laufzeit: 2014-2015) genannt werden. Im BMWi-geförderten Projekt wurde eine Softwarelösung entwickelt, die anhand von Echtzeit-Diagnosedaten Normabweichungen im Betrieb von Windkraftanlagen erkennt und entsprechende Meldungen an zentrale Kommandozentralen sowie digitale Endgeräte des Instandhaltungspersonals versendet [203; 204].

Die Verwendung mobiler Diagnosegeräte für Instandhaltungspersonal entspricht bereits heute dem Stand der technologischen Entwicklung im Energiesektor. Seit 2015 wird durch den TÜV Rheinland ein

mobiles „Condition Monitoring System für Windkraftanlagen, zur Überwachung und Erkennung von Zustandsänderungen an relevanten Komponenten und Bauteilen“ (WKA CC8) beworben. Ermöglicht wird die Schwingungsmessung mittels mobiler Messinstrumente, die eine Schnittstelle für die Laptop- oder Tablet-gestützte Auswertung besitzen [205].

#### 2.2.5.2 Telekommunikation

Ein Schwerpunkt der aktuellen Forschungstätigkeit im Telekommunikationssektor ist im Bereich drahtloser Netzwerklösungen bzw. Wireless Network Solutions (WNS) angesiedelt. Das Ziel eines im Rahmen der EU-Forschungsinitiative „Horizon 2020“ geförderten, kürzlich abgeschlossenen Projekts „Wireless Software and Hardware Platforms for Flexible and Unified Radio and Network Control“ (Wishful, Laufzeit: 2015-2017, [206]) war es, mit Open-Source-Software und -Programmschnittstellen eine Testumgebung für zukünftige Wireless-Lösungen zu entwickeln. Bestandteile der Entwicklung waren sowohl eine Vereinheitlichung der Funkfernbedienung (radio control) sowie die standardisierte Protokollerstellung für die Datenübermittlung [207]. Ein ebenfalls EU-gefördertes Forschungsprojekt „elastic Wireless Networking Experimentation“ (eWINE, Laufzeit: 2016-2017, [208]) konzentrierte sich auf flexible WNS. Vor dem Hintergrund einer drohenden Überlastung verfügbarer Frequenzbereiche für Wireless-Anwendungen war es Ziel des Konsortiums, auf der Basis neuer Algorithmen eine standardisierte Lösung zur effizienten Nutzung des Signalspektrums zu generieren. Die kurzfristige Bereitstellung einer funkbasierten Datenübertragung „on-demand“ für einen großen Teilnehmerkreis könnte dadurch vereinfacht werden [209].

Mehrere Forschungsprojekte lancieren bereits Wireless-Netzwerke via 5G-Datenübertragung. Eine gesteigerte Datenübertragung gilt als Grundvoraussetzung für die Zielvorstellung des „Internet of Things“ (IOT), das eine flächenhafte Vernetzung sensorgestützter Hardware vorsieht. Ziel eines ebenfalls im Förderrahmen „Horizon 2020“ angesiedelten Projekts „Building an Intelligent System of Insights and Action for 5G Network Management“ (CogNet, Laufzeit: 2015-2017, [210]) war es, Möglichkeiten des maschinellen Lernens (Machine Learning) auf die projektierte 5G-Netzwerktechnologie anzuwenden. Im Projekt wurde eine Software-Architektur entwickelt, die im Rahmen eines automatischen Netzwerkmanagements in der Lage ist, eine benötigte 5G-Bandbreite zu prognostizieren und diese unter Einhaltung eines hohen Qualitätsanspruchs dem Endnutzer zur Verfügung zu stellen [211].

Ein deutsches Forschungskonsortium aus 15 Partnern strebt derzeit im Projekt „Industrial Communication for Factories“ (IC4F, Laufzeit: 2017-2020, [18]) eine Kombination der zukünftigen 5G-Technologie u. a. mit den Anwendungen Multi-Access-Edge-Computing (MEC) und Cloud-Computing an. Das BMWI-geförderte Projekt richtet sich gleichermaßen an eine industrielle wie private Nutzung der 5G-Datenkommunikation. Die Anwendungen MEC bzw. Cloud-Computing sollen die notwendigen Rechen- und Speicherkapazitäten möglichst nah am Endnutzer bereitstellen, um den Datentransfer zu begrenzen [212]. Eine ähnliche Zielsetzung verfolgen die beteiligten Institutionen des durch das BMBF geförderten Forschungsprojekts „Secure Networking for a Data Center Cloud in Europe“ (SENDATE, Laufzeit: 2016-2019, [213]). In dem Projekt werden u. a. ein effizienteres Verfahren zur Glasfaserübertragung und die Errichtung dezentral gelegener Datenzentren analysiert. Eine somit gesteigerte Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Telekommunikationsnetzwerke sind die Grundvoraussetzungen für sicherheitskritische und in gleichem Maße datenintensive Anwendungen wie z. B. das Internet of Things oder das autonome Fahren [213].

Neben der Entwicklung leistungsfähiger drahtloser Netzwerke fokussieren sich Forschungsprojekte auf das Thema IT-Sicherheit bzw. Cyber-Security. Im März 2011 initiierte das BMBF drei Kompetenz- und Forschungszentren für IT-Sicherheit (CISPA, CRISP und KASTEL, Laufzeit: 2011-2021, [214]). Mehrere Forschergruppen des Saarbrücker Zentrums CISPA arbeiten derzeit an einer Weiterentwicklung der au-

tomatisierten Softwareanalyse sowie mathematischer Modelle zur Abwehr von Angreifern, der Entwicklung von Verteidigungsmechanismen und an der sicheren und zuverlässigen Ausgestaltung von Computersystemen für sicherheitskritische Anwendungen [215]. In ähnlicher Weise sind der Schutz hochsensibler großer Datenmengen und mobiler Datenplattformen Leitthemen des Darmstädter Forschungszentrums CRISP [216]. Ein Forschungsfeld des Karlsruher Zentrums KASTEL untersucht bspw. die Aspekte Sicherheit und Datenschutz eines aufgrund des zunehmenden Solar- und Windenergieanteils zukünftig deutlich dezentraler gestalteten Energienetzes. Es wird u. a. der Fragestellung nachgegangen, wie die Anforderung einer Echtzeitverfügbarkeit von Energieverbrauchsdaten mit Aspekten des Datenschutzes vereinbar sind [217]. In einem weiteren KASTEL-Forschungsfeld steht der Schutz der Privatsphäre bei der Nutzung digitaler Arbeitsmittel am Arbeitsplatz und im privaten Umfeld im Fokus [218].

### 2.2.5.3 Werkzeugmaschinenbau

Durch Industrie 4.0 entstehen Herausforderungen und neue Arbeitsaufgaben, die ein verstärktes Bedürfnis nach Assistenz für den Entscheidungsträger hervorrufen. Assistenzsysteme sollten ergonomisch und menschenzentriert gestaltet sein, um die Rolle des Entscheidungsträgers zu unterstützen. Eine optimale Kombination aus den Fähigkeiten von Mensch und Maschine nach dem MABA-MABA Prinzip (machines are better at – men are better at) ermöglicht eine effektive Aufgabenverteilung [219]. Das human machine interface (HMI), oder auch die Benutzerschnittstelle, bezeichnet die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Dazu zählen alle Elemente des interaktiven Systems, die zur Ausführung einer spezifischen Arbeitsaufgabe notwendig sind. Die Benutzerschnittstelle sollte den Grundsätzen der Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-110 entsprechen, möglichst übersichtlich und eindeutig aufgebaut sein und sich dem Nutzer intuitiv selbst erklären, da sie bestimmt, wie Mensch und Maschine miteinander kommunizieren [220]. Die menschenzentrierte Gestaltung der Assistenzsysteme kann sowohl die Effektivität und Effizienz, als auch die Gesundheit der Arbeitspersonen und die Arbeitssicherheit erhöhen. Im Folgenden werden zwei vom BMBF geförderte Forschungsprojekte exemplarisch vorgestellt.

In dem Projekt „Multimodale aufgabenorientierte Bediensysteme zur flexibel nutzerzentrierten Mensch-Maschine-Interaktion an Produktionsmaschinen“ (MaxiMMI, Laufzeit: 06/2014 – 09/2017) wurde der „Maschinenbediener der Zukunft“ betrachtet. Eine Überlastung durch zu viele, teils hochkomplexe technische Systeme und deren unterschiedliche Funktionsweise sollte vermieden werden. Um die dadurch entstehende mentale Beanspruchung zu reduzieren und eine Überladung mit Informationen zu vermeiden, müssen die Steuerungskonzepte angepasst werden. Die richtige Auswahl der passenden Informationssysteme für zukünftige Techniker wird somit immer wichtiger [21]. Um die Benutzerschnittstelle optimal zu gestalten, müssen Wissen über den Nutzer und die jeweiligen Arbeitsaufgaben vorhanden sein. Auch die mentale Beanspruchung muss bekannt sein bzw. gemessen werden. Ein Messverfahren für die mentale Beanspruchung einer Arbeitsaufgabe, ein Situationsbewusstsein und das jeweilige Expertenlevel der Benutzer stellt das Eye Tracking dar. Mit Pupillometrie lässt sich die kognitive Leistung bei orientierungs-, diagnose-, und ausführungsbasierten Aufgaben während Störfällen am Arbeitsplatz messen [221]. Der Arbeitsplatz sollte so gestaltet sein, dass die Wahrnehmung schnell und einfach ablaufen kann und ein optimales Stresslevel erreicht wird (vgl. Abschnitt 4.1.2). Die neuartigen Maschinensteuerungskonzepte sollten eine intuitive, natürliche Mensch-Technik-Interaktion unter Berücksichtigung der individuellen kognitiven, kulturellen sowie physischen Voraussetzungen ermöglichen.

Das 2015 fertig gestellte BMBF-Projekt ProSense (Laufzeit: 09/2012 – 12/2015) erforschte eine hochauflösende, adaptive Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik. Die Realität der Produktion kann mit der virtuellen Planung abgeglichen werden. Eine manuelle Überplanung, ausgelöst durch unvorhergesehene Ereignisse, soll verringert werden. Die hochauflösende Sensortechnologie sammelt große Mengen an Daten und kann anhand von Datenanalysen

und Datenbündelung Handlungsalternativen empfehlen. Die Handlungsauswahl ist hierbei teilautomatisiert, die Handlungsausführung erfolgt manuell. Mit ProSense wurde ein intelligentes Werkzeug zur Entlastung der Arbeitspersonen geschaffen. Gleichzeitig ermöglicht es dem Entscheidungsträger mehr Transparenz und Überblick über die Produktionsplanung (Abbildung 53) [20].

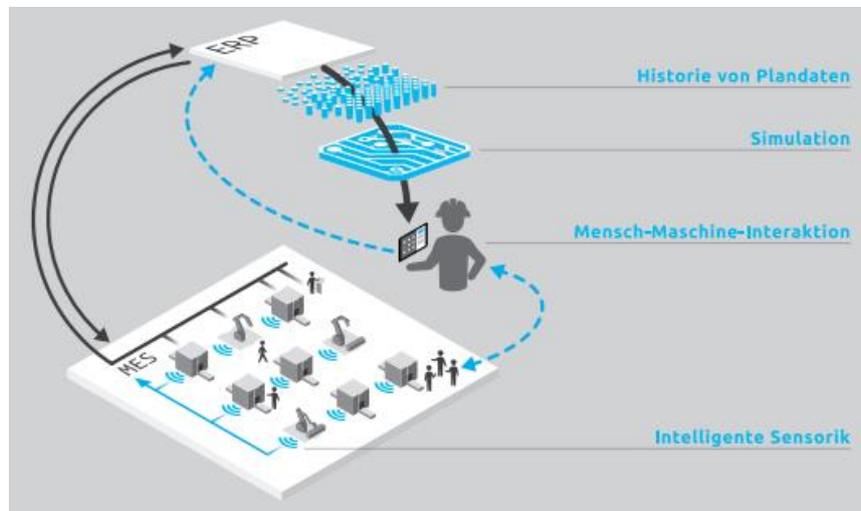


Abbildung 53: Zielvorstellung einer hochauflösenden Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik (Ergebnisbericht Forschungsprojekt „ProSense“ [20]).

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden zusätzlich die Einflussgrößen Polarität und Schriftgröße auf die Gebrauchstauglichkeit einer auf einem Tablet verwendeten Applikation untersucht. In diesem Anwendungskontext wird unter Polarität das Gegensatzpaar einer Visualisierung mit schwarzer Schrift vor weißem Hintergrund oder einer weißen Schrift vor schwarzem Hintergrund verstanden. Die Polarität hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Suchdauer, obwohl es eine leichte Tendenz gab, dass eine positive Polarität zu einer kürzeren Suchzeit führt. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass eine angulare Zeichenhöhe von 24 arcmin zu einer signifikant kürzeren Suchzeit führte als die Verwendung von einer angularen Zeichenhöhe von 20 arcmin. Aus den hier gefundenen Ergebnissen bezüglich der zu verwendenden Polarität und Schriftgröße lassen sich Designempfehlungen für Benutzerschnittstellen ableiten [19; 219; 222].

## 3 Betrachtung relevanter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen

Ziel des Kapitels ist es, digitalisierte Betriebsprozesse des Eisenbahnwesens mit dem Fokus auf den Triebfahrzeugführer zu betrachten. Es werden zunächst relevante Betriebsprozesse recherchiert und beschrieben, bei denen Eisenbahn-Betriebsbeamte über digitale Arbeits- und Hilfsmittel verfügen (Abschnitt 3.1). Anschließend werden sicherheitsrelevante Auswirkungen durch die Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel am Beispiel der in den letzten Jahren erfolgten Tablet-Einführung im Führerraum identifiziert und anhand gängiger Gesetzestexte und betrieblicher Regelwerke beurteilt (Abschnitt 3.2).

### 3.1 Recherche und Beschreibung digitalisierter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen

Einzelne digitale Systeme im Triebfahrzeugführerraum bestehen bereits seit Jahrzehnten. Es handelt sich um nationale Zugbeeinflussungssysteme, die jedoch in einem zunehmenden Ausmaß durch das europäische System European Train Control System (ETCS) ergänzt bzw. abgelöst werden. Geplant ist, ETCS als Plattform für weitere digitale Lösungen bis hin zum automatisierten Fahrbetrieb weiterzuentwickeln. Nur wenige nationale Zugbeeinflussungssysteme ermöglichen bereits heute die ETCS-Funktionalität einer dynamischen Führerraumanzeige, die mit einer deutlichen Arbeitserleichterung für Tf einhergeht. Als weitere digitale Systeme des Tf werden das europäische Bahn-Kommunikationssystem GSM-R, Sensor- und Diagnosetechnik im Führerraum und eine Lösung zur elektronischen Anzeige von Fahrplandaten (EBuLA) vorgestellt. Es folgt eine Beschreibung digitalisierter Betriebsprozesse der Deutschen Bahn AG, die mithilfe der Produkte LEADER als digitales Fahrerassistenzsystem sowie Rail in Motion (RiM) als tabletbasiertes Informationssystem erreicht wurden.

#### 3.1.1 Zugbeeinflussungssysteme

Im Tzf wie streckenseitig verbaute Zugbeeinflussungssysteme sind spätestens seit der Verwendung von rechnergestützten Eingabegeräten und Bildschirmanzeigen im Tzf-Führerraum als digitale Arbeits- und Hilfsmittel des Tf zu kategorisieren. Ein Zugbeeinflussungssystem hat die Aufgabe, einen Zug in Gefahrensituationen selbsttätig zum Halten zu bringen und ein unzulässiges Anfahren gegen Halt zeigende Signale zu überwachen. Während gemäß Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) auf Hauptbahnen ein Zugbeeinflussungssystem vorhanden sein muss, kann auf Nebenbahnen unter Umständen darauf verzichtet werden, beispielsweise dann, wenn lediglich ein einzelner Zug mit geringer Geschwindigkeit auf der Strecke verkehrt [223].

In Deutschland kommt auf Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 160 km/h im Regelfall die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) zum Einsatz. Auf Eisenbahnstrecken, die für Höchstgeschwindigkeiten von mehr als 160 km/h zugelassen sind, muss ein Zugbeeinflussungssystem vorhanden sein, wodurch ein Zug nicht nur selbstständig zum Halten gebracht, sondern zusätzlich zu jedem Fahrtzeitpunkt, d. h. kontinuierlich überwacht werden kann [223]. In diesem Fall wird in Deutschland zumeist die linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) verwendet. Zukünftig wird das Zugbeeinflussungssystem ETCS eine wachsende Bedeutung auf den europäischen Schienenverkehrskorridoren einnehmen. Dabei wird zwischen unterschiedlichen ETCS-Leveln und, ähnlich wie bei der Gegenüberstellung von PZB und LZB, zwischen dem signalgeführten (Limited Supervision, LS) und dem führerraumsignalisierten ETCS-Betrieb (Full Supervision, FS) unterschieden.

### 3.1.1.1 Punktförmige bzw. induktive Zugbeeinflussung (PZB/INDUSI)

Die deutsche PZB ist seit den 1930er Jahren im Einsatz, wurde seitdem ständig verbessert und weist daher z. T. noch unterschiedliche Bauformen auf. Dabei entspricht die PZB 90 dem aktuellen Stand. Mit Hilfe dieser Technik kann ein Zug im Notfall, d. h. im Fall eines irrtümlich überfahrenen, Halt zeigenden Hauptsignals noch rechtzeitig vor einer definierten Gefahrenstelle hinter dem Signal zum Halten gebracht werden. Eine Zwangsbremmung wird zudem ausgelöst, wenn der Tf nach der Vorbeifahrt eines Vorsignals in Warnstellung nicht reagiert. Andererseits erfolgt eine Zwangsbremmung auch nach korrekter Bestätigung des Tf an einem in Warnstellung befindlichen Vorsignals, wenn dieser die Geschwindigkeit des Zuges bis zum Halt zeigenden Hauptsignal nicht rechtzeitig und ausreichend reduziert oder nach einem Halt (z. B. an einem Bahnsteig) unzulässig gegen ein Halt zeigendes Signal anfährt [224].

Zu den Streckeneinrichtungen der PZB gehören Gleismagnete (bzw. Koppelspulen) sowie Schalteinrichtungen an den Signalen. An der Strecke sind vor allem die angebrachten Gleismagnete zu erkennen, die bei Aktivschaltung durch das elektromagnetische Feld eines am Tfz installierten Fahrzeugmagneten bei Vorbeifahrt induktiv eine Spannung erzeugen. Je nach Einbauort ist zwischen Gleismagneten unterschiedlicher Frequenz (500, 1000, 2000 Hz) zu unterscheiden. Bei der Überfahrt eines aktiven Gleismagneten erfährt das Fahrzeug eine Beeinflussung, die ein Tf mithilfe von drei Tasten, den Befehl-, Frei- und Wachsamkeitstasten (Abbildung 54), erwidern muss.

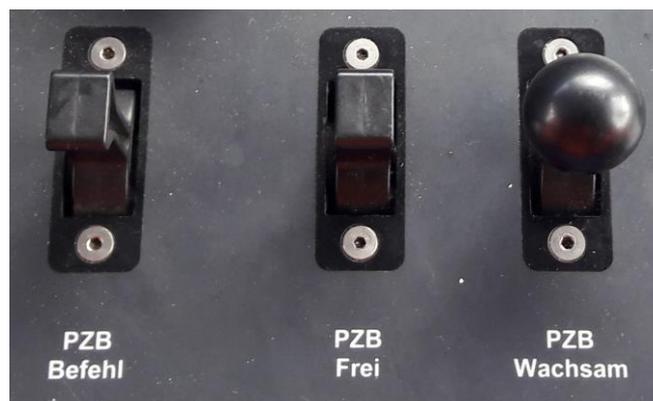


Abbildung 54: PZB-Taster auf dem Tfz-Führerpult  
(eigene Abbildung)

Je nach Fahrzeugtyp zeigen analoge (so genannte Modulare Führerraumanzeigegegeräte, MFA) oder in Modulen Führerraumdisplays (MFD) integrierte Leuchtmelder (LM) die Betriebsbereitschaft, eine Beeinflussung oder den Ablauf einer Geschwindigkeitsüberwachung an (Abbildung 55).



Abbildung 55: Fahrzeugtechnische Integration von PZB-LM  
(MFD: linkes Bild in Rot – MFA: rechtes Bild in Rot) (eigene Darstellung)

Im Fahrbetrieb sind unterschiedliche Kombinationen der LM-Anzeigen möglich (Abbildung 56) [225].

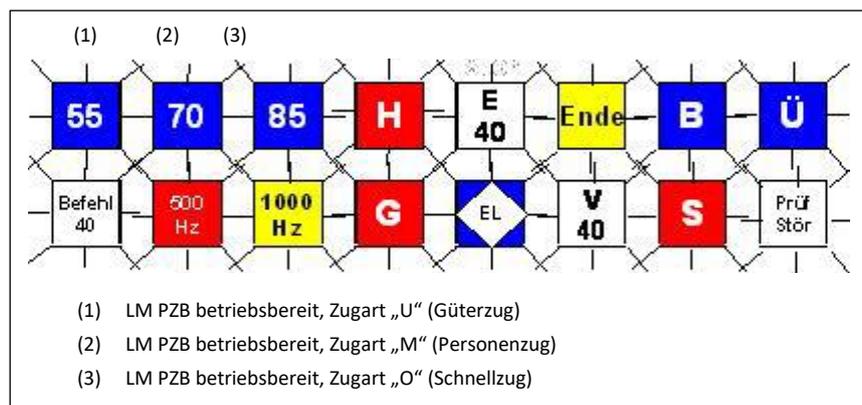


Abbildung 56: PZB-Leuchtmelder  
(Bearbeitet nach DB-Konzernrichtlinie 418.2146A02 [1])

Vor einer Zugfahrt sind vom Tf bestimmte PZB-Vorbereitungsarbeiten durchzuführen. Dabei müssen u. a. die PZB-Fahrzeugeinrichtung eingeschaltet und im Fall einer elektronischen Fahrtenregistrierung (EFR) die Tf-Nr. und Zugnummer eingegeben werden. In einem weiteren Schritt sind die Zugdaten, Bremsart<sup>1</sup> und Brems Hundertstel<sup>2</sup> in den PZB-Rechner (Abbildung 57) einzugeben. Anhand dessen leuchtet einer der drei LM „55“, „70“ oder „85“ zur Darstellung der vorhandenen Zugart U, M oder O

<sup>1</sup> Unter dem Begriff Bremsart werden im Allgemeinen verschiedene Bremsstellungen für automatische Druckluftbremsen zusammengefasst, je nachdem ob es sich um Personenzüge (i. d. R. Bremsstellung P) oder Güterzüge (i. d. R. Bremsstellung G) handelt. Im Fall der P-Bremse setzt die Bremswirkung schneller ein als bei G-Bremsen. Dies hat mehrere Gründe. Personenzüge verkehren mit höheren Geschwindigkeiten und müssen daher stärker abgebremst werden. Güterzüge weisen inhomogenes Wagenmaterial und unterschiedliche Beladungszustände auf. Um Schäden und übermäßigen Verschleiß zu vermeiden, baut sich der Bremsdruck verhältnismäßig langsam auf.

<sup>2</sup> Brems Hundertstel sind die ausschlaggebende Größe, um das Bremsvermögen von Zug-Konfigurationen zu bewerten. Es handelt sich um einen Quotienten aus dem Bremsgewicht (historisch gewachsene Größe zur Bewertung des Bremsvermögens einzelner Eisenbahnfahrzeuge in Abhängigkeit der Bremsart) und der Masse eines Zuges (Gesamtzuggewicht), der mit dem Faktor 100 („Hundertstel“) multipliziert wird.

auf. Da die PZB die Geschwindigkeit des Fahrzeuges nur punktuell überwacht, fallen für den Tf während der Fahrt nur in unregelmäßigen Abständen und insbesondere bei der Durchführung von Bremsungen vor Hauptsignalen in Haltstellung Bedienhandlungen an. Dennoch muss der Tf durch eine kontinuierliche Streckenbeobachtung Signalbegriffe an der Strecke wahrnehmen und jederzeit in der Lage sein, Maßnahmen zur Regulierung der Fahrgeschwindigkeit einzuleiten.

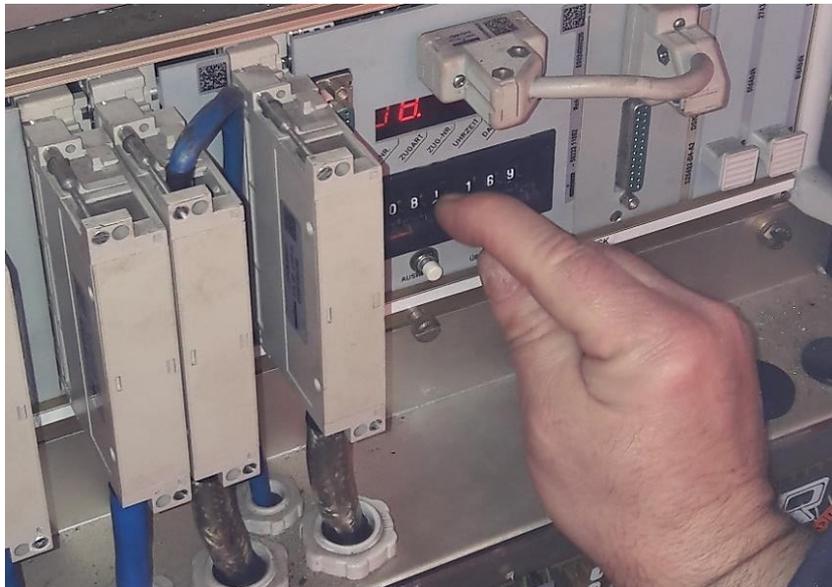


Abbildung 57: Eingabe von Zugparametern in den PZB-Fahrzeugrechner  
(eigene Darstellung)

Aus der PZB-Zugart ergibt sich für den Tf, wie nach der Vorbeifahrt an einem in Warnstellung befindlichen Vorsignal (ein Signalhalt ist zu erwarten) das Bremsverhalten des Zuges angepasst werden muss. Für das situationsgerechte Bremsverhalten stehen dem Tf keine Anzeigen zur Verfügung, er muss nach eigenem Ermessen die Geschwindigkeit anpassen. Die per LM angezeigten, jeweils unterschiedlichen Zahlenwerte „55“, „70“ und „85“ symbolisieren dabei die zu unterfahrende Geschwindigkeit nach einer definierten Zeitdauer (38, 29 bzw. 23 Sekunden). In der betrieblichen Praxis werden Prüfgeschwindigkeiten mit bis zu 20 km/h unterfahren, insbesondere im Güterverkehr. Ein teilweise bauart- und beladungsbedingt stark heterogener Wagenpark, unterschiedlich konstruierte Bremsklotzsohlen und Verschleißzustände sowie teilweise ungünstige Streckenparameter wie ein vorliegendes Gefälle oder die witterungsabhängig variierende Haftreibung zwischen Rädern und Schienen führen zu unterschiedlichen Bremsverzögerungen, die vom Tf bei der Einhaltung von Prüfgeschwindigkeiten berücksichtigt werden müssen (vgl. auch Ril 418.2146A05 [1]). Der Umstand, dass die verbleibende Zeit bis zum Wirksamwerden der Prüfgeschwindigkeit dem Tf nicht angezeigt wird, trägt gleichermaßen dazu bei, dass Tf Prüfgeschwindigkeiten häufig deutlich unterschreiten.

Die im Regelfall durchzuführenden Bedienhandlungen und angezeigten PZB-Informationen werden nachfolgend am Beispiel der PZB-Zugart „O“ (PZB-LM „85“) erläutert (für Zugart „U“ bzw. „M“, vgl. zusätzlich Abbildung 58). Nach der Vorbeifahrt an einem Vorsignal in Warnstellung, d. h. bei der Überfahrt eines aktiv geschalteten 1000 Hz-Gleismagneten, hat der Tf die Wachsamkeitstaste innerhalb von vier Sekunden zu betätigen und erfährt eine akustische Bestätigung. Nach korrekter Betätigung erfolgt eine Aktivierung des gelben LM „1000 Hz“. Nach Erhalt einer 1000 Hz-Beeinflussung wird der einzuleitende Bremsvorgang durch eine zeitabhängige Geschwindigkeitsüberwachung überprüft. Bei der Zugart „O“ ist nach 23 Sekunden eine Prüfgeschwindigkeit von 85 km/h zu unterfahren. Im Abstand von 150 bis 250 m vor einem Halt zeigenden Hauptsignal wird in der Regel eine weitere Geschwindigkeitsüberwachung durch einen 500 Hz-Streckenmagneten angestoßen. Für die Zugart „O“ muss an dieser Stelle eine

Geschwindigkeit von 65 km/h eingehalten werden. Die Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden Hauptsignal führt geschwindigkeitsunabhängig zu einer Zwangsbremung bis zum Stillstand (2000 Hz-Beeinflussung). Eine fehlende Betätigung der Wachsamkeitstaste oder eine Bremsung, die nicht zu einer Unterschreitung der jeweiligen Prüfgeschwindigkeiten führt, löst ebenfalls Zwangsbremungen aus.

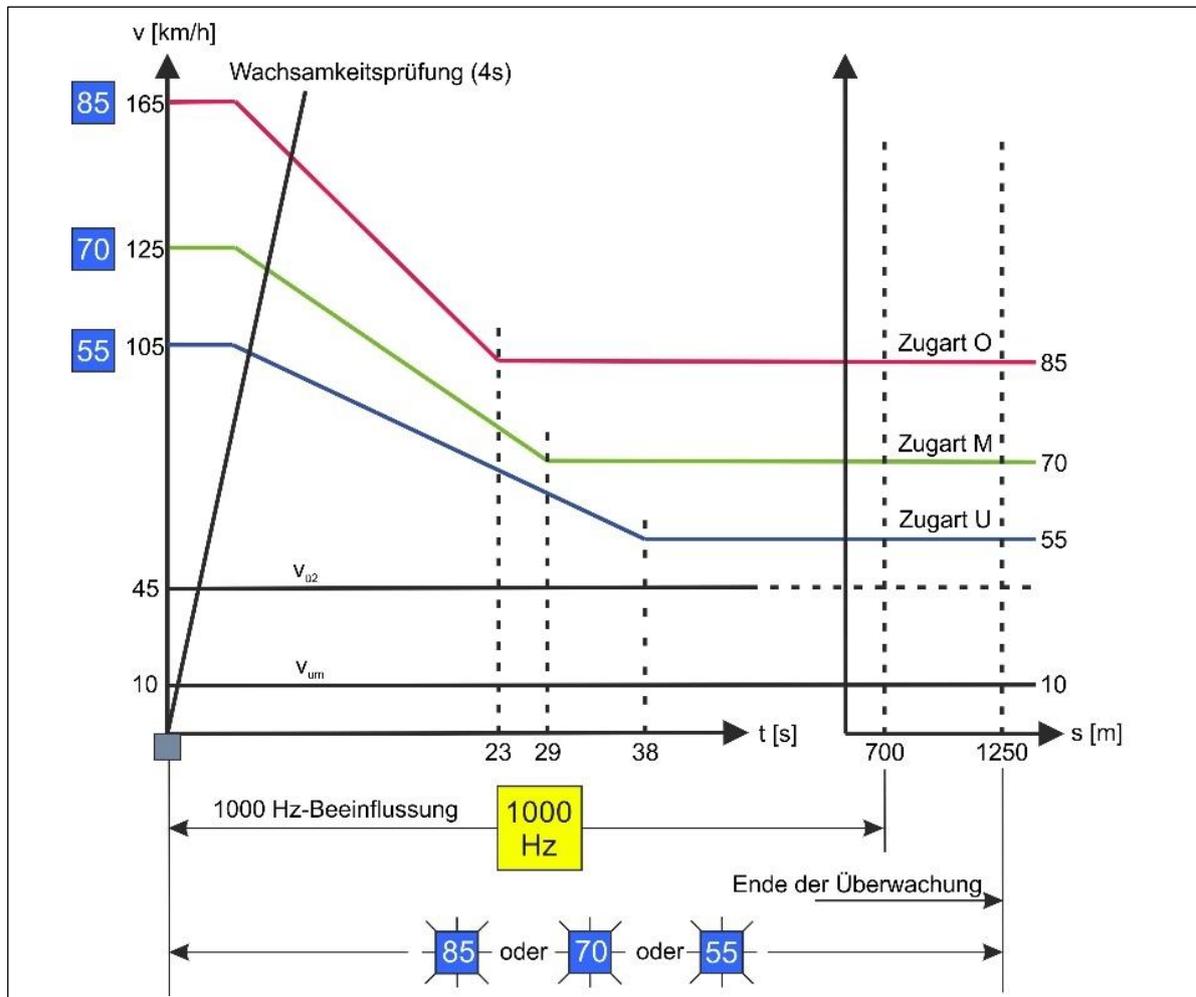


Abbildung 58: Überwachungsfunktion der PZB 90 nach 1000 Hz-Beeinflussung (eigene Darstellung)

In einer Entfernung von 700 m nach der Vorbeifahrt an einem Vorsignal in Warnstellung erlischt der gelbe LM „1000 Hz“, während im Fall der Zugart „O“ ein Blinken des blauen LM „85“ einsetzt. Eine sogenannte Befreiung aus der 1000 Hz-Überwachungsfunktion und ein anschließendes Wiederbeschleunigen wird möglich, wenn der Tf zwischenzeitlich visuell einen Fahrtbegriff von mehr als 30 km/h am Hauptsignal wahrgenommen hat. Nach der erfolgreichen Befreiung durch Betätigen der PZB-Freitaste zeigt der blaue LM Dauerlicht. Hat das Tfz jedoch bereits eine 500 Hz-Beeinflussung erfahren, ist eine Befreiung aus der Überwachungsfunktion nicht mehr möglich.

Die Befehlstaste hat der Tf zur Vermeidung einer Zwangsbremung durch eine 2000 Hz-Beeinflussung zu betätigen. Dies ist beispielsweise nach der erlaubten Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden oder gestörten Hauptsignal vorzunehmen (Ril 418.2146A04 [1]).

### 3.1.1.2 Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB)

Durch die Verwendung der LZB können Züge sicher mit Geschwindigkeiten über 160 km/h fahren. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit kann nicht mehr von einer widerspruchsfreien Erkennung der ortsfesten Signale durch den Tf ausgegangen werden, weshalb eine Führerraumsignalisierung (FRS) notwendig ist. Die Signal- und Streckenbeobachtung durch den Tf verliert dadurch im Vergleich zum PZB-geführten Zugbetrieb an Bedeutung.

Vor Fahrtbeginn mit LZB-Unterstützung müssen durch den Tf per Zugdateneinsteller (ZDE) bzw. per Display die Bremsart und Bremschwertstellung, die Zuglänge sowie die maximal zulässige Geschwindigkeit des Zuges eingegeben werden, falls diese nicht bereits hinterlegt sind. In jedem Fall wird wie im Fall der PZB per Dateneinsteller-Display u. a. eine Eingabe der Tf.-Nr. und Zug-Nr. erforderlich (Abbildung 59) (Ril 418.3248A01 [1]).



Abbildung 59: LZB-Zugdateneingabe per Display  
(Deutsche Bahn AG Ril 3248A02 [1])

Der Übergang von der PZB-Führung auf einen LZB-geführten Zugbetrieb, etwa zu Beginn einer LZB-Strecke, erfordert keine Bedienhandlungen des Tf, sondern erfolgt per automatischer Umschaltung. Mithilfe der per LZB-Anzeigeräte (Modulares Führerraumdisplay MFD bzw. MFA) dargestellten Parameter Soll-, Ist- und Zielgeschwindigkeit sowie Zielentfernung, etwa zum nächsten Halt, werden dem Tf alle für Beschleunigungs- und Bremsvorgänge notwendigen Informationen im Führerraum zur Verfügung gestellt. Dies stellt einen wesentlichen Sicherheits- und Komfortgewinn im Vergleich zur alleinigen Beobachtung ortsfester Signale dar. Eine Soll-Geschwindigkeit ( $V_{\text{soll}}$ ) von 200 km/h bedeutet z. B., dass ein LZB-geführter Zug mit maximal 200 km/h verkehren darf. Nähert sich der Zug beispielsweise einem mit maximal 160 km/h zu befahrenden Streckenabschnitt, wird der Tf auf eine Ziel-Geschwindigkeit ( $V_{\text{ziel}}$ ) von 160 km/h optisch und akustisch aufmerksam gemacht. Zugleich zeigt die Zielentfernung (ZE) eine Entfernung von maximal 13 km (technische Limitierung der Anzeigemöglichkeit) bis zum Geschwindigkeitswechsel an (vgl. auch Abbildung 60) (Ril 418.3248A02 [1]).

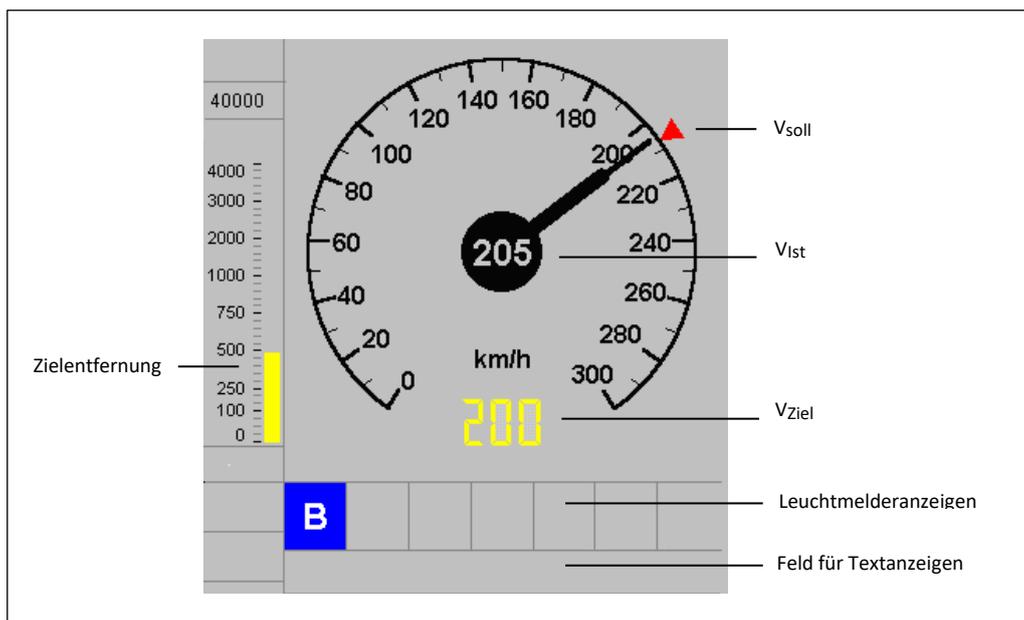


Abbildung 60: Anzeige der LZB-Führungsgrößen in einem Modularen Führerraumdisplay (MFD)  
(Verändert nach DB AG [226])

Eine LZB-Unterstützung des Bremsvorgangs erfolgt durch eine Herabsetzung der  $V_{Soll}$ -Anzeige und wird durch einen LM „G“ und ein akustisches Signal unterstützt. Dabei wird ein Bremsensatzpunkt in Abhängigkeit der Fahrzeugkonfiguration teilweise bereits 8 s vor Anstoß einer Soll-Bremskurve per LM „G“ angekündigt. Nach dem Geschwindigkeitswechsel wird eine neue ZE und  $V_{Ziel}$  angekündigt. Überschreitet der Tf die für den befahrenen Streckenabschnitt geltende  $V_{Soll}$  um ca. 5 km/h, erfolgt eine Zwangsbremmung, die bei Erreichen von  $V_{Ist} < V_{Soll}$  wieder selbsttätig aufgehoben wird [226].

Eine Betätigung der Wachsamkeitstaste entfällt als Regelbedienhandlung im LZB-Betrieb. Die Befehlstaste muss bedient werden, wenn ein LZB-Halt nach Befehlserhalt durch den Fahrdienstleiter überfahren werden soll [226].

Neben der Führerraumsignalisierung kann der Tf während des Fahrens die automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB) einschalten, um insbesondere in Kombination mit der LZB Züge ohne menschliches Einwirken automatisch nach einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil zu führen [227]. Im LZB-geführten Betrieb wird dies von Tf als erhebliche Arbeitserleichterung wahrgenommen. Darüber hinaus zeigen Befragungen ausgewählter Tf, dass von der AFB-Funktion im Fall von nicht LZB-geführten Zügen eher selten Gebrauch gemacht bzw. eine manuelle Bedienung des Fahrreglers und Bremshebels bevorzugt wird. Als Grund wird der trotz eingeschalteter AFB kaum gestiegene Bedienkomfort genannt, da die Geschwindigkeit zu jeder Zeit vom Tf überwacht und wenn nötig durch ein manuelles Eingreifen reguliert werden muss. Daneben führen Tf die Vorteile eines vergleichsweisen energieeffizienteren und verschleißärmeren manuellen Beschleunigens und Bremsens infolge einer vorausschauenden Fahrweise an.

### 3.1.1.3 European Train Control System (ETCS)

Europäische Bestrebung zur Erzielung technischer Interoperabilität im grenzüberschreitenden Schienenverkehr führten zur Entwicklung eines europäischen Zugbeeinflussungssystem European Train Control

System (ETCS). Der deutsche ETCS-Umsetzungsplan sieht u. a. vor, bis 2023 den auf Bundesgebiet befindlichen Abschnitt des europäischen Verkehrskorridors „Rhine Alpine“ zwischen Emmerich und Basel mit dem neuen System auszurüsten. Bislang wurde der ETCS-geführte Zugbetrieb in Deutschland auf etwa 250 km Streckenlänge realisiert [228]. Langfristig ist von einer Ablösung der deutschen Zugbeeinflussungssysteme PZB und LZB durch ETCS auszugehen.

ETCS wurde in unterschiedlichen Anwendungsstufen, so genannten Leveln (L1 bis L3), und Betriebsmodi Limited Supervision (LS) bzw. Full Supervision (FS) entwickelt. In L1 werden die Daten zwischen Fahrzeug und Fahrweg ähnlich wie im PZB-Betrieb punktuell übertragen. In L2 erhält der Tf dank einer kontinuierlichen Datenübertragung zwischen Fahrweg und Fahrzeug relevante Informationen über Anzeigen im Führerraum, weshalb bei diesem Level auf ortsfeste Signale verzichtet werden kann<sup>3</sup>. Die Implementierung des ETCS-Betriebs in L3, bei dem die Zugvollständigkeitsmeldung über technische Komponenten kontinuierlich festgestellt werden muss, ist zum derzeitigen Stand bei Vollbahnen im Mischverkehr noch nicht absehbar [230]. Im Unterschied zur ETCS-Betriebsart LS wird im Modus FS eine Führerraumanzeige ähnlich der LZB-Anzeige mit den Führungsgrößen  $V_{\text{Soll}}$ ,  $V_{\text{Ziel}}$  und Zielentfernung (ZE) ermöglicht.

ETCS-fähige Modulare Führerraumanzeigen (MFD) kommen zunehmend als Touchscreen-Lösungen zur Anwendung. Wie im Fall des PZB- und LZB-Betriebs ist es Aufgabe des Tf, vor Fahrtbeginn eine Tf-Nr., Zugnummer sowie Zugdaten im ETCS-Anzeigegerät zu hinterlegen. Zusätzlich wird eine manuelle ETCS-Levelwahl sowie ein manueller Wechsel in weitere Betriebsarten für Rangierfahrten (Betriebsart SH) bzw. Zugfahrten als nicht führendes Fahrzeug (Betriebsart NL) ermöglicht. Während der Fahrt sind Wechsel der ETCS-Betriebsart, z. B. von L1 auf L2 bzw. Wechsel von einer PZB-/LZB-geführten hin zu einer ETCS-geführten Zugfahrt per Tastendruck zu bestätigen [231].

Wird der in Deutschland überwiegend projektierte ETCS-Ausbau in der Anwendungsstufe L1 LS mit dem dominierenden PZB-Betrieb verglichen, so wirkt sich die Umstellung auf ETCS L1 LS für den Tf nicht durch nennenswerte Komfort- und Sicherheitsgewinne aus. Erst die Betriebsart FS unterstützt die durch den Tf einzuleitenden Brems- und Beschleunigungsvorgänge durch dynamische Bremskurven-Anzeigen. Obgleich die Betriebsart FS zunächst lediglich auf der deutschen Hochgeschwindigkeitsstrecke VDE 8.1/8.2 Ebensfeld-Leipzig/Halle implementiert wurde, konnten im Laufe des Projekts bereits Tf mit entsprechenden Praxiserfahrungen befragt werden. Ersten Eindrücken zufolge wird der ETCS L2 FS-Zugbetrieb befürwortet und führt zu einer deutlichen Arbeitserleichterung.

Das CCD zeigt in der Betriebsart FS als so genannte Führungsgrößen die Soll- und Zielgeschwindigkeit ( $V_{\text{Soll}}$ ,  $V_{\text{Ziel}}$ ) und eine Zielentfernung (ZE) an, während ETCS das Einhalten einer ETCS-Fahrerlaubnis überwacht. Eine Änderung der  $V_{\text{Soll}}$  signalisiert einen Geschwindigkeitswechsel und wird durch einen Aufmerksamkeitsston begleitet. Eine  $V_{\text{Ziel}} = 0$  km/h zeigt einen ETCS-Halt in Kombination mit einer Entfernung bis zum Halt (ZE) an. Ist ein Bremsvorgang notwendig, erfolgt die farbliche Einblendung einer Sollbremskurve bis zum Erreichen der vorgesehenen Halteposition [231].

Mithilfe eines verschiedenfarbigen Tachokreises bzw. Geschwindigkeitsanzeigers wird dem Tf im ETCS FS-Betrieb jederzeit kenntlich gemacht, wie er sein Bremsverhalten zu verändern hat (Abbildung 61). Eine graue Farbdarstellung entspricht dabei einer  $V_{\text{Soll}}$ . Ist eine Geschwindigkeitsreduktion zu erwarten, ändern sich die Farben des Tachokreises sowie des Zeigers zwischen  $V_{\text{Soll}}$  und einer neuen  $V_{\text{Ziel}}$  in Weiß

---

<sup>3</sup> Bei entsprechender Konfiguration könnte auch bei ETCS L1 FS weitgehend auf ortsfeste Signale verzichtet werden. Der Tf erhält Informationen über die Fahrerlaubnis wie im Fall von ETCS L2 FS über das DMI im Tzf, sodass eine Außensignalisierung nur noch in bestimmten betrieblichen Situationen notwendig ist [229].

(Bremsvorankündigung), und zwar etwa 10 s vor einem Bremsenanzugsort. Etwa 4 s vor dem Bremsenanzugsort ändern sich die Farbdarstellungen in Gelb (Bremsankündigung). Sobald ein Bremsenanzugsort erreicht ist, läuft der Tachokreis entsprechend einer Sollbremskurve bis zu einer neuen  $V_{Ziel}$  ab. Wird die Sollbremskurve durch eine zu hohe  $V_{Ist}$  überschritten, ändern sich die Farbdarstellungen in Orange (Warngeschwindigkeit) in Verbindung mit einem akustischen Signal. Der Tf ist aufgefordert, durch eine verschärfte Bremsung zu  $V_{Soll}$  zurückzukehren. Wird eine Warngeschwindigkeitskurve ( $V_{Ist}$  ca. 2-3 km/h  $>$   $V_{Soll}$ ) überschritten, erfährt das ETCS-Fahrzeug eine Zwangsbremsung, die jedoch nicht zum Stillstand führt, sondern aufgehoben wird, sobald wieder eine gelbe Farbdarstellung erreicht ist (Abbildung 62) [231].

Zwangsbremsung
Warngeschwindigkeit
Bremsankündigung
Bremsvorankündigung
Sollgeschwindigkeit

Abbildung 61: Farbdarstellung des Tachokreises und des Geschwindigkeitsmessers in ETCS-Betriebsart FS (eigene Darstellung nach [231])



Bremsvorankündigung in Weiß



Bremsankündigung in Gelb



Warngeschwindigkeit in Orange



Zwangsbremsung in Rot

Abbildung 62: Farbdarstellungen des Tachokreises und des Geschwindigkeitsmessers in ETCS-Betriebsart FS (eigene Darstellung nach [231])

### 3.1.2 GSM-R als Kommunikationsmittel

Das Global System for Mobile Communications-Rail(way) (GSM-R) hat sich als digitales, europaweit interoperables Kommunikationsmittel im Bahnsektor etabliert. Ein eigenständiges Funkübertragungsnetz bietet die Sicherheit für eine betriebliche und betriebsnahe Kommunikation. Es kommen sowohl fixe Endgeräte, beispielsweise beim Fdl, als auch mobile Endgeräte, u. a. in den Fahrzeugen, zum Einsatz [232].

Zur Registrierung im GSM-R-Netz muss sich der Tf vor Beginn einer Zugfahrt per Zugdaten-Eingabe über das Zugfunk-Fahrzeuggerät anmelden. Es stehen verschiedene Verbindungsarten unterschiedlicher Verbindungsprioritäten zwischen Mobilfunkteilnehmern zur Verfügung. Auf Seiten des Tf ist zu entscheiden, ob Einzelgespräch-, Konferenz-, Gruppenruf- und Notrufverbindungen durchgeführt werden. Notrufe sind mit der höchsten Priorität versehen, wodurch bestehende Verbindungen automatisch unterbrochen werden (die wesentlichen Funktionen wurden bereits in Abschnitt 2.2.1.4 beschrieben). Als regelmäßige Bedienhandlungen nimmt der Tf über das GSM-R Gerät den Kontakt zum Fdl oder zum Zugdisponenten auf. In umgekehrter Kommunikationsrichtung sind die Züge über die eindeutig festgelegte Zugnummer telefonisch erreichbar. Als ebenfalls regelmäßig durchgeführte Bedienhandlung versendet der Tf mithilfe des GSM-R eine Zugvorbereitungsmeldung, wodurch alle Beteiligten über die Abfahrtsbereitschaft des Zugverbands informiert werden. Am Ende einer Zugleistung und bei jedem Wechsel des führenden Fahrzeugs müssen die Zugdaten abgemeldet werden. Gespräche sind zusätzlich auch im GSM-R-Rangierfunk möglich.

Im Fall eines Ausfalls des GSM-R-Zugfunks, beispielsweise aufgrund eines Kabelschadens, kann die Verbindung zwischen dem Tf und Fdl unter Berücksichtigung der betrieblichen Anforderungen über das öffentliche Mobilfunknetz abgewickelt werden. Dabei ist die Rufnummer des Fdl einem in Papierform oder digital vorliegenden Streckenbuch zu entnehmen. Bei einem zusätzlichen Ausfall des GSM-R-Netzes beim Fdl besteht die Möglichkeit, die Verbindung über das sogenannte Rückfalltelefon des Fdl herzustellen [233].

### 3.1.3 Sensor- und Diagnosetechnik

Der Einsatz von Sensor- und Diagnosetechnik ermöglicht bereits in der Gegenwart eine umfangreiche Überwachung von Systemzuständen des Schienenfahrzeugs. Aufgezeichnete Parameter werden in der Regel im Tfz gespeichert und in regelmäßigen Intervallen ausgelesen, etwa bei Werkstattaufenthalten. Zudem wird der Tf über das Maschinentechnische Diagnosedisplay (MTD) über Vorkommnisse, beispielsweise über einen Kontaktverlust des Stromabnehmers, unmittelbar in Kenntnis gesetzt. Daneben können Echtzeitdaten zu Betriebszuständen, bspw. zur Temperatur des Transformators oder der Fahrmotoren, eingesehen werden [1].

Die MTD-basierte Anzeige von Störungen ist vorwiegend auf Drehstromlokomotiven moderner Bauart anzutreffen (bspw. BR 146, 152, 185, 189). Wird beispielsweise ein Kontaktverlust des Stromabnehmers zum Fahrdrabt detektiert, erfolgt neben der Displayanzeige ein akustisches Warnsignal. Die Störungsmeldung ist vom Tf zu quittieren. Auf dem MTD werden weiterhin mögliche Fehlerursachen sowie Strategien zur Fehlerbehebung angezeigt (Abbildung 63).

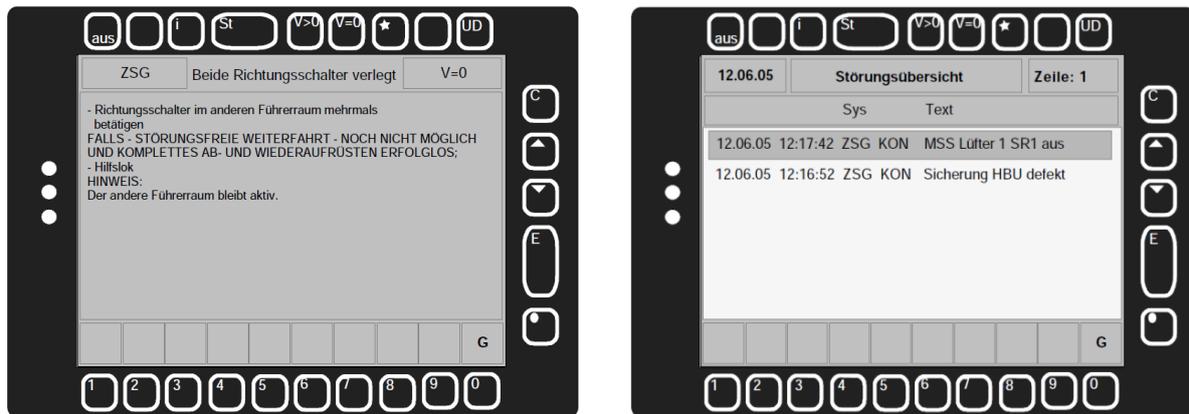


Abbildung 63: MTD-Störungsmeldung und Abhilfemaßnahmen (DB AG [234])

Das Ziel des in Abschnitt 2.2.1 vorgestellten Forschungsprojekts „TechLok“ ist es, weitere Fahrzeugparameter über herstellereitig und teilweise durch das EVU zusätzlich verbaute Sensoren zu erfassen und per Datenfernübertragung in Echtzeit auszuwerten. Zwar werden Tfz in regelmäßigen Intervallen in Werkstätten inspiziert, es treten jedoch auch zwischen den Frist-Untersuchungen Störungen mit z. T. kostspieligen Folgen auf. Neben aufwendigen Überführungsfahrten wird der Bahnbetrieb teilweise durch liegengebliebene Fahrzeuge gestört. Engpässe bei der Ersatzteilversorgung bedingen längere Standzeiten und infolgedessen Probleme bei der Fahrzeugverfügbarkeit. Im Rahmen des TechLok-Projekts laufen in einem Leitstand beispielsweise Informationen über Spannungen, Betriebsstunden oder GPS-Signale zusammen, wodurch Programme Abweichungen erkennen. Zusätzlich sollen dadurch automatisierte Aussagen über zu erwartende Schäden getroffen werden können [235].

### 3.1.4 Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen (EBuLa)

Die Einführung des EBUla hat neben der bereits in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Assistenzfunktion ESF weitere Ziele. Durch eine bedarfsgerechte Bereitstellung der Fahrplaninformation soll die Betriebssicherheit erhöht werden. Außerdem entfällt durch eine tagesaktuelle Aktualisierung der elektronischen Fahrplandaten eine aufwendige Berichtigung in Papierform, wobei es dem EVU weiterhin freisteht, die Angaben eines gedruckten Buchfahrplans zu benutzen.

Zu Beginn der elektronischen Fahrplananzeige war es Aufgabe des Tf, mit tagesaktuellen Fahrplandaten versehene Speicherkarten, so genannte EBUla-Karten, in die Bordgeräte zu überführen [236]. Die seit Dezember 2008 beinahe flächendeckende Verfügbarkeit von GSM-R ermöglicht eine Datenfernübertragung per „EBuLa-Funk“ [237]. Der Aufwand für den halbjährlich stattfindenden Fahrplanwechsel, d. h. der Austausch von Fahrplanunterlagen, Geschwindigkeitsheften und Zugverzeichnissen, wurde durch das EBUla-Verfahren vereinfacht. Einige EVU verwenden gedruckte Fahrplanunterlagen jedoch weiterhin als Rückfallebene, um auf mögliche Störungen der EBUla-Anzeige reagieren zu können.

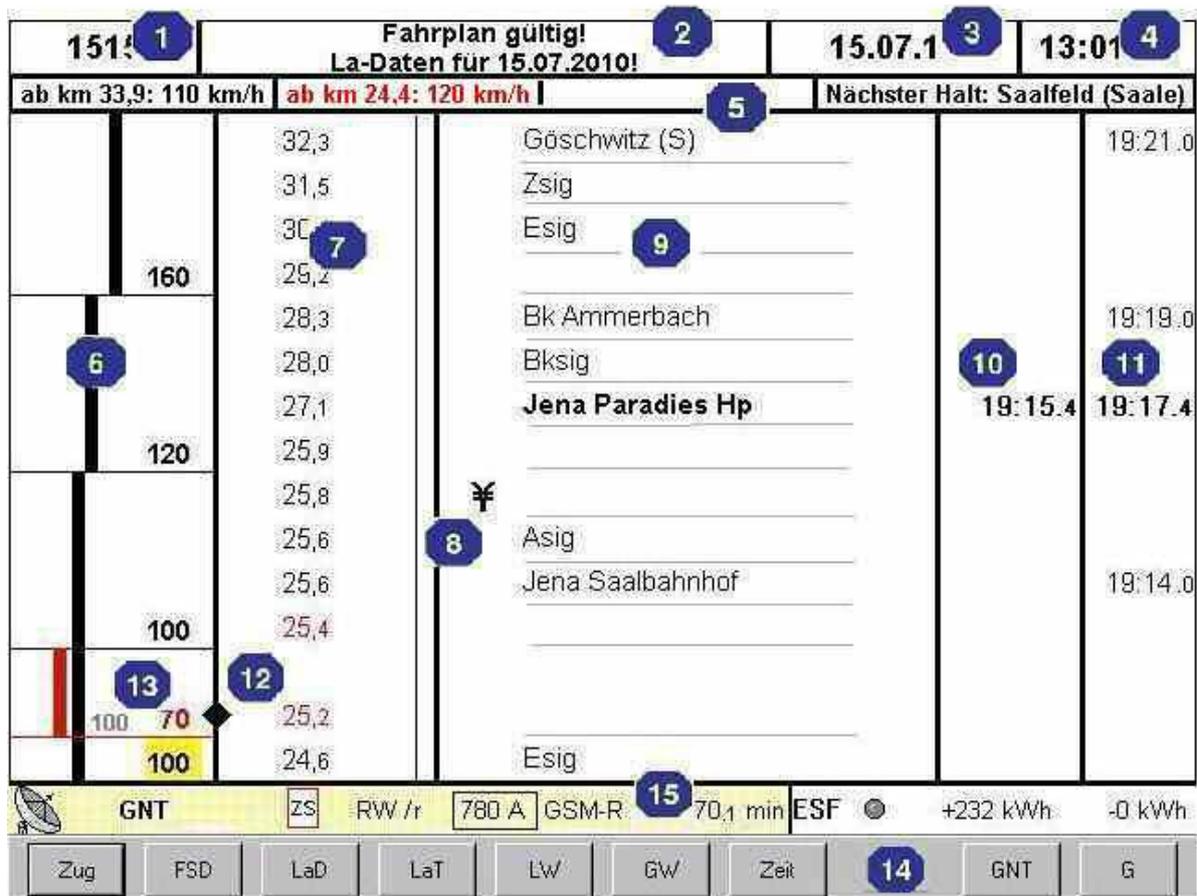
Die Anzeige des EBUla-Bordgerätes (Abbildung 64) beinhaltet allgemeine Informationen wie die Zugnummer, das aktuelle Datum und die genaue Uhrzeit. Zudem sind fahrplanspezifische Daten in fünf Spalten eingeteilt. Von links ausgehend, wird in der ersten Spalte zunächst die vorgeschriebene Geschwindigkeit in Linien- und in Zahlenform angegeben. In der zweiten Spalte werden Kilometrierungen in nicht vorgegebener Skalierung dargestellt. Die dritte und mittlere Spalte beinhaltet Bezeichnungen der Haltepunkte und ggf. wichtige Zeichen und Zusatzinformationen. Planmäßige Ankunfts- und Abfahrtszeiten werden in den Spalten vier und fünf aufgeführt. Die als Fahrplan geladenen Daten werden entsprechend dem räumlichen Eindruck der Zugfahrt von unten nach oben angezeigt. Ein Ortsmarker im

Display zeigt dem Tf die aktuelle Position des Zuges an. Normalerweise scrollt der angezeigte Fahrplanausschnitt infolge einer zeit- und ortsabhängigen Positionsbestimmung automatisch weiter. Treten besondere Ereignisse auf, die zu einer Abweichung zwischen der Ist- und Soll-Lage des Ortsmarkers führen, kann der Tf auch manuell auf gewünschte Seiten umblättern [238].

Die Bordgeräte im Tzf schalten sich bei vorhandener Bordnetzspannung selbstständig ein und sind innerhalb von 90 Sekunden arbeitsbereit. Sobald der Richtungsschalter umgelegt wird, wird auch das Display aktiv geschaltet. Wenn sich das Gerät nicht in Arbeitstemperatur befindet, blinkt eine gelbe LED-Leuchte bis das Gerät innerhalb von 3 Minuten selbstständig den Arbeitstemperaturbereich hergestellt hat. Ein aktives „An- und Abschalten“ durch den Tf ist nur im Falle eines Neustartes nach dem Absturz des Bordgerätes notwendig.

Sobald das Display aktiv ist, sind die Grundparameter Datum und Uhrzeit auf Richtigkeit zu prüfen und ggf. über Softkey-Tasten und Pfeiltasten zu korrigieren. Nur bei korrekter Uhrzeit kann der Fahrplan richtig dargestellt werden. Um einen Fahrplan zu laden, gibt der Tf die Zugnummer der Zugfahrt ein und bestätigt diese. Über das GSM-R-Netz erfolgt ein Rufaufbau zum EBU-La-Funkserver. Dieser sendet die aktuellen Fahrplandaten per Funk zurück oder bestätigt die Aktualität der bereits auf dem Bordrechner gespeicherten Daten. Anschließend muss der Tf die Zugauswahl zur eindeutigen Identifikation der Zugfahrt erneut bestätigen. Im Anschluss wird der Fahrplan dargestellt.

Sind dem Tf aufgrund von aktuellen Baumaßnahmen ergänzende Fahrplaninformationen mitzuteilen, werden diese zusätzlich eingeblendet und müssen von dem Tf ausgewählt werden. Wird eine Umleitung notwendig, muss der Tf – falls im EBU-La-Bordgerät hinterlegt – einen alternativen Laufweg auswählen und der Regelweg wird ausgeblendet. Die Zurückschaltung auf den Regelweg erfolgt entweder manuell oder automatisch, sobald die alternative Route vollständig durchfahren ist. Als Rückfallebene bei Teil- oder Totalausfällen dienen per Tablet vorgehaltene oder im Tf hinterlegte gedruckte Fahrpläne, so genannte Ersatzfahrpläne. Bei längerfristigen Ausfällen erfolgt ein Austausch des Bordgerätes.



- |  |  |
|--|--|
| 1 Zugnummer  | 8 Grafikspalte   |
| 2 Gültigkeitsende des aktuellen Fahrplans  | 9 Textspalte   |
| 3 Aktuelles Datum  | 10 Ankunftsspalte  |
| 4 Aktuelle Uhrzeit   | 11 Abfahrsspalte   |
| 5 Anzeige der nächsten Geschwindigkeitsreduktion außerhalb der aktuellen Fahrplansicht | 12 Ortsmarker  |
| 6 Geschwindigkeitsspalte   | 13 Wiederholung der letzten zulässigen Geschwindigkeit (gelb hinterlegt) |
| 7 Kilometrierungsspalte  | 14 Softkeyleiste   |
|  | 15 Untere EBU-La-Statusleiste  |

Abbildung 64: EBU-La-Fahrplandarstellung  
(Verändert nach DB Netz AG [238])

### 3.1.5 Fahrerassistenzsystem LEADER

Das in Abschnitt 2.2.1.3 beschriebene Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Locomotive Engineer Assist Display and Event Recorder“ (LEADER) führte zur Ausstattung von Tzf-Führerräumen mit LEADER-Bordgeräten in Form einer zusätzlichen Anzeige. Unter Berücksichtigung des Fahrplans, einer wechselnden Topografie und vorhandener Fahrzeitreserven werden Empfehlungen für eine energiesparende Fahrweise ermittelt und dem Tzf angezeigt. Führt der Tzf die empfohlenen Geschwindigkeitsreduzierungen aus, kann die Sicherheit beim Bremsen erhöht und der Bremsenverschleiß reduziert werden. Zudem ergeben sich Ersparnisse beim Energieverbrauch.

Mit dem LEADER Playback-System können Fahrten nachgestellt und somit die Fahrweise der Tzf analysiert werden. Dies ermöglicht rückblickend die Analyse kritischer Situationen oder von Unfällen. Zudem können Schlussfolgerungen für die Ermittlung einer optimalen Fahrt abgeleitet und darüber hinaus auch zu Ausbildungszwecken genutzt werden.

Die LEADER-Hardware besteht aus einem Panel-PC, der an einer Halterung angebracht ist, sowie einer GPS-/GSM-Antenne. Beim Einschalten des Batterie Hauptschalters fährt LEADER selbstständig hoch, das Display muss jedoch aktiv vom Tf eingeschaltet werden. Nach Aktivierung des Displays folgt die Eingabe der Zugnummer und der zugehörige Fahrplan kann ausgewählt und geladen werden. Des Weiteren müssen das Gesamtgewicht, die Gesamtlänge des Zuges und die Anzahl der arbeitenden Tzf eingegeben werden [239].

Im oberen LEADER-Displaybereich (Abbildung 65) befinden sich die streckenspezifischen Angaben aktuelle Steigung und Kilometrierung. Im zentralen Blickfeld werden die aktuelle Geschwindigkeit und eine Geschwindigkeitsempfehlung visualisiert. Mit der Angabe  $V_{zul}$  in der unteren linken Display-Ecke wird die empfohlene Differenz zur zulässigen Fahrplangeschwindigkeit angezeigt. Soll die Traktion abgeschaltet werden, wird an dieser Stelle ein durchgestrichenes kN-Symbol (kN für Kilonewton) angezeigt. Rechts neben  $V_{zul}$  wird der nächste planmäßige Halt mit der erwarteten Ankunftszeit und Relativlage bei einer Ankunft bzw. Durchfahrt angezeigt. Über Touchscreen ist im linken Bereich die Helligkeitsregelung des Displays möglich. Mit den Buttons „L“ und „K“ kann – angelehnt an die L- und K-Scheiben – die Fahrzeit zwischen zwei Halten verlängert oder verkürzt werden. Durch das Betätigen des EBU-La-Lage-Buttons wird die Fahrempfehlung an planmäßige Ankunftszeiten angepasst [239].

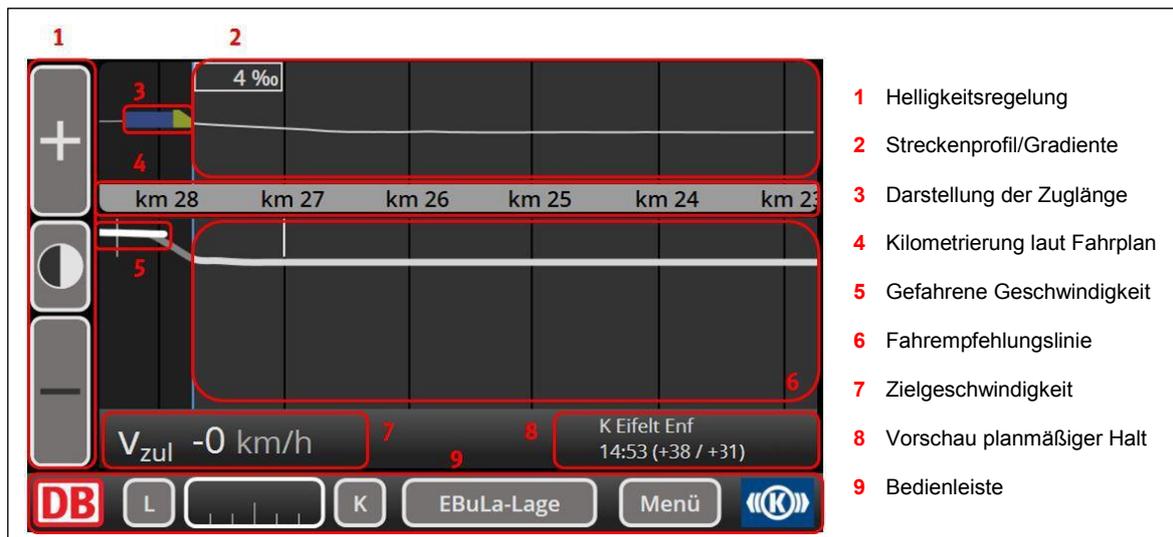


Abbildung 65: Anzeigen im FAS LEADER  
(Verändert nach DB AG [239])

Den Angaben von LEADER ist nicht zwingend Folge zu leisten. Betriebliche Bestimmungen, die Streckenbeobachtung und Bedienung des Tzf bleiben vorrangige Aufgaben des Tf [239].

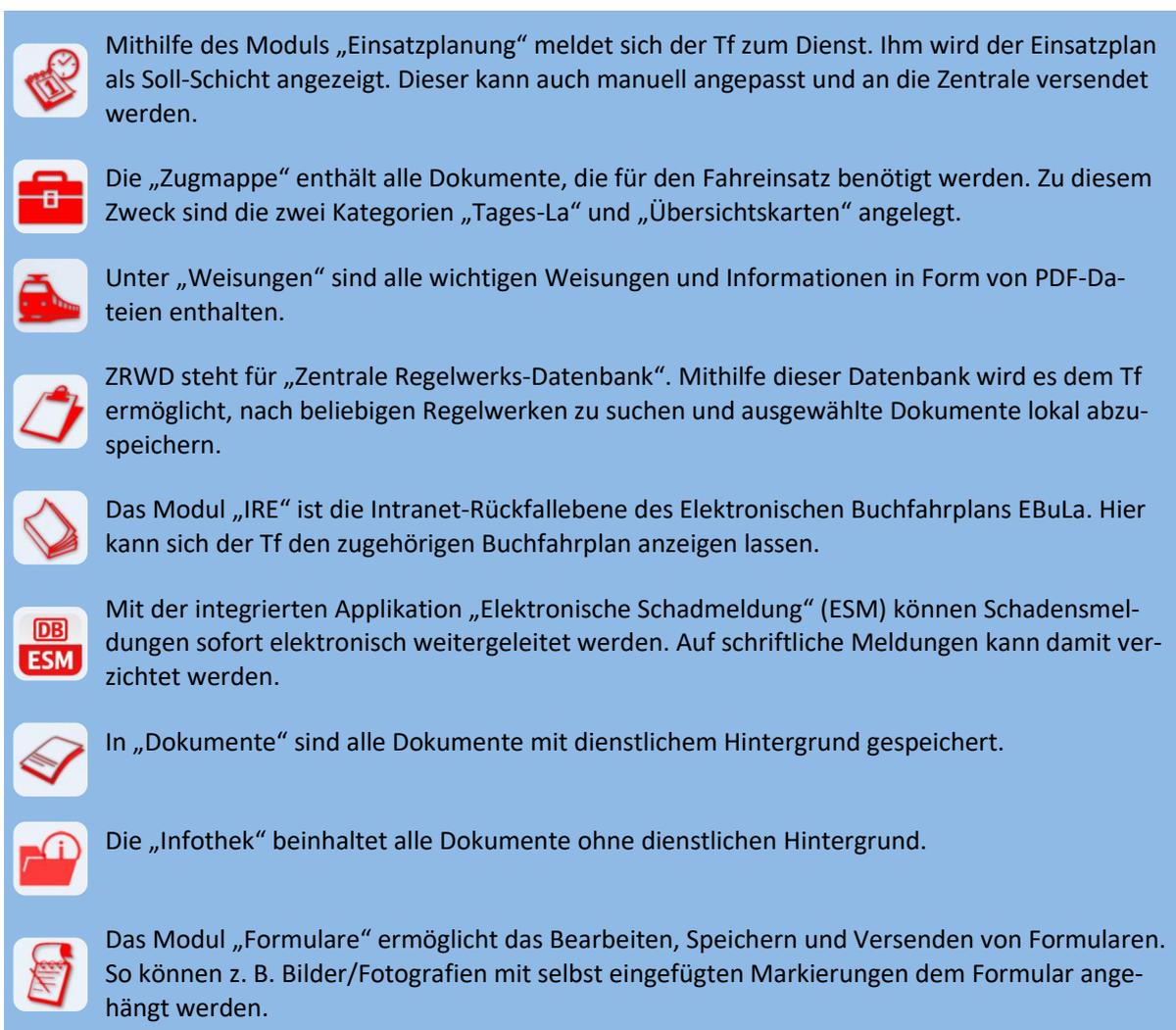
### 3.1.6 Tablet-Anzeige am Beispiel Rail in Motion (RiM)

Rail in Motion (RiM) bezeichnet ein erfolgreich umgesetztes Forschungs- und Entwicklungsprojekt sowie eine Software-Lösung für mobile Endgeräte und wird hauptsächlich von Tf sowie weiteren Bahnangestellten im Außendienst der Deutschen Bahn AG genutzt. Die in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Funktionen der Software werden per Fingereingabe auf dem Tablet ausgelöst. Ähnliche Funktionen wurden dabei in Applikationen gebündelt mit den Basisfunktionen Datenerfassung, -speicherung-, -versand sowie -empfang. Mit dem sogenannten RiM-Broker ist eine Schnittstelle zum Informationsaustausch zwischen den RiM-Applikationen und älteren IT-Systemen der DB (Back-End-Systemen) vorhanden, z. B. zum Personaldispositionssystem EDITH. Um die Bedienung, Performance und konzernweite Nutzbarkeit der

Software weiter zu verbessern, wird eine kontinuierliche Weiterentwicklung der RiM-Plattform forciert [240].

Der Einsatz von RiM ist als elementarer Schritt in Richtung papierlose Information, Kommunikation und Dokumentation zu sehen. Durch eine standortunabhängige Informationsübermittlung in Echtzeit können Arbeitsabläufe zudem übersichtlicher und zeitsparender gestaltet werden. Einer der wichtigsten Innovationstreiber für die RiM-basierte Digitalisierung des Bahnbetriebs war die Umstellung des Papierverfahrens „Tages-La“ auf elektronische Dokumente. Der Kernnutzen der Tablet-Anwendung ist daher die tagesaktuelle Aktualisierung der Langsamfahrstellen.

Als Hardware verwendet die Deutsche Bahn handelsübliche Samsung-Tablets mit 10 Zoll Bildschirmdiagonale. Zur Verlängerung der Nutzungszeit der Tablets verfügen Tf über Powerpacks und können Akkus zudem per Ladekabel im Tfz-Führerraum aufladen. Auf dem RiM-Startbildschirm werden einzelne Applikationen über Symbole gelistet, wobei im Einzelnen die nachfolgend gelisteten Prozesse ermöglicht bzw. erleichtert werden (Abbildung 66).



-  Mithilfe des Moduls „Einsatzplanung“ meldet sich der Tf zum Dienst. Ihm wird der Einsatzplan als Soll-Schicht angezeigt. Dieser kann auch manuell angepasst und an die Zentrale versendet werden.
-  Die „Zugmappe“ enthält alle Dokumente, die für den Fahreinsatz benötigt werden. Zu diesem Zweck sind die zwei Kategorien „Tages-La“ und „Übersichtskarten“ angelegt.
-  Unter „Weisungen“ sind alle wichtigen Weisungen und Informationen in Form von PDF-Dateien enthalten.
-  ZRWD steht für „Zentrale Regelwerks-Datenbank“. Mithilfe dieser Datenbank wird es dem Tf ermöglicht, nach beliebigen Regelwerken zu suchen und ausgewählte Dokumente lokal abzuspeichern.
-  Das Modul „IRE“ ist die Intranet-Rückfallebene des Elektronischen Buchfahrplans EBuLa. Hier kann sich der Tf den zugehörigen Buchfahrplan anzeigen lassen.
-  Mit der integrierten Applikation „Elektronische Schadmeldung“ (ESM) können Schadensmeldungen sofort elektronisch weitergeleitet werden. Auf schriftliche Meldungen kann damit verzichtet werden.
-  In „Dokumente“ sind alle Dokumente mit dienstlichem Hintergrund gespeichert.
-  Die „Infothek“ beinhaltet alle Dokumente ohne dienstlichen Hintergrund.
-  Das Modul „Formulare“ ermöglicht das Bearbeiten, Speichern und Versenden von Formularen. So können z. B. Bilder/Fotografien mit selbst eingefügten Markierungen dem Formular angehängt werden.

Abbildung 66: Applikationen innerhalb der Rail in Motion-Softwareanwendung der Deutschen Bahn AG (eigene Darstellung, VIA nach Deutsche Bahn AG [240])

Im Folgenden wird eine typische Bedienabfolge verschiedener RiM-Anwendungen beispielhaft vorgestellt (für einzelne Bedienprozesse vgl. [240]).

Zur Authentifizierung ist durch den Tf eine zweifache Passworteingabe beim Entsperren bzw. Start des tableteigenen Android-Systems sowie nach dem Aufrufen der RiM-Applikation notwendig. Nach der erfolgreichen Anmeldung wird eine automatisierte Synchronisierung des Moduls „Zugmappe“ ausgelöst. Dies betrifft insbesondere die Aktualisierung veralteter La-Dokumente, Regelwerke, Weisungen und sonstiger Informationen. Alte Dokumente werden automatisch gelöscht, ungelesene neue Dokumente solange in roter Schrift hervorgehoben, bis vom Tf eine „Gelesen“-Meldung quittiert worden ist. Geänderte Vorschriften werden in der Regel erst sieben Tage nach der erstmaligen Anzeige gültig. Im Fall von unmittelbar anzuwendenden „Ad hoc-Weisungen“ erfolgt eine Hervorhebung durch Pop-Ups, SMS und weitere Vorkehrungen. Über eine Back-End-Anwendung sind Tf-Gruppenleiter in der Lage, die erfolgreiche Zustellung sowie die Kenntnisnahme betrieblicher Dokumente festzustellen.

Nach der abgeschlossenen Dokumenten-Aktualisierung ist über das Modul „Einsatzplanung“ eine Dienstantrittsmeldung bzw. -abmeldung durch den Tf vorzunehmen. Im Fall zeitlicher Abweichungen im Vergleich zur Plan-Schicht, etwa in Folge von Ankunftsverspätungen, kann ein Schichtplan angepasst werden und dient dabei der Arbeitszeiterfassung bzw. -abrechnung.

Nach dem erfolgreichen Schichtantritt ist im Modul „Zugmappe“ im so genannten „Fahrmodus“ eine Doppelanzeige der für eine Zugfahrt relevanten Dokumente „Zusammenstellung der La-Berichtigungen“ bzw. eines digitalen „Ersatzfahrplans“ möglich. Sind im Tzf ein funktionsfähiges EBU-La-Bordgerät oder Ersatzfahrpläne in Papierform vorhanden, genügt die Anzeige der tagesaktuellen La. Möglicherweise sind mehrere La-Dokumente in den Fahrmodus zu übernehmen, sollte sich eine Zugfahrt über mehrere Regionalbereiche der DB-Netz erstrecken. Ein Wechsel der Dokumente ist über eine Dokumentenvorschau am linken Bildschirmrand möglich. Innerhalb eines La-Dokuments kann ein Tf relevante Seiten mittels Lesezeichen hervorheben und ggf. einzelne Einträge farblich markieren. Die Anzeige eines Ersatzfahrplans erfolgt nach dem erstmaligen Aufruf nicht dynamisch, sondern muss per Scroll-Bewegung dem Streckenverlauf angepasst werden. In der betrieblichen Praxis entscheiden sich Tf daher – falls möglich – teilweise für die Nutzung gedruckter Ersatzfahrpläne und ein Umblättern von Hand. Brillenträger empfinden zudem die etwas größere Darstellung in gedruckten Ersatzfahrplänen als angenehmer.

Die weiterhin in RiM vorhandenen Module „Zentrale Regelwerks-Datenbank“ (ZRWD) bzw. „IRE“ (Intranet-Rückfallebene des Elektronischen Buchfahrplans) dienen vor allem als Rückfallebenen. Auf der Basis durchgeführter Befragungen von Tf ist davon auszugehen, dass Regelwerke nicht im unmittelbaren Betriebsgeschehen, sondern im Nachgang von aufgetretenen Problemen und Unklarheiten im Sinne einer individuellen Weiterbildung hinzugezogen werden. Regelmäßig konsultierte Regelwerke können lokal auf dem Tablet gespeichert werden. Die Applikation IRE kommt im Regelfall zum Einsatz, wenn bei einem Ausfall des EBU-La-Bordgerätes Ersatzfahrpläne benötigt werden. Vom Tf sind hierzu die Parameter Zugnummer und Verkehrstag in ein Suchfeld einzugeben.

### 3.1.7 Tablet-Anzeige am Beispiel des IVU.pad

Das „IVU.pad“ genannte Software-Produkt des Berliner IT-Unternehmens IVU Traffic Technologies AG stellt ein weiteres Beispiel einer am Markt verfügbaren Tablet-Anzeige für EVU und weitere Verkehrsbranchen, insbesondere den ÖSPV, dar. Ähnlich wie im Fall der DB-eigenen Entwicklung „Rail in Motion“ handelt es sich um ein Front-End-System, das auf Back-End-Datenbanken zugreift und diese über eine Administratorebene an mobile Endgeräte anbindet. Je nach Anwendungsfeld ist die IVU AG in der Lage,

differenzierte Funktionalitäten zu realisieren. Für die bahnspezifische Anwendung mit dem Tf als Endnutzer sind die Funktionalitäten Dokumentenvorhaltung, Dienstplanung inklusive Zeiterfassung, Formulare, Fahrzeugmeldungen, elektronischer Buchfahrplan sowie E-Learning hervorzuheben (Abbildung 67).

Zentrales technisches Merkmal der Software-Anwendung IVU.pad ist eine generell plattformunabhängige Anwendung auf Desktop-PCs, Tablets oder Smartphones sowie eine damit zusammenhängende freie Wahl des Betriebssystems (z. B. Windows, Android oder IOS) und der Größe der Bildschirmdiagonale. Die Software IVU.pad eignet sich zwar als verknüpfte Anwendung mit den hauseigenen Softwarepaketen „IVU.crew“ oder „IVU.vehicle“, jedoch ist aufgrund des flexiblen Programmierstandards HTML5 auch eine Anbindung weiterer Datenbanksysteme möglich. Das Baukastenprinzip hat sich firmenintern bewährt. Somit werden gegenüber Verkehrsunternehmen „Out-of-the-box-Lösungen“ ermöglicht, die vergleichsweise schnell und kostengünstig im Regelbetrieb ausgerollt werden können.

Die beschriebene Flexibilität hinsichtlich des Endgeräts und Betriebssystems erstreckt sich auf alle vorgesehenen IVU.pad-Programmbausteine. Grundlegende Prozesse wie die Authentifizierung oder die Synchronisierung von Inhalten sind entsprechend den Erfordernissen des Kunden konfigurierbar. Dies betrifft auch die Abfrage von Lesebestätigungen für Dokumente oder die Organisation von Dienstantrittsmeldungen, die über eine Hintergrundanwendung verwaltet werden können. Über einen Home-Button kann der Endnutzer jederzeit zu einer Startseite zurückkehren und erhält eine übersichtliche Darstellung ungelesener und ggf. zu bestätigender Dokumente und Anweisungen. Die Funktionalitäten entsprechen somit den Erfordernissen des Bahnbetriebs hinsichtlich einer tagesaktuellen Vorhaltung und Quittierung betrieblicher Regelwerke und Dokumente (vgl. Abschnitt 2.1.1.3).

In Analogie zur Anwendung „Rail in Motion“ ist eine digitale Dienstplanung mithilfe des IVU.pads vollumfänglich möglich. Weiterhin gestattet es der Formular-Modus und die Funktion „Fahrzeugmeldungen“, auftretende Schäden und sonstige Probleme in Echtzeit zu erfassen und zu kommunizieren. Eine besondere Aufmerksamkeit muss dem Modul „Buchfahrplan“ gelten, das auf der Basis von Anstrengungen des IVU.pad-Pilot-Kunden „Wynental- und Suhrentalbahnen AG“ (WSB) zu einer dynamischen, d. h. zeit- und ortsabhängigen Fahrplananzeige fortentwickelt wurde. Weiterhin wurden tagesaktuelle La's in die Fahrplananzeige implementiert, sodass eine technologisch vollständig digitalisierte Fahrplananzeige vorliegt. Die Ortsabhängigkeit der Fahrplananzeige erfolgt dabei unabhängig von vorhandenen Technologien im Fahrzeug, sondern auf Basis des Tablet-eigenen GPS-Empfängers in Kombination mit der Nutzung des Mobilfunknetzes zu Ortungszwecken. Im Fall von Verbindungsabbrüchen, z. B. in Tunneln oder Einschnitten, wird der Auto-Scroll-Modus über die Zeitsteuerung fortgesetzt. Auch eine manuelle Korrektur des Ortsmarkers ist ähnlich zum EBU-La-Bordgerät möglich (vgl. Abschnitt 3.1.4). Eine Übertragung dieser Technologie auf das deutsche Bahnsystem ist derzeit noch nicht absehbar. Dies scheitert nach Aussagen der IVU AG an einer fehlenden zentralen digitalen Infrastrukturdatenbank für EVU und dem Echtzeit-Austausch von Streckengeschwindigkeiten und Langsamfahrstellen. Kleinere Eisenbahnnetze eignen sich hingegen für eine dynamische Fahrplananzeige, da der finanzielle und technologische Aufwand hier in einem positiven Verhältnis zu dem unmittelbaren Nutzen einer solchen Funktion steht. Die Anzeige des IVU.pad-Buchfahrplans in Deutschland umfasst daher bislang lediglich eine Vorhaltung von Fahrplan- sowie La-Dokumenten im PDF-Format.

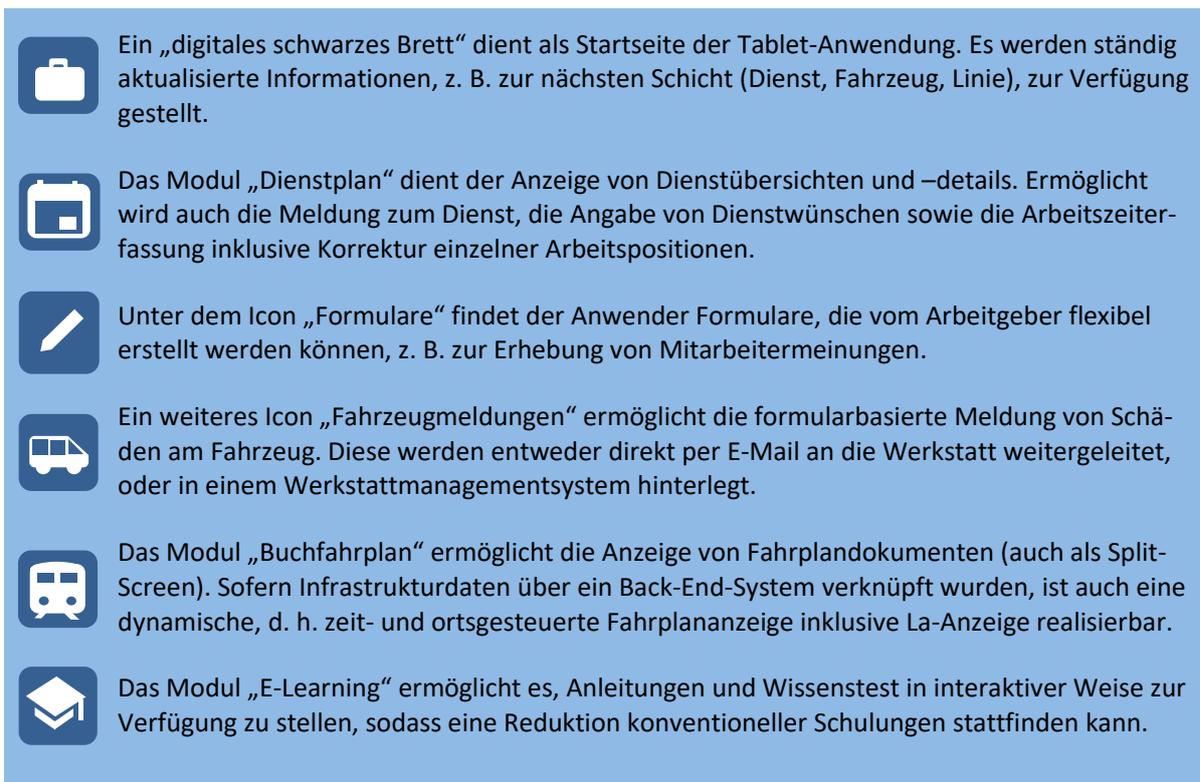


Abbildung 67: Applikationen innerhalb der IVU.Pad-Softwareanwendung der IVU Traffic Technologies AG (eigene Darstellung nach Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 2018 [72])

Eine funktionale Erweiterung der Software-Anwendung IVU.pad könnte die Tablet-Integration in Bussen des ÖPNV beinhalten, wobei eine Plug-and-Play-Lösung angestrebt wird, die eine Alternative zu fest installierten Bordgeräten darstellen würde. Zwar ersetzt diese nicht Peripheriegeräte, v. a. den Fahrscheindrucker und eine Geldkassette, jedoch könnte auf eine verhältnismäßig kostenintensive Vorhaltung eines Bordrechners verzichtet werden. Dies erscheint insbesondere für Bedarfsverkehre des ÖPNV wirtschaftlich sinnvoll, wo Fahrzeuge nur für einzelne Fahrten zum Einsatz kommen.

## 3.2 Identifizierung und Beurteilung sicherheitsrelevanter Auswirkungen von digitalisierten Betriebsprozessen im Eisenbahnwesen

Ein Ziel des Forschungsprojektes ist neben der Beschreibung digitalisierter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen die Identifizierung und Beurteilung von sicherheitsrelevanten Auswirkungen infolge der Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel eines Tf. In Absprache mit dem Auftraggeber werden in diesem Abschnitt sicherheitsrelevante Auswirkungen insbesondere am Beispiel der Tablet-Nutzung identifiziert und evaluiert.

Als Grundlagen und Maßstäbe für die Identifizierung und Beurteilung dienen die Verordnung VO (EU) Nr. 402/2013 als europäische Sicherheitsmethode sowie das darauf aufbauende Risikomanagementver-

fahren der Deutschen Bahn AG. Beide Herangehensweisen werden zu diesem Zweck zunächst beschrieben. Es folgt eine Anwendung auf den Untersuchungsgegenstand Tablet-Einführung. Die beispielhafte Risikoevaluierung zeigt, dass mögliche Risiken für den sicheren Bahnbetrieb noch tolerabel sind, wenn mögliche Gefährdungen durch ein EVU erkannt und entsprechende Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen werden.

### 3.2.1 Gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken

Der Prozess der Digitalisierung bedingt technische, betriebliche und organisatorische Änderungen, die unter anderem Auswirkungen auf die Sicherheit der Betriebs- oder Instandhaltungsprozesse im Eisenbahnwesen entfalten. Zu beurteilen ist, ob von dem Einsatz digitaler Arbeits- und Hilfsmittel neue Risiken für den Eisenbahnbetrieb ausgehen.

Der Begriff „Sicherheit“ ist gemäß Art. 3 Nr. 5 VO (EU) Nr. 402/2013<sup>4</sup> als „das Nichtvorhandensein von unvermeidbaren Schadensrisiken“ zu verstehen. Der damit eng zusammenhängende Begriff „Risiko“ beschreibt „die Kombination der Häufigkeit des Eintretens von Unfällen oder Zwischenfällen, die zu einem Schaden führen, und des Ausmaßes dieses Schadens“ (Art. 3 Nr. 1 VO (EU) Nr. 402/2013) [241].

Mit der Richtlinie (EU) 2016/798 über Eisenbahnsicherheit erneuerten die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union den Gesetzesrahmen zur Harmonisierung der Sicherheitsbestimmungen im europäischen Eisenbahnbetrieb. Unter den Sammelbegriffen „gemeinsame Sicherheitsziele“ (CST) und „gemeinsame Sicherheitsmethoden“ (CSM) wurden ein Mindestsicherheitsniveau und Methoden zur Erreichung dieses Niveaus beschrieben. Das in Deutschland geltende Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) verpflichtet EVU zur Etablierung eines Sicherheitsmanagementsystems (SMS, vgl. Art. 4 Abs. 4 AEG, [242]) und setzt damit die in Art. 9 Abs. 1 Richtlinie (EU) 2016/798 formulierte Forderung zur Einführungspflicht eines SMS für EVU um. Als verpflichtende Inhalte eines SMS werden u. a. eine für das gesamte Personal gültige Sicherheitsordnung, Schulungsprogramme, Ziele zur Erhaltung und Verbesserung der Sicherheit, Verfahren zur Einhaltung von Vorschriften sowie zur Ermittlung von Risiken, deren Bewertung und Kontrolle festgelegt (Art. 9 Abs. 3 a-f Richtlinie (EU) 2016/798) [243].

In der VO (EU) Nr. 402/2013 werden, so wörtlich, „Verfahren und Methoden zur Durchführung von Risikobewertungen und die Anwendung von Maßnahmen zur Risikobeherrschung“ als integraler Bestandteil eines SMS bestimmt. Die möglichst objektive Bewertung und spätere Beherrschung von Risiken spielt insbesondere eine Rolle, wenn betriebliche Prozesse geändert werden. Hierunter ist auch die Einführung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel des Tf zu sehen. Im Kontext der Risikobeurteilung führte die Kommission den Begriff des Risikomanagements ein, eine, so wörtlich, „systematische Anwendung von Managementstrategien, -verfahren und -praktiken bei der Analyse, Evaluierung und Beherrschung von Risiken“ (Art. 3 Nr. 6 VO (EU) Nr. 402/2013). Die Anwendung des Risikomanagementverfahrens wird verpflichtend, wenn durch eine beabsichtigte Änderung Auswirkungen auf die betriebliche Sicherheit zu erwarten sind und insbesondere, wenn die Beurteilung des Risikos nicht auf der Basis national anerkannter Vorschriften erfolgen kann. Die Beurteilung liegt dabei in der Hand des Vorschlagenden einer Änderung. Es sind u. a. EVU und EIU vorschlagsberechtigt (Art. 3. Nr. 11 a) VO (EU) Nr. 402/2013). Die Beurteilung, ob eine Änderung signifikant für die Eisenbahnsicherheit ist, muss auf Basis nachfolgender Kriterien erfolgen (Tabelle 5).

---

<sup>4</sup> VO (EU) Nr. 402/2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 352/2009.

TABELLE 5: KRITERIEN ZUR BEWERTUNG DER SIGNIFIKANZ EINER EISENBAHNBETRIEBLICHEN ÄNDERUNG FÜR DIE SICHERHEIT (EIGENE DARSTELLUNG AUF DER BASIS VON [201])

Bewertungskriterium	Beschreibung gem. Art. 4 Nr. 2 a-f VO (EU) Nr. 402/2013
<b>Folgen von Ausfällen</b>	Szenario des ungünstigsten anzunehmenden Falls bei einem Ausfall des zu bewertenden Systems unter Berücksichtigung etwaiger außerhalb des Systems bestehender Sicherheitsvorkehrungen.
<b>Innovative Elemente bei der Einführung der Änderung</b>	Zu bewerten ist nicht nur, ob es sich um eine Innovation für den Eisenbahnsektor als Ganzes handelt, sondern auch, ob es sich aus der Sicht der Organisation, die die Änderung durchführt, um eine Innovation handelt.
<b>Komplexität der Änderung</b>	-
<b>Überwachbarkeit</b>	Unmöglichkeit, die eingeführte Änderung über den gesamten Lebenszyklus des Systems hinweg zu überwachen und in geeigneter Weise einzugreifen.
<b>Umkehrbarkeit</b>	Unmöglichkeit, zu dem vor Einführung der Änderung bestehenden System zurückzukehren.
<b>Additive Wirkung</b>	Bewertung der Signifikanz der Änderung unter Berücksichtigung aller sicherheitsrelevanten Änderungen des zu bewertenden Systems, die in jüngster Zeit vorgenommen und nicht als signifikant beurteilt wurden.

Wird die Änderung als nicht signifikant erachtet, hat der Vorschlagende die Änderung unter Anwendung einer eigenen Sicherheitsmethode vorzunehmen. Andernfalls ist das in der VO (EU) Nr. 402/2013 bestimmte Risikomanagementverfahren anzuwenden. Die Verfahrensanwendung ist in beiden Fällen in einem Gefährdungsprotokoll zu dokumentieren. Existieren zusätzlich europäische Rechtsvorschriften, die eine Involvierung nationaler Sicherheitsbehörden erfordern – etwa im Fall der Inbetriebnahme eines Fahrzeugs oder bei der Überprüfung der Sicherheitsbescheinigung eines EVU oder EIU – sind gesonderte Verfahren zu beachten [241].

### 3.2.2 Risikomanagementverfahren zur Beurteilung sicherheitsrelevanter Auswirkungen neuer Systeme im Eisenbahnwesen

Die Umsetzung der in Richtlinie (EU) 2016/798 definierten CST, CSM sowie des in VO (EU) Nr. 402/2013 geforderten Risikomanagementverfahrens ist bereits gängige Praxis in den EVU, so z. B. im Fall der Deutschen Bahn AG. Mit der 2015 erfolgten Aufstellung einer Konzernrichtlinie „Betriebliches, organisatorisches und technisches Risikomanagement im System Bahn“ (Ril 451.0100, [244; 245]) setzt die Deutsche Bahn AG die geltenden Vorschriften unternehmensspezifisch um. Entsprechend der VO (EU) Nr. 402/2013 wird das Risikomanagement in folgende Schritte unterteilt (Abbildung 68).

Schritte						
Bezeichnung nach VO (EU) 402/2013	Systemdefinition	Gefährdungsermittlung und -einstufung	Risikoabschätzung	Risikoevaluierung	Sicherheitsanforderungen	Überwachung der Sicherheitsleistungen im Betrieb
		Risikoanalyse				
		Risikobewertung				
		Risikomanagement				

Abbildung 68: Schritte des Risikomanagements am Bsp. Deutsche Bahn AG (Deutsche Bahn AG [245])

### 3.2.2.1 Schritt 1: Systemdefinition

Unter dem Begriff „System“ sind sowohl strukturelle Komponenten (z. B. Fahrzeug, Weiche, Signal), betriebliche Komponenten (z. B. Regelwerk, Handlungen) als auch organisatorische Komponenten (z. B. Funktionsbeschreibungen) zu fassen. Ein zu bewertendes System ist im ersten Schritt des Risikomanagements zu beschreiben, wobei der Detaillierungsgrad der Beschreibung den Ausführungen in den nachfolgenden Schritten anzupassen ist. In jedem Fall sind die Zweckbestimmung, grundsätzliche Eigenschaften und die Funktionen eines neuen oder geänderten Systems zu berücksichtigen.

Liegen im Unternehmen bereits Sicherheitsmaßnahmen vor, die bei der Bewertung des Systems zugrunde gelegt werden können, sind diese im Rahmen der Systemdefinition aufzuzeigen. Dies gilt insbesondere bei der Aktualisierung einer bestehenden Risikobewertung.

### 3.2.2.2 Schritt 2: Gefährdungsermittlung und -einstufung

Der Begriff „Gefährdung“ beschreibt einen Umstand, der zu einem Unfall führen könnte (vgl. Art. 3 Nr. 13 VO (EU) Nr. 402/2013). Im zweiten Schritt sind insofern Ereignisse zu nennen, die mit einem hohen Schadenspotenzial oder einer hohen Eintrittshäufigkeit in Verbindung gebracht und somit nicht akzeptiert werden können. Von der Anwendung der in anderen Ländern z. T. üblichen allgemeinen Risikoakzeptanzkriterien ist jedoch abzusehen, da diese in Deutschland keine Gültigkeit entfalten.

### 3.2.2.3 Schritt 3: Risikoabschätzung

Ein zentraler Schritt des DB-eigenen Risikomanagementsystems stellt die Risikoabschätzung dar. Diese kann auf der Basis eines vorhandenen Regelwerks, eines Referenzsystems zum Nachweis gleicher Sicherheit oder im Rahmen einer so genannten expliziten Risikoabschätzung erfolgen (Anhang I Nr. 2.1.4 VO (EU) Nr. 402/2013).

Ein Referenzsystem liegt vor, wenn dieses unter vergleichbaren Bedingungen angewandt und sich in der Praxis als ausreichend sicher erwiesen hat. Ein zu beurteilendes System muss ähnliche Funktionen wie das Referenzsystem aufweisen. Im Fall der expliziten Risikoabschätzung ergibt sich ein größerer Aufwand. Gebräuchlich ist hier gemäß [245] ein semiquantitatives Verfahren: Mögliche risikobehaftete Ereignisse müssen beschrieben und deren Auftretenswahrscheinlichkeit sowie damit verbundenen Schäden quantifiziert werden. Aktive Sicherheitsmaßnahmen zur Senkung der Auftretenswahrscheinlichkeit bzw. passive Sicherheitsmaßnahmen zur Senkung des Schadensausmaßes sind zu berücksichtigen.

### 3.2.2.4 Schritt 4: Risikoevaluierung

Der vierte Schritt des Risikomanagementsystems ist i. d. R. nahtlos verknüpft mit dem vorangegangenen Vorgang der Risikoabschätzung und insbesondere im Fall einer expliziten Risikoabschätzung von Relevanz. Zu prüfen ist die Tolerierbarkeit der Auftretenswahrscheinlichkeit und damit verbundener Schadensauswirkungen der im Schritt 3 erfassten Risiken. Ein allgemeines Maß für tolerierbare Risiken ist nicht existent, jedoch ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um Risiken mit extrem seltenen Auftretenswahrscheinlichkeiten handelt, von denen jedoch ein kritisches bis katastrophales Schadensausmaß ausgehen kann (z. B. Verlust der Bremsfunktion eines Zuges mit katastrophalem Ausgang, Auftretenswahrscheinlichkeit von max.  $10^{-9}$  Mal je Betriebsstunde, vgl. [245]). Eine mögliche Beurteilungsmatrix für tolerierbare Risiken gemäß DIN EN 50126 ist Abbildung 69 zu entnehmen.

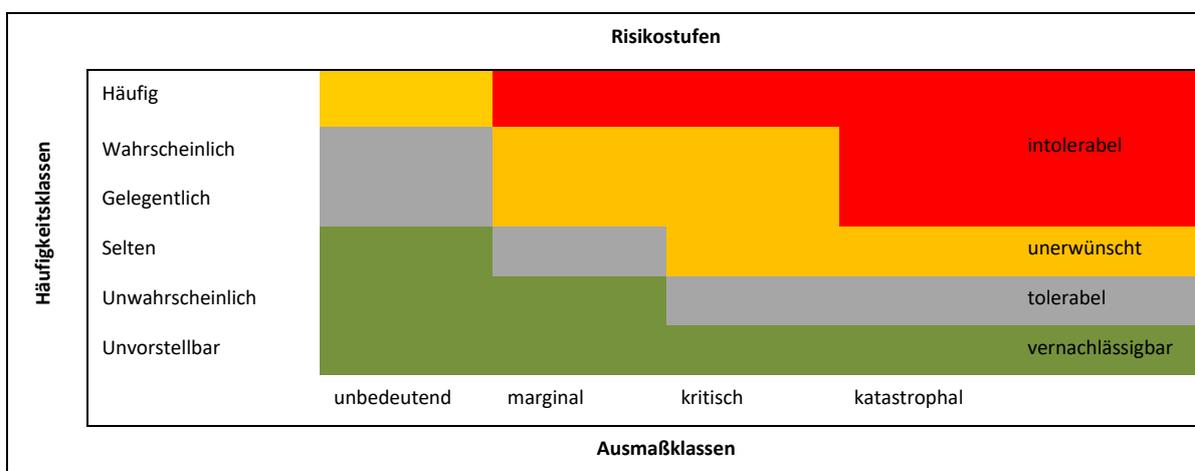


Abbildung 69: Risikoevaluierung anhand der Kriterien Auftretenswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (eigene Darstellung verändert nach DIN EN 50126 [246])

### 3.2.2.5 Schritt 5: Sicherheitsanforderungen

Entsprechend der in den Schritten 3 und 4 erkannten und bewerteten Risiken ergeben sich Sicherheitsanforderungen zur Risikoreduktion. Der Vorschlagende einer Änderung eines Systems ist in der Verantwortung, dass die vorher definierten Sicherheitsanforderungen erbracht werden. Erweisen sich Sicherheitsmaßnahmen in diesem Zusammenhang als unangemessen oder können Gefährdungen durch diese nicht erwartungsgemäß reduziert werden, muss eine erneute Risikoevaluierung erfolgen (Anhang I Nr. 3.1f. VO (EU) Nr. 402/2013).

### 3.2.2.6 Schritt 6: Überwachung der Sicherheitsleistungen im Betrieb

Im Rahmen des Risikomanagementverfahrens vereinbarte Sicherheitsanforderungen bzw. -leistungen sind in einem Gefährdungsprotokoll zu dokumentieren. Zudem sind Gefährdungsprotokolle bei neu identifizierten Gefährdungen bzw. resultierenden Risiken zu aktualisieren und integraler Bestandteil eines unternehmenseigenen SMS. Entzieht sich die Kontrolle einer alleinigen Person, ist der Informationsaustausch mit weiteren Akteuren anzustreben (Anhang I Nr. 4.2 VO (EU) Nr. 402/2013).

## 3.2.3 Risikomanagementverfahren am Beispiel der Tablet-Nutzung

Die seit wenigen Jahren betriebene Umstellung der Papier-Dokumentenverteilung auf Tablet-gestützte digitale Anzeigen im Tfz-Führerraum (vgl. Abschnitt 2.2.1.2, Papierloser Bahnbetrieb) soll im Folgenden

stellvertretend für weitere digitale Arbeitsmittel auf sicherheitsrelevante Auswirkungen hin untersucht werden. Als Bewertungsmaßstäbe dienen die gemäß VO (EU) Nr. 402/2013 geforderte Signifikanzprüfung bzw. das in VO (EU) Nr. 402/2013 festgeschriebene Risikomanagementverfahren. Die Ausführungen beziehen dabei Gefährdungsbeurteilungen einzelner EVU in anonymisierter Form ein.

### 3.2.3.1 Signifikanzprüfung gem. VO (EU) 402/2013

Die beinahe flächendeckende Einführung Tablet-gestützter Betriebsverfahren für Tf ist als eine wesentliche Änderung der bisherigen (papiergestützten) Betriebspraxis zu beurteilen. Mit der Einstellung der durch Trassengebühren abgegoltenen Verteilung der so genannten „Tages-La“ durch die DB Netz AG gingen EVU dazu über, eine Tablet-basierte La-Anzeige zu priorisieren. Schrittweise erfolgte eine digitale Vorhaltung weiterer Schriftdokumente, etwa des Regelwerk-Kompodiums „Tf-Heft“, „Betriebsregelwerk (BRW) EVU“ oder von Fahrplanunterlagen außerhalb des EBuLa-Systems.

Insbesondere die digitale Vorhaltung des Verzeichnisses tagesaktueller Langsamfahrstellen ist bei der Bewertung der Änderungssignifikanz hervorzuheben. Gemäß Tf-Heft der DB AG bzw. BRW EVU des VDV „müssen die für einen Zug geltenden Fahrplanangaben und La-Angaben für die zu befahrende Strecke in der Regel in der Führerraumanzeige angezeigt werden oder in anderer Form einsehbar zur Verfügung stehen“ [2]. Es stellt sich infolge die Frage der ständigen Verfügbarkeit einer digitalen La-Anzeige im Vergleich zu den vormals üblichen Schriftdokumenten.

Mit dem ersten Bewertungskriterium sind mögliche Folgen von Ausfällen der digitalen Anzeige per Tablet zu bewerten. Liegt ein technisches Problem mit dem digitalen Endgerät oder mit der Datenfernübertragung vor, müssen alternative La- und Fahrplanangaben zur Verfügung gestellt werden. Dies entspricht bereits dem gängigen Verfahren im Fall der EBuLa-Anzeige: Können Störungen am EBuLa-Bordgerät nicht behoben werden, ist ein Papier-Fahrplan (Blattfahrplan) anzufordern (DB-Ril 497.0001, [247]). Tritt die Störung während der Fahrt ein, ist der Zug anzuhalten und die Betriebszentrale (BZ) zu verständigen. Diese kann eine Weiterfahrt unter Ausstellung einer Fahrplan-Mitteilung anordnen. Ist die BZ nicht zu erreichen, darf der Tf den Zug mit 40 km/h bis zu einem Bahnhof weiterfahren, an dem die BZ erreichbar ist (DB-Ril 418.3343 [1]). Unter Anwendung desselben Verfahrens im Störfall eines Tablets sind keine nachteiligen Änderungen im Vergleich zum Status Quo zu erwarten.

Der aufgrund des zweiten Bewertungskriteriums zu beurteilende Innovationsgrad der Tablet-Einführung berücksichtigt nicht nur, „ob es sich um eine Innovation für den Eisenbahnsektor als Ganzes handelt, sondern ob es sich aus der Sicht der Organisation, die die Änderung durchführt, um eine Innovation handelt“ (Art. 4 Nr. 2 b) VO (EU) Nr. 402/2013). Die Bewertung kann daher zwischen EVU unterschiedlich ausfallen. Da bisherige Regelwerke jedoch weiterhin gültig und anwendbar sind und die Nutzung digitaler Endgeräte (Tablets, Smartphones) eine breite gesellschaftliche Anwendung findet, ist generell von einem niedrigen Innovationsgrad auszugehen.

Das dritte Bewertungskriterium „Komplexität der Anwendung“ muss ebenfalls unternehmensspezifisch beurteilt werden. In einer vergleichenden Betrachtung der in Abschnitt 2.2.1.2, Papierloser Bahnbetrieb exemplarisch vorgestellten Tablet-Anwendungen „Rail in Motion“ bzw. „DiLoc|Sync“ ist von einem unterschiedlich hohen Komplexitätsgrad auszugehen, wenn unterschiedlich umfangreiche Funktionalitäten der Anwendungen als Bewertungsmaßstab gelten. Diese Unterscheidung wird anhand des unterschiedlichen Schulungsaufwandes messbar. Während im Fall der RiM-Einführung nach Aussagen der Deutschen Bahn AG themenkomplexspezifische Schulungen angeboten werden, etwa zu den Modulen „Zugmappe“ oder ESM (vgl. Abschnitt 3.1.6), genügt für die DiLoc|Sync-Einführung im Regelfall ein einseitiges Schriftdokument (Dienstanweisung) zur Erläuterung des Funktionsumfangs. Hintergrund ist die Verknüpfung mehrerer Einzelfunktionen in RiM, während im Fall von DiLoc|Sync die einfache Dokumentenbereitstellung im Vordergrund steht.

Mit dem vierten Bewertungskriterium „Überwachbarkeit“ ist die Möglichkeit zur Überwachung des neuen Systems über den gesamten Lebenszyklus zu beurteilen. Zwar sind bei der Überwachung der Tablet-Nutzung Datenschutzauflagen zu beachten, insbesondere dann, wenn vom Arbeitgeber eine private Nutzung der Tablets abseits des Arbeitsplatzes eingeräumt wurde. Dennoch werden infolge einer zentralen Informationsbereitstellung (Datensynchronisierung) auf Administratorebene Meldungen über den personengebundenen Empfang und den Lesestatus von Dokumenten generiert, da die bestimmungsgerechte Nutzung der Tablet-Geräte am Arbeitsplatz im besonderen Sicherheitsinteresse des Arbeitgebers steht. Eine hohe Überwachbarkeit ist somit gegeben.

Mit dem fünften Bewertungskriterium „Umkehrbarkeit“ wird die Möglichkeit betrachtet, zum ursprünglichen Zustand vor Einführung des neuen Systems zurückzukehren. Eine Rückkehr zur Bereitstellung der Verzeichnisse der Langsamfahrstellen in Papierform muss uneingeschränkt als möglich betrachtet werden. Der Infrastrukturbetreiber DB Netz AG stellt trotz der Einführung digitaler La-Dokumente nach wie vor entsprechende Papierdokumente zur Verfügung (vgl. Abschnitt 2.2.1.2, Papierloser Bahnbetrieb).

Als letztes Bewertungskriterium ist die „Additive Wirkung“ aller sicherheitsrelevanten Änderungen im Zuge der Tablet-Einführung zu bewerten, die in jüngster Zeit vorgenommen und nicht als signifikant bewertet wurden. Generell ist bei der Betrachtung sicherheitsrelevanter Tablet-Funktionen – Anzeige der Langsamfahrstellen und ggf. eines Fahrplans – nicht von additiven Wirkungen auszugehen, wenn mögliche weitere Funktionen des Tablets eine dauerhafte Anzeige dieser Dokumente während einer Zugfahrt nicht beeinträchtigen. Dies ist durch entsprechende Maßnahmen sicherzustellen (Bsp. RiM-Option „Fahrmodus“ – Bereitstellung der für eine Zugfahrt relevanten Dokumente, vgl. Abschnitt 3.1.6).

Unter Anwendung der Kriterien gemäß VO (EU) Nr. 402/2013 zur Bewertung der Signifikanz des Systems Tablet-gestützte Anzeige von La- und Fahrplanunterlagen ist die Einführung des neuen Systems als nicht signifikant für die Eisenbahnsicherheit zu bewerten (Übersichtsdarstellung Tabelle 6). Der Vorschlagende im EVU ist somit berechtigt, eine eigene Sicherheitsmethode im Rahmen des Risiko-Managements anzuwenden (vgl. Abschnitt 3.2.1).

TABELLE 6: ERGEBNISÜBERSICHT DER SIGNIFIKANZPRÜFUNG AM BSP. TABLET-GESTÜTZTER ANZEIGEN FÜR DEN Tf (EIGENE DARSTELLUNG)

Bewertungskriterium	Ergebnis der Einschätzung am Bsp. Tablet-gestützte Anzeige für den Tf
<b>Folgen von Ausfällen</b>	Minimale Folgen, da dieselbe Rückfallebenen wie bei EBuLa-Anzeige.
<b>Innovative Elemente bei der Einführung der Änderung</b>	Niedriger Innovationsgrad, da Beibehaltung geltender Regelwerke und Nutzung allgemein bekannter Systeme (Tablets, Smartphones).
<b>Komplexität der Änderung</b>	Geringe Komplexität, wenn einfache Dokumentenbereitstellung per Tablet (vgl. Software DiLoc Sync). Höhere Komplexität bei der Verknüpfung unterschiedlicher Funktionen (vgl. Software Rail in Motion).
<b>Überwachbarkeit</b>	Hohe Überwachbarkeit über den gesamten Lebenszyklus, da zentrale Informationsbereitstellung (Datensynchronisierung) und personengebundene Meldung über Empfang und Lesestatus von Dokumenten.
<b>Umkehrbarkeit</b>	Rückkehr zum vorherigen Zustand (papiergebundene Verfahren) ist problemlos möglich.
<b>Additive Wirkung</b>	Keine additive Wirkung, da von der digitalen Bereitstellung von La- bzw. Fahrplandokumenten im Fahrtmodus keine Auswirkungen auf in jüngster Zeit vorgenommene, nicht signifikante Änderungen ausgehen.

### 3.2.3.2 Ermittlung von Gefährdungen gemäß VO (EU) Nr. 402/2013

Zur Beurteilung möglicher Gefährdungen durch die Tablet-Nutzung wird in Anlehnung an das Risikomanagementverfahren gemäß VO (EU) Nr. 402/2013 vorgegangen. Dabei sind die vorausgehend erläuterten Schritte 1-6 abzuarbeiten.

Eine Definition des Systems Tablet-gestützte Anzeige von La- bzw. Fahrplandokumenten muss eine Beschreibung der Hardware sowie möglicher Einstellungen und Anwendungen umfassen. Bei den während der Projektbearbeitung befragten EVU kommen handelsübliche Tablets mit einer Bildschirmdiagonale von mindestens 10“, unterschiedlich beschaffene Schutzhüllen, Akkupacks sowie USB-Ladekabel zum Einsatz. Die Datenkommunikation erfolgt entweder per WLAN oder Mobilfunk (UMTS/LTE). Dem Anwender wird es hardwareseitig ermöglicht, den Bildschirm zu dimmen, Dokumente invers darzustellen (Nachtmodus) und zu zoomen. Die im Einsatz befindlichen Tablets verfügen auf der Softwareebene über eine Synchronisierungsfunktion. Die von einem Eisenbahnbetriebsleiter (EBL) oder einem anderen Zugangsberechtigten in einer Cloud-Anwendung eingestellten Dokumente werden somit tagesaktuell vom Tf abgerufen. Tf verfügen über keine Schreib- bzw. Änderungsrechte.

Alle Gefährdungen, die zu einem Unfall führen könnten, sind zu beschreiben. Identifizierte Gefährdungen lassen sich der Tabelle 7 entnehmen. Aufgrund des Nichtvorhandenseins eines geeigneten Regelwerks bzw. Referenzsystems wird im Beispiel eine explizite Risikoabschätzung vorgenommen. Den identifizierten Gefährdungen werden im Rahmen der Risikoabschätzung Sicherheitsmaßnahmen gegenübergestellt (Tabelle 8), sodass im nächsten Schritt eine Risikoevaluierung erfolgen kann.

TABELLE 7: GEFÄHRDUNGSERMITTLUNG UND –BESCHREIBUNG IM RAHMEN DES RISIKOMANAGEMENT-VERFAHRENS ZUR TABLET-NUTZUNG IM TFZ-FÜHRERRAUM (EIGENE DARSTELLUNG)

Bezeichnung der Gefährdung	Beschreibung der Gefährdung
<b>1 Blendwirkung durch Sonne</b>	Die Tablet-Anzeige ist durch den Tf nicht mehr oder nur noch schlecht erkennbar, da ein Display nicht entspiegelt und/oder kein Blendschutz im Fahrzeug eingesetzt wurde bzw. dieser nicht verfügbar ist.
<b>2 Blendwirkung bei Nacht</b>	Die Tablet-Anzeige erzeugt eine Blendwirkung auf den Tf, da das Display nicht gedimmt wurde, die Software keine inverse Darstellung ermöglicht oder der Tf keine Umstellung zur inversen Darstellung eingeleitet hat.
<b>3 Vibration</b>	Die Tablet-Anzeige ist aufgrund einer Übertragung der Fahrzeugvibration auf das mobile Endgerät schlecht zu erkennen.
<b>4 Befestigung</b>	Das Tablet kann aufgrund einer fehlenden oder unzureichenden Befestigungsmöglichkeit verrutschen.
<b>5 Stromversorgung</b>	Das Tablet fällt aufgrund einer unzureichenden Stromversorgung aus. Der Tf hat eine Benutzung des Ladegeräts versäumt, das Ladegerät oder ein Ersatz-Akku stehen nicht zur Verfügung oder das Ladekabel ist zu kurz.
<b>6 Schriftgröße der Anzeigen</b>	Die Tablet-Anzeige kann aufgrund einer zu kleinen Schriftgröße oder wegen einer falsch eingestellten Bildschirmhelligkeit nicht erkannt werden.
<b>7 Datenübermittlung</b>	Die Tablet-Anzeige kann nicht aktualisiert werden oder steht nicht zur Verfügung, da über einen längeren Zeitpunkt keine Datenübermittlung erfolgt mangels einer ausreichenden Netzabdeckung oder durch eine Ausschöpfung des monatlichen vertraglichen Datenvolumens.
<b>8 Datenspeicher</b>	Die Datenspeicherfähigkeit des Tablet-Gerätes ist erschöpft, da vorhandene Dateien nicht überschrieben oder gelöscht werden können.
<b>9 Ablenkungspotenzial</b>	Ein Tablet-Gerät wird nicht bestimmungsgemäß verwendet, etwa indem während der Fahrt Videos geschaut oder Zeitungsartikel gelesen werden.
<b>10 Ausfall des Gerätes</b>	Die Tablet-Anzeige ist gestört oder ein Einschalten des Gerätes wird unmöglich aufgrund einer technischen Störung.
<b>11 Fehlbedienung</b>	Das Tablet-Gerät verliert seine Funktionsfähigkeit aufgrund einer Fehlbedienung bzw. eines unsachgemäßen Umgangs.

TABELLE 8: RISIKOABSCHÄTZUNG DURCH IDENTIFIZIERTE GEFÄHRDUNGEN UND ABLEITUNG VON SICHERHEITSMÄßNAHMEN  
(EIGENE DARSTELLUNG)

Bezeichnung der Gefährdung	Sicherheitsmaßnahmen
<b>1 Blendwirkung durch Sonne</b>	Verwendung entspiegelter Displays, z. B. durch Entspiegelungsfolien. Prüfung der Blendeinwirkung und ggf. Nachrüstung eines Blendschutzes im Tfz-Führerraum. Verwendung von leuchtstarken Tablet-Geräten.
<b>2 Blendwirkung bei Nacht</b>	Software-gesteuerte automatische Abblendung und inverse Darstellung der Tablet-Anzeige, stufenlose Helligkeitsregelung des Displays.
<b>3 Vibration</b>	Verwendung vibrationsdämpfender Unterlagen zur Positionierung des Tablet-Gerätes, ggf. Neupositionierung des Gerätes zur Vibrationsreduktion.
<b>4 Befestigung</b>	Installation von rutschhemmenden Unterlagen sowie von Klemmhalterungen zur Positionierung des Tablet-Gerätes.
<b>5 Stromversorgung</b>	Verwendung zusätzlicher personengebundener Ersatz-Akkus und ausreichend langer USB-Ladekabel, Schulung der Tf.
<b>6 Schriftgröße der Anzeigen</b>	Verwendung ausreichend großer Displays (Bild diagonale von i. d. R. 10“), Zoom-Möglichkeit, Full-HD-Bildauflösung, leuchtstarkes Display.
<b>7 Datenübermittlung</b>	Verwendung eines ausreichend bemessenen mobilen Datenvolumens (i. d. R. reichen 2 GB aus), im Fall einer Drosselung können weiterhin Dokumente empfangen werden (64 kbit/s). Synchronisierungs-Check vor Fahrtbeginn zur Vermeidung einer zwischenzeitlich fehlenden Netzabdeckung.
<b>8 Datenspeicher</b>	Automatisches Überschreiben veralteter bzw. nicht mehr benötigter Dokumente, ausreichende Bemessung des Systemspeichers (mind. 16 GB).
<b>9 Ablenkungspotenzial</b>	Reglementierung der privaten Tablet-Nutzung während der Arbeitszeit. Schriftliche Fixierung der Anweisung zum bestimmungsgemäßen Umgang mit Tablets, Schulung der Tf.
<b>10 Ausfall des Gerätes</b>	Vorhaltung von Ersatzgeräten, definierte Rückfallebene, Ansprechperson IT.
<b>11 Fehlbedienung</b>	Schulung der Tf, Schutz des Gerätes bei Herunterfallen durch geeignete Schutzhüllen, Vorhaltung von Ersatzgeräten, definierte Rückfallebene, Ansprechperson IT.

Zu prüfen bleibt die Tolerierbarkeit einer Kombination der Auftretenswahrscheinlichkeit einer beschriebenen Gefährdung und dem zu erwartenden Schadensausmaß. Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf Abbildung 70.

Im Fall der Gefährdungen einer temporären Blendwirkung durch Sonne (1) bzw. in der Nacht (2), Vibrationserscheinungen (3) sowie Problemen mit der Befestigung von Tablets (4) ist von einem gelegentlichen Auftreten auszugehen, etwa bei tiefem Sonnenstand, aufgrund eines starken Hell-Dunkel-Kontrasts bei Tunneleinfahrten oder bei starken Vibrationen des fahrenden Tzf. Angesichts der zur Verfügung stehenden Sicherheitsmaßnahmen ist für Tf eine schnelle Abhilfe möglich, sodass die Auswirkungen tolerabel sind.

Im Fall der Gefährdung durch eine zu kleine Schrift (6) muss mit einem seltenen Auftreten gerechnet werden. Eine ggf. reduzierte Sehkraft bei einer gleichzeitig eingeschränkten Zoom-Möglichkeit eines detailreichen Dokuments erschwert die Tablet-Nutzung merklich. Im Zweifel werden angezeigte Daten zu spät oder fehlerhaft entziffert. Diese Aussage gilt jedoch nicht für besonders sicherheitsrelevante Geschwindigkeitsherabsetzungen, die im Verzeichnis der La besonders hervorgehoben werden.

Eine fehlende Stromversorgung (5) muss ebenso wie ein Ausfall der Datenübermittlung (7), ein überlasteter Datenspeicher (8), ein Ausfall des Gerätes (10) oder eine Fehlbedienung (11) als unwahrscheinlich gewertet werden. Jedoch stehen Tablet-Geräte vorübergehend nicht zur Verfügung, sodass ein kritisches Schadensausmaß erreicht ist, da ein sicherer Bahnbetrieb ohne geeignete Maßnahmen nicht gewährleistet werden kann. Befinden sich im Tzf keine Papierdokumente, etwa eine Schriftfassung des Verzeichnisses der Langsamfahrstellen oder ein Ersatzfahrplan, muss der Kontakt mit der BZ aufgenommen werden. Die Fahrt darf mit bis zu 40 km/h bis zum nächsten Bahnhof fortgesetzt werden (vgl. Abschnitt Signifikanzprüfung).

Eine mögliche Ablenkung (9) durch eine nicht bestimmungsgerechte (private) Nutzung des Tablet-Gerätes wird angesichts vielfältiger Sicherheitsmaßnahmen zwar als unwahrscheinlich gewertet, könnte jedoch aufgrund des hohen Ablenkungspotenzials zu einem schwerwiegenden Fehlverhalten des Tf führen. Dies gilt jedoch gleichermaßen für die Benutzung privater Smartphones im Tzf-Führerraum und entzieht sich einer Überwachung. Ein Vorschlagender kann an dieser Stelle lediglich an das Verantwortungsbewusstsein der Mitarbeiter appellieren, indem mögliche Konsequenzen einer Ablenkung regelmäßig thematisiert werden.

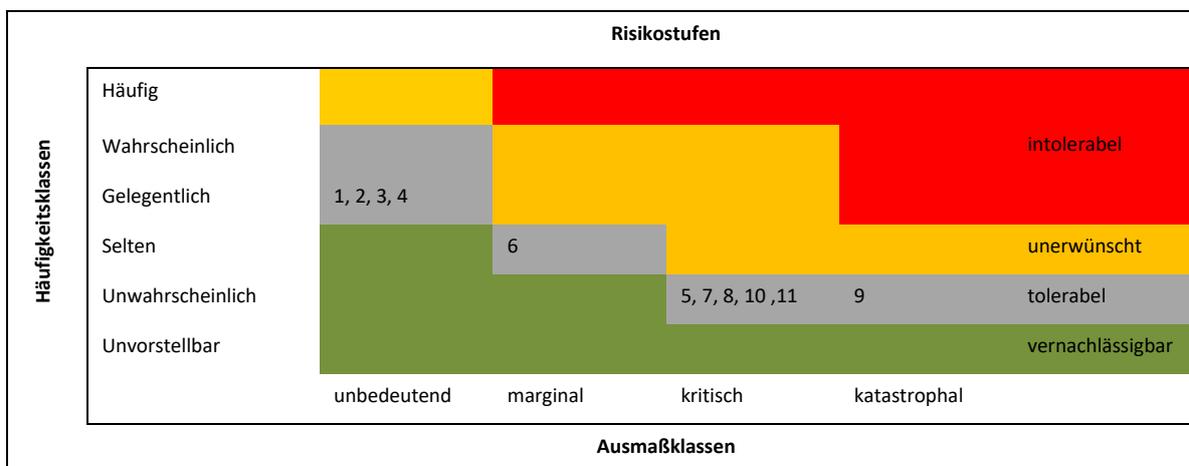


Abbildung 70: Risikoevaluierung am Beispiel Tablet-Einführung anhand der Kriterien Auftretenswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (eigene Darstellung verändert nach [246])

## 4 Betrachtung der Auswirkungen auf die Betriebsbeamten

In Abschnitt 3.1 wurden relevante Betriebsprozesse recherchiert und beschrieben, bei denen bereits auf digitale Arbeits- und Hilfsmittel zurückgegriffen wird. Unterschieden werden kann hier in stationär im Führerstand installierte Bordgeräte wie die Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB), das European Train Control System (ETCS), das Global System for Mobile Communications – Railway (GSM-R), den Elektronischen Buchfahrplan (und Langsamfahrstellen) (EBu(La)), das digitale Fahrassistenzsystem „LEADER“ und mobile Endgeräte mit digitalen Software-Applikationen wie die digitalen Fahrplanunterlagen und Langsamfahrstellen (La), die digitalen Dokumentenverteilungs- und Informationssysteme wie „Rail in Motion“, „DiLoc®|Sync“, „IVU.pad“ und das digitale Fahrerassistenzsystem „smartrain.das“. Die digitalen Arbeits- und Hilfsmittel unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Funktionalitäten, dies betrifft u. a. die Überwachung von Geschwindigkeiten und Signalhalten, die fernmündliche Kommunikation, Fahrempfehlungen auf Basis der Topographie, einen energieeffizienten Fahrverlauf, die Bereitstellung digitaler Fahrplanunterlagen, digitaler Regelwerke und Schichtpläne oder die Protokollierung von Störungen. In Abschnitt 3.2 wurden potenziell sicherheitsrelevante Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen allgemein sowie am konkreten Beispiel der Tablet-Nutzung thematisiert.

Auf Grundlage der betrachteten relevanten Betriebsprozesse, der Aufgabenbeschreibungen und der Priorisierung von Prozessen mit sicherheitsrelevanten Aufgaben werden in Kapitel 4 die Auswirkungen auf den Betriebsbeamten untersucht. Die Betrachtung der Auswirkungen auf die Betriebsbeamten gliedert sich in eine Analyse der Veränderungen des Berufsbildes des Tf aufgrund der Digitalisierung (Abschnitt 4.1), eine Erörterung möglicher Auswirkungen für den Tf bei der Nutzung digitaler Arbeitsmittel (Abschnitt 4.2) sowie eine Erfassung von Vor- und Nachteilen bei der Nutzung bestimmter digitaler Arbeits- und Hilfsmittel, z. B. externer Fahrerassistenzsysteme oder mobiler Endgeräte (Abschnitt 4.3).

### 4.1 Analyse der Veränderungen des Berufsbildes des Triebfahrzeugführers (Tf) aufgrund der Digitalisierung

In Abschnitt 4.1 werden die Veränderungen des Berufsbildes des Tf aufgrund der Nutzung von digitalen Arbeits- und Hilfsmitteln anhand der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), der Aus- und Weiterbildung von Tf und der Automatisierung analysiert. Zunächst werden die Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse beschrieben und die Besonderheiten von § 47 EBO erörtert. Hinsichtlich § 47 Abs. 2 EBO (Tragen einer richtigzeigenden Uhr) werden Empfehlungen für die betriebliche Praxis aufgezeigt. Anschließend werden die derzeitige und zukünftige Aus- und Weiterbildung von Tf anhand von Praxisbeispielen exemplarisch betrachtet. Schließlich werden mögliche Auswirkungen der Automatisierung auf das Berufsbild des Tf diskutiert.

## 4.1.1 Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse sowie Gestaltungsempfehlungen für die betriebliche Praxis

Aus den erhobenen digitalisierten Betriebsprozessen ergeben sich Auswirkungen und Herausforderungen bzgl. der Arbeitssicherheit, des Gesundheitsschutzes und der Akzeptanz bestimmter Tätigkeiten auf Seiten des Tf, die vom Arbeitgeber beachtet werden sollten.

### 4.1.1.1 Entgrenzung von Privat- und Berufsleben

Eine potentielle Auswirkung digitalisierter Betriebsprozesse auf den Tf ist die Entgrenzung des Berufs- und Privatlebens durch mobile Endgeräte. Hier besteht die Gefahr, dass Arbeit in die Freizeit verlagert wird, wenn die Beschäftigten durch die private Nutzung von Tablets oder Smartphones durchgehend erreichbar sind oder aufgefordert werden, die Geräte in der Freizeit zu synchronisieren. Aus arbeitspsychologischer Sicht sollte die Entgrenzung des Berufs- und Privatlebens beachtet werden, um das Abschalten von der Arbeit nicht zu erschweren und die Erhöhung der Arbeitsanforderungen zu vermeiden. Auch die Haftungsrisiken, die durch den privaten Gebrauch entstehen, sollten berücksichtigt werden [248].

Um eine menschenzentrierte Gestaltung neuartiger digitaler Arbeits- und Hilfsmittel zu gewährleisten, sollten relevante Interessensgruppen, z. B. Arbeitgeber- und Arbeitnehmervertreter, in den Aufbauprozess einbezogen werden. Der Schutz der Beschäftigten vor der Entgrenzung des Berufs- und Privatlebens kann aktiv gestärkt werden, indem die Gerätenutzung anhand betrieblicher Vereinbarungen zwischen Arbeitgeber- und Arbeitnehmervertretern geregelt wird und den Mitarbeitern Schulungen zum Umgang mit digitalen Medien angeboten werden [249].

Der Qualifizierungsbedarf hinsichtlich einer Nutzung digitaler Medien betrifft auch Kompetenzen im Bereich der Entschleunigung und des Grenzmanagements zwischen dem Berufs- und Privatleben. Ein zentrales Ziel besteht darin, in einer durch die Digitalisierung angetriebenen Arbeitswelt Zeit für Erholung und Ruhe einzuplanen [250]. Über Schulungen zum verantwortungsvollen Umgang mit Mediennutzung können diese Kompetenzen erworben werden [249]. Auch für die als „digital natives“ bezeichnete Generation, die mit digitalen Kommunikationsmedien aufgewachsen ist, besteht ein Bedarf, den Umgang mit Medien zu schulen und auf Gefahren aufmerksam zu machen [251]. Die Medienkompetenz sollte bereits in der beruflichen Ausbildung gefördert werden, um die Auszubildenden auf die sich wandelnden Anforderungen der Berufspraxis vorzubereiten. Dazu müssen die Ausbildungsordnungen und -rahmenpläne angeglichen werden, die festlegen, in welchem Umfang Medienkompetenz zu erwerben ist [252].

Im Tarifvertrag 4.0 der DB ist ein Anrecht eines Mitarbeiters auf Weiterbildung festgehalten, sollte sich das jeweilige Berufsbild durch die Digitalisierung verändern [253]. Die Festlegung dieses Anrechts gewährt dem Arbeitnehmer Beschäftigungssicherheit und könnte zudem die Angst vor neuen Technologien abschwächen. Um einen qualifizierten Mitarbeiterstamm zu sichern, sollte die Personalentwicklung in den Kontext der sich wandelnden Organisation eingebunden sein. Dies ist auch notwendig, um den Erwerb von Wissen, Fähig- und Fertigkeiten im lebenslangen Lernprozess dauerhaft zu sichern. Die räumliche Systematik des neuen Wissens sollte dabei bedacht werden und die Übertragung auf den Berufsalltag durch Transferhilfen erleichtert werden [254]. Hierbei können besonders der Einbezug des sozialen Umfeldes und der wahrgenommene Nutzen des neuen Wissens die Akzeptanz erhöhen.

#### 4.1.1.2 Tragen einer richtigzeitigen Uhr

In § 47 Abs. 2 der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) ist das Tragen einer richtigzeitigen Uhr für den Tf und andere Betriebsbeamte festgeschrieben [223]. Der Paragraph enthält keine genaue Definition, was unter einer Uhr zu verstehen ist und wie diese funktionieren muss. So könnte z. B. die Zeitanzeige am Mobiltelefon oder Tablet eine Uhr darstellen. Genauer gilt es festzulegen, ob eine Anzeige von Minuten und Stunden genügt, oder ob die Uhr im Sinne der Verordnung eine aktuelle Sekunde anzeigen muss. Auch das "Tragen" der Uhr ist nicht präzisiert. Ungeklärt bleibt, ob die Uhr ständig unmittelbar am Körper bzw. Handgelenk getragen werden muss, oder ob es ausreicht, wenn diese griffbereit ist (bspw. in der Hosentasche). Einleitend ist festzustellen, dass die einzelnen EVU Regelungen zur Einhaltung der Bestimmungen zu treffen haben, damit den Betriebsbeamten eine sichere und pünktliche Durchführung des Eisenbahnbetriebs ermöglicht wird. Somit obliegt die Einschätzung dem EVU, inwieweit das Tragen einer richtigzeitigen Uhr erforderlich ist.

Nach dem heutigen Stand der Technik verfügen Tfz über diverse Anzeigen im Führerraum, welche die Uhrzeit i. d. R. sekundengenau anzeigen. In älteren Tfz sind solche Anzeigen nicht immer vorhanden. Im Interesse einer pünktlichen Zugförderung ist das Vorhandensein bzw. Mitführen einer richtigzeitigen Uhr mit sekundengenaue Anzeige empfehlenswert. Zum regelmäßigen Abgleich der aktuellen Zeit und den im Fahrplan vorgegebenen Durchfahrts-, Ankunfts- und Abfahrtszeiten ist es durchaus erforderlich, dass eine zur Verfügung stehende richtigzeitige Uhr für den Tf jederzeit gut ablesbar ist, ohne dass dieser von seinen sonstigen betriebs- und sicherheitsrelevanten Aufgaben (z. B. Strecken- und Signalbeobachtung) abgelenkt wird. Vor diesem Hintergrund wird das Vorhandensein von Uhren in Hosentaschen o. Ä. „in einem bestimmten Radius“ eher kritisch gesehen. Das frühere Tragen von griffbereiten Taschenuhren und spätere Tragen von sekundengenauen, richtigzeitigen Armbanduhren hat sich nach Einschätzung des EBA über Jahre bewährt.

#### 4.1.1.3 Ablenkungspotential durch mobile Endgeräte

In dem Abschnitt 3.2 sind die sicherheitsrelevanten Auswirkungen digitaler Arbeits- und Hilfsmittel am Beispiel der Tablet-Nutzung erhoben und mithilfe gängiger Normen und Regelwerke beurteilt worden. Der erste Schritt erfolgte über die Definition des Systems, das eine elektronische Bereitstellung und Anzeige von Dokumenten und die Einstellung der Dokumentenbereitstellung in Papierform vorsieht. Mögliche Gefährdungsfaktoren konnten anschließend über eine Risikoanalyse identifiziert werden (vgl. Abschnitt 3.2.3.2). Risiken bestehen vor allem aufgrund eines Ablenkungspotentials, wenn das Tablet-Gerät nicht bestimmungsgemäß verwendet wird, oder aufgrund möglicher Fehlbedienungen, infolgedessen das Tablet-Gerät seine Funktionsfähigkeit verlieren kann. Zwar sind derartige Fehlhandlungen des Tf bislang nicht aktenkundig. Allerdings ist mit dem Verweis auf einen Zwischenbericht der Untersuchungszentrale der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes (Aktenzeichen 60uu2016-02/005-3323) bezüglich der Zugkollision am 09.02.2016 in Bad Aibling davon auszugehen, dass neben Fdl auch Tf potentiell durch die private Verwendung mobiler Endgeräte abgelenkt werden könnten.

Aus dem erhobenen Ablenkungspotential, welches durch eine unsachgemäße bzw. zweckentfremdete Nutzung mobiler Endgeräte entsteht, lassen sich Sicherheitsanforderungen ableiten, die auch eine Reglementierung der privaten Tablet-Nutzung während der Arbeitszeit beinhalten. Zudem kann die Gefahr einer Ablenkung vermindert werden, indem eine Anweisung zum bestimmungsgemäßen Umgang mit Tablets schriftlich fixiert wird und Tf hinsichtlich der Gefahren, die von einer unsachgemäßen Nutzung des Tablets ausgehen, geschult werden. Auch eine potenzielle Fehlbedienung der Tablets und das damit verbundene Risiko kann durch Mitarbeiterschulungen gesenkt werden. Um der Fehlbedienung entgegen zu wirken, empfiehlt es sich, zusätzlich eine Ansprechperson in einer unternehmenseigenen IT-Abteilung festzulegen und so eine Rückfallebene zu schaffen.

#### 4.1.1.4 Änderungen der Betriebsprozesse

Auf der Ebene der technischen Maßnahmen zur Reduktion der Gefährdungen kann die genaue Unterscheidung zwischen dienstlich erforderlichen und privaten Applikationen auf mobilen Geräten und die Sperrung von privaten Applikationen förderlich sein. Grundsätzlich erhöht eine Öffnung für private Applikationen die Nutzerakzeptanz gegenüber Tablets und sollte deshalb nicht gänzlich verboten werden. Der Betrieb sollte genaue Anweisungen bezüglich des Verbots von privaten Applikationen während der Dienstzeit aussprechen und die Arbeitnehmer für die Gefahren der Ablenkung sensibilisieren.

Informationen über La's, betriebliche Änderungen an Feiertagen, Schichtabweichungen, betriebliche Regelwerke, Befehle und Weisungen sowie sonstige betrieblich relevanten Informationen wurden bis vor wenigen Jahren über Papierschnittstellen kommuniziert. Da es keine Systemabstürze geben kann und die Nutzung einfach ist, galten diese als robust. Die Umsetzung neuer Systeme war mit der Zielsetzung verbunden, ähnlich robuste Schnittstellen zu schaffen, um die Vorteile der Papiernutzung beizubehalten. Dies führte zu Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Bereich des papierlosen Bahnbetriebs (vgl. Abschnitt 2.2.1.2). Die seit 2015 prototypisch genutzten Tablets konnten zunächst nur ein Fenster anzeigen und nicht etwa den Buchfahrplan sowie das Verzeichnis der La's in paralleler Weise, was jedoch durch die Entwicklung einer neuen Fenstertechnik gelöst wurde. Weitere Funktionen des Tablets könnten zu einer Reduktion administrativer Tätigkeiten in der Verwaltung eines EVU führen.

Die Anmeldung vor Schichtbeginn und die Abmeldung nach Schichtende sowie elektronische Unterschriften für erhaltene Weisungen entlasten die Gruppenleiter, schüren aber auch die Angst vor Vereinsamung, da die soziale Interaktion zu Arbeitsbeginn und -ende in den Einsatzstellen zunehmend entfällt. Um die Vorbehalte gegenüber mobilen Endgeräten und die damit zusammenhängende Änderung der Arbeitsorganisation zu mindern, könnten die Einsatzstellen vorerst Anlaufstellen zu Arbeitsbeginn und -ende bleiben. Außerhalb der Arbeitszeiten geschieht die Tablet-Nutzung auf freiwilliger Basis. Bei manchen EVU dürfen nach dem Feierabend zudem private Applikationen verwendet werden, was insbesondere bei Dienstreisen und auswärtigen Übernachtungen für die Mitarbeiter einen Mehrwert darstellt.

### 4.1.2 Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern

Die Aus- und Weiterbildung von Tf ist aktuell Veränderungsprozessen unterworfen. EVU sollten sich über den Einsatz digitaler Medien sowie die Vermittlung digitaler Lehrinhalte in der Aus- und Weiterbildung von Tf informieren, um zukünftigen Tf den Umgang mit neuartigen und weiterentwickelten digitalen Technologien und Anwendungen zu erleichtern.

#### 4.1.2.1 Ist-Zustand der Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern

Während im Bereich der Eisenbahn-Fahrzeugtechnik bereits ein technologischer Wandel in Richtung Digitalisierung stattgefunden hat, wurden die Lehr- und Lernmethoden für die Erstausbildung sowie für jährliche Fortbildungen der Tf noch nicht in größerem Umfang an die digitalen Möglichkeiten angepasst.

Lehrgänge finden noch weitgehend papierbasiert statt. Um jungen Interessierten den Arbeitsalltag des Tf näherzubringen, wird auf Messen aber schon mit Virtual Reality (VR)-Brillen gearbeitet und die Anwendung von VR am Beispiel der Instandhaltung von ICEs demonstriert [253].

Die regelmäßig stattfindenden Fortbildungen bestehen aus einem individuellen und einem zentral vorgegebenen Teil. Im individuellen Teil liegt der Fokus auf einem Kompetenzgespräch mit der zuständigen Führungskraft. Der zentrale Teil setzt sich aus einem Präsenztage und Simulatorfahrten zusammen, die bereits seit den 1990er Jahren zu Schulungszwecken verwendet werden und den Umgang mit Störungen (das Einfahren auf besetzte Gleise, Bremsstörungen etc.) oder Überwachungsfahrten trainieren.

Durch die Simulatorfahrten soll zudem die Qualifikation aufrechterhalten werden. Weitere Themen des Präsenztags sind bspw. das Sicherheitsmanagement, die Zugvorbereitung und der Einsatz auf Strecken mit Tunneln [255]. Auch seltene Besonderheiten und Störungen werden regelmäßig geübt, so z. B. das Verhalten beim Ausfall des Tablets, der Ausfall der Führerraumanzeige des Fahrplans (EBuLa), der Ausfall von technischen Einrichtungen und das Bedienen von Handweichen [256].

Bei der persönlichen Informationsbeschaffung bzw. Weiterbildung tendiert der Trend in Richtung des „Googelns“ anstelle des klassischen Auswendiglernens. Um diesem Trend zu begegnen, setzt die DB auf elektronische Datenbanken wie das E-Mail-System Lotus-Notes unter der IT-Plattform „Bürokommunikation Unternehmensweit“ (BKU). Um Probleme beim Auffinden der Informationen zu vermeiden, wurden der Umgang mit den Informationsplattformen und der Systematik der Informationsablage bereits 2015 bei der DB geschult [257].

#### 4.1.2.2 Zukünftige Aus- und Weiterbildung von Triebfahrzeugführern

Über eine Literaturrecherche und Experteninterviews mit einem namhaften Anbieter von Ausbildungs- und Weiterbildungsangeboten konnten weitere Einblicke in die Zukunft der Aus- und Weiterbildung der Tf gewonnen werden. Nachfolgend werden u. a. die Schwerpunkte Blended Learning, E-Learning, lebenslanges Lernen und die Entgrenzung des Berufs- und Privatlebens sowie exemplarisch das Bildungskonzept „New Learning Solutions“ der Deutschen Bahn AG betrachtet.

Beim integrierten Lernen (engl. Blended Learning) werden der konventionelle Unterricht und das computergestützte Lernen (engl. E-Learning) kombiniert. Bei dem betrachteten Lernmanagementsystem bleibt die Ausbildung in der Praxis zunächst unverändert, die neuen Lernformate werden ausschließlich im Theorieunterricht erprobt. Die theoretischen Grundlagen können so in Form von Modulen (bspw. zu den Themen Signale, bahnspezifische Fachbegriffe etc.) vermittelt werden. Das webbasierte Lernmanagementsystem ermöglicht die Bereitstellung von Lerninhalten, die Organisation von Lernvorgängen und die Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden. Der virtuelle Kommunikationsraum kann besonders für den einzelnen Lernenden wichtig sein, da er einen sozialen Austausch ermöglicht. E-Learning wird als Möglichkeit angesehen, Schulungsteilnehmer mit heterogenen Voraussetzungen auf ein homogenes Level zu bringen. Grundlagenwissen soll hier über Selbstlernen erworben werden, wobei sich die Schulungsinhalte nicht verändern, sondern die methodisch-didaktische Herangehensweise angepasst wird. Blended Learning stellt eine Kombination von virtuellen und nicht-virtuellen Lernsettings und Methoden dar. Die Theorie kann sowohl in Präsenzphasen als auch in Selbstlernphasen vermittelt werden, zwischendurch erfolgen Lernstandkontrollen, ggf. müssen Module wiederholt werden. Eine Entlastung der zeitlichen und räumlichen Ressourcen (z. B. Dozenten, Räume, Schulungsteilnehmer) kann durch E-Learning erreicht werden.

In Zukunft soll jeder neue Beschäftigte der DB zu Ausbildungsbeginn ein Tablet erhalten. Zusätzlich sollen bis voraussichtlich 2019 alle Beschäftigten mit einem Tablet ausgestattet werden. Wichtig ist hier die genaue Planung einer Rahmenvereinbarung mit dem Betriebsrat bzgl. des lebenslangen Lernens. Gemäß § 96 des Betriebsverfassungsgesetzes (BetrVG) ist der Arbeitgeber verpflichtet, über die Förderung, Einrichtungen und Möglichkeiten der Berufsbildung zu informieren (Betriebsverfassungsgesetz § 96 Förderung der Berufsbildung) [258]. Der Betriebsrat sollte die Interessen der Mitarbeiter vertreten und diese auf Chancen der (Weiter-)Bildung hinweisen. Die Kommunikation zwischen dem Arbeitgeber, Betriebsrat und den Mitarbeitern sollte gegeben sein, um den Weiterbildungsbedarf der Mitarbeiter festzustellen, diesen gegenüber dem Arbeitgeber zu kommunizieren und somit eine günstige Lernsituation zu schaffen.

Die Tablets sollen als Lernmaterial dienen und die Anzahl der Papier-Ausdrucke eindämmen, aber auch der privaten Nutzung zur Verfügung stehen. Notwendige Arbeitsmittel sollen weiterhin als Ausdrucke

zur Verfügung gestellt werden, falls dies methodisch-didaktisch zielführend sein sollte, z. B. könnten papierbasierte Arbeitsblätter zu Übungszwecken beibehalten werden [259]. Diverse digitale Lehr- und Lernmöglichkeiten sollen ausprobiert werden, das oberste Ziel bleibt allerdings die Erreichung einer gewissen Lernzieltiefe sowie einer Handlungssicherheit der Beschäftigten.

In Bezug auf den Berufsalltag des Tf ist in Zukunft vorgesehen, Prozesse digitalisiert mithilfe des Tablets abzuwickeln. Diese Bestrebungen umfassen die Vermittlung der relevanten Informationen, den Meldprozess zu Beginn der Schicht, die Einsatzplanung und die Arbeitsaufträge, die Ist-Schichtfassung und die Abrechnung von Arbeitszeiten. Eine Unterstützung während der Zugfahrt durch Fahrempfehlungen und Qualifizierungsangebote soll ebenfalls digital ermöglicht werden. Über eine Tablet-Applikation könnte zudem die Meinung der Mitarbeiter zu verschiedenen Themen, die Dokumentation der Arbeitsabläufe der Mitarbeiter durch die Gruppenleiter, die Vormeldung von Fahrzeugstörungen und die Übermittlung von Fahrplanmitteilungen vereinfacht bzw. unterstützt werden (vgl. Abschnitt 3.1.6). Grundsätzlich sind eine Individualisierung der Einsatzpläne, die Aufnahme von Mitarbeiterwünschen und die Erhöhung der Erreichbarkeit der Tf zukünftig vorgesehen [65]. Die jährlich notwendige Aufklärung zu den Themen Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz soll zukünftig ebenfalls über Verlinkungen und den Download geeigneter Erklärungsfilmte ergänzt werden [260].

Beschäftigte sollen zukünftig über die zur Verfügung gestellten Tablets orts- und zeitunabhängig lernen können und die dafür aufgewandte Freizeit in Arbeitszeit gutgeschrieben bekommen. Die Flexibilisierung des Lernens soll eine erhöhte Bindung an den Arbeitnehmer erzielen, da die Arbeitnehmer über die eigenständige zeitliche Einteilung ihres Lernpensums ein erhöhtes Maß an Autonomie erleben. Die von DB Training, Learning & Consulting entwickelte Applikation „DB Signale“ wurde bereits im Juni 2015 im App Store veröffentlicht und konnte seitdem ca. 5.000 Downloads verzeichnen. Die Kosten der Applikation belaufen sich auf 4,99 Euro. Die Applikation ermöglicht es, Inhalte der Richtlinie (Ril) 301 „Signalbuch“ zu erlernen und nachzuschlagen. Die Inhalte sind in Form von Modulen wie einem Quiz oder einem Signalhandbuch angelegt.

Im Rahmen des Projekts „Next Education“ entwickelte der Personalqualifizierungs-Dienstleister DB Training, Learning & Consulting das Bildungskonzept „New Learning Solutions“ (Abbildung 71) und begleitet den digitalen Wandel sowie die Erprobung von neuen Lernformaten. Zunächst erfolgte eine Qualifikation der Führungskräfte hinsichtlich der grundlegenden Anwendungsfelder neuartiger digitaler Technologien, gefolgt von einer aktuell stattfindenden Einführungs- und Qualifikationsphase auf Seiten der Beschäftigten.

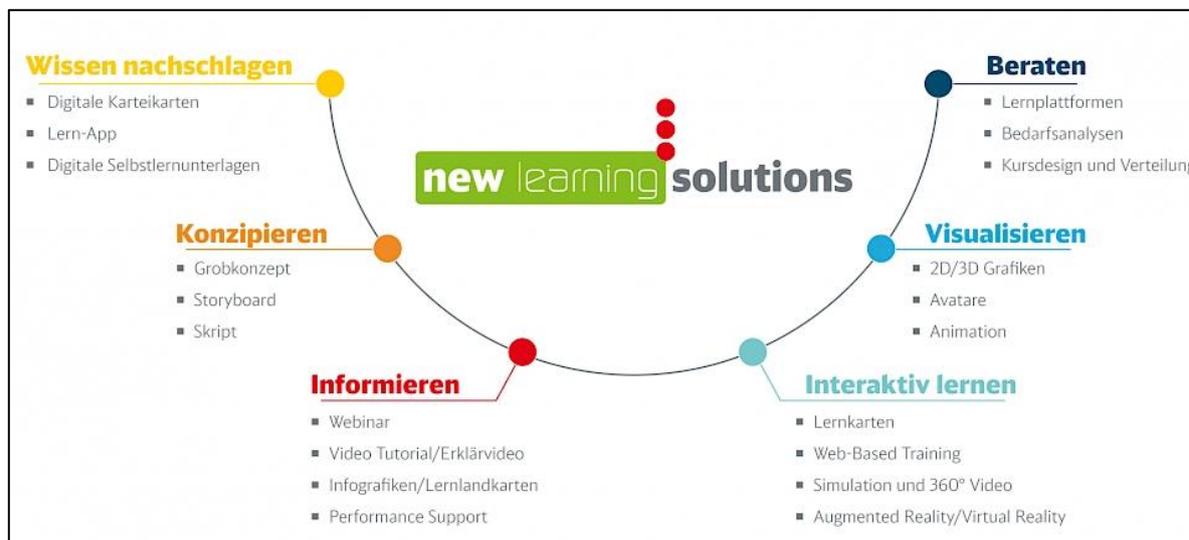


Abbildung 71: Innovative Bildungskonzepte und Lernlösungen des DB-Konzerns im Rahmen des Projekts „Next Education“ (DB Training, Learning & Consulting / Deine Bahn [261])

Bei diesem Bildungskonzept wird der Lernende als Treiber für das Bildungsangebot betrachtet, Lerninhalte und das Lerntempo sollten an individuelle Bedürfnisse angepasst werden. Neue Konzepte und Lernformate können durch New Learning Solutions geschaffen und bis zur Anwendung gebracht werden. Dadurch wird die digitale Transformation des DB-Konzerns unterstützt und dem neuesten Stand der Modernisierung angeglichen. Über digitale Karteikarten, Lern-Applikationen, Tutorials oder Webinare kann der Lernende sein Wissen im eigenen Tempo vertiefen und bereits erlernte Inhalte orts- und zeitunabhängig jederzeit wiederholen und nachschlagen. Ein selbstgesteuerter Rhythmus wird ermöglicht. Die Lernplattformen bieten zudem die Möglichkeit für einen Austausch der Lernenden. Darüber hinaus kann eine gegenseitige Unterstützung und Beratung im Umgang mit den neuen Lernmethoden ermöglicht werden.

Eine Kombination aus analogen Face-to-Face Elementen und digitalen Elementen erlaubt verschiedene interaktive Lernmöglichkeiten. Hinzu kommt die Erweiterung der Lernelemente um Virtual Reality (VR; Simulation einer dreidimensionalen Umgebung, Interaktion des Nutzers über Brille und Sinne) und Augmented Reality (AR; computergenerierte Inhalte werden über die reale Umwelt gelegt, vgl. auch Anwendung im Luftverkehr, Abschnitt 2.2.4.1). Das Training von gefährlichen Situationen, welches bisher nur erzählbar war, kann jetzt ohne Risiko über VR erlebt werden. Auch die Visualisierung der Lerninhalte ist vielfältig und abwechslungsreich gestaltet und reicht von 2D- bzw. 3D-Grafiken bis hin zu Avataren. Als Avatar werden fiktive, softwarebasierte Bildschirmgestalten eines Nutzers in virtuellen Welten und Begegnungen bezeichnet [262]. Eine Übersicht der beschriebenen Lehr- und Lernmethoden im Zuge der Digitalisierung bietet Abbildung 72.

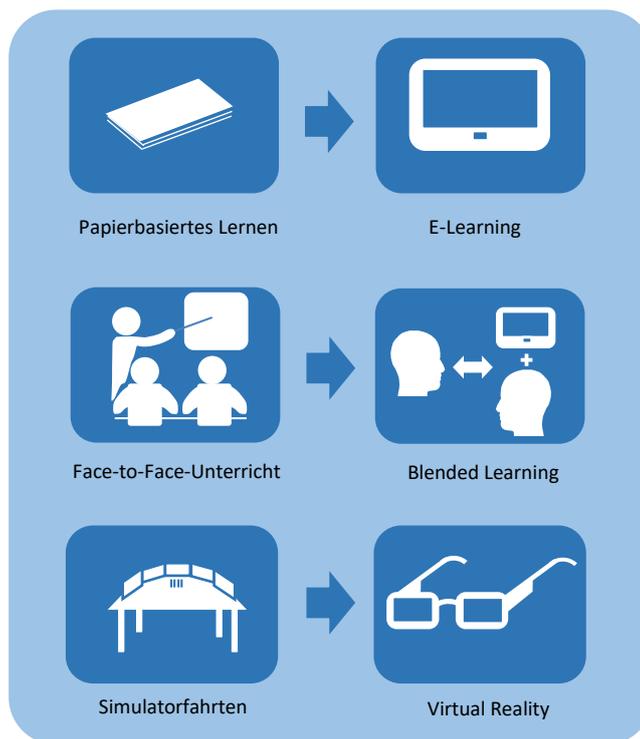


Abbildung 72: Transformation der Lehr- und Lernmethoden im Zuge der Digitalisierung (eigene Darstellung)

Neben den Vorteilen der neuen Lernkonzepte bergen diese auch einige Herausforderungen für den Arbeitnehmer. Der Lernende trägt mehr Verantwortung für den eigenen Lernstand und muss je nach Lern-tempo eventuell mehr Zeit in das Erlernen des Wissens investieren, als vom Betrieb vorgesehen. Dadurch kann Freizeit verloren gehen und die Beanspruchung des Einzelnen steigt. Im Gegensatz zum konventionellen Face-to-Face-Unterricht müssen neuartige Inhalte ggf. selbst erarbeitet werden. Somit kann es in der Freizeit des Arbeitnehmers nicht nur zu der Belastung durch das Wiederholen von Inhalten, sondern zu einem erhöhten Aufwand durch das Lernen neuartiger Inhalte kommen.

### 4.1.3 Auswirkungen der Automatisierung auf das Berufsbild des Triebfahrzeugführers

Der Wandel der Triebfahrzeugtechnik hat bereits stattgefunden. Es existieren u. a. diverse Diagnose-Tools (z. B. Türschließenrichtung, Zustandsmeldung von Maschinenteilen, Energieverbrauchsmessung) und digitale Möglichkeiten hinsichtlich der Geschwindigkeitsüberwachung und -führung (z. B. mithilfe der Technologien LZB, AFB oder ETCS im Modus „Full Supervision“, vgl. Abschnitt 3.1.1). Eine weitgehende Automatisierung der Fahraufgabe des Tf, aber auch ein fahrerloser Bahnbetrieb, ist in ausgewählten Anwendungsbereichen bereits technisch möglich, insbesondere für S- bzw. U-Bahnen (vgl. Abschnitt 2.2.1.3). Tablets mit entsprechenden Software-Applikationen wie „Rail in Motion“, „DiLoc|Sync“ oder „IVU.pad“ sind je nach EVU und Geschäftsfeld bereits Standard (vgl. Abschnitt 3.1.6 und 3.1.7).

Durch die fortschreitende Digitalisierung und die Durchdringung der Arbeit mit digitalen Medien verändern sich die Rahmenbedingungen der Arbeit. Folglich ergeben sich neue Anforderungen an die Kompetenzen der Mitarbeiter hinsichtlich des Arbeitsinhaltes und von Arbeitsprozessen [263]. Eine Anforderungsanalyse bietet die Möglichkeit, die veränderten Merkmale des Arbeitsplatzes zu ermitteln, die für den beruflichen Erfolg oder die berufliche Zufriedenheit bedeutsam sind und aufgrund der Einführung

neuer Technologien entstehen können. Aus der Anforderungsanalyse sollten diejenigen Eignungsmerkmale abgeleitet werden, die für die Erfüllung der Anforderungen notwendig sind (DIN 33430; in [264]). Beispiele für die Digitalisierung des Bahnbetriebs stellen die Einführung von Tablets für Tf (vgl. Abschnitt 2.2.1.2) oder die langfristig projektierte Automatisierung von Zügen (vgl. Abschnitt 2.2.1.5) dar.

Die potentielle (Teil- oder Voll-) Automatisierung des Bahnbetriebs führt zu neuen Aufgaben für den Tf. Hierbei muss beachtet werden, dass eine reine Überwachungstätigkeit für den Menschen vermieden werden sollte, da diese Monotonie und Müdigkeit erzeugen (vgl. Abschnitt 4.2.2.2). Die Automatisierung bzw. Computersteuerung eines Systems kann den Grad der Interaktion zwischen Mensch und System begrenzen, sodass das Bewusstsein des Bedieners für die Systemzustände eingeschränkt ist. Bei Systemfehlern, Fehlfunktionen oder Ausfällen kann dies ein ernsthaftes Problem darstellen, da der Bediener oft langsamer auf solche Ereignisse reagiert, als wenn er das System aktiv steuern würde. Darüber hinaus wissen Bediener, die aus der Systemsteuerung entfernt wurden, im Fehlerfall möglicherweise nicht, welche Korrekturmaßnahmen erforderlich sind, um das System zu stabilisieren. Dieses Phänomen kann als „Operator-out-of-the-loop“ beschrieben werden [265].

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ist zu empfehlen, dass eine weitergehende Automatisierung der Tätigkeiten des Tf nur erfolgen sollten, wenn das Betriebspersonal auch dann noch in kurzer Abfolge Bedienerhandlungen ausführt, die Monotonie und Müdigkeit verhindern. Von einer rein überwachenden Aufgabe des Tf ist abzuraten.

## 4.2 Analyse möglicher Auswirkungen für Tf bei der Nutzung digitaler Arbeitsmittel

Die Analyse möglicher Auswirkungen für Tf bei der Nutzung digitalisierter Arbeitsmittel ergänzt die Betrachtung relevanter Betriebsprozesse in Kapitel 3. Die Analyse basiert auf generellen Grundlagen zum Faktor Mensch sowie einer systematischen Literaturrecherche zu Faktoren, welche digitale Technologien und die Domäne des Eisenbahnbetriebs berücksichtigen. Darüber hinaus wurde eine Befragung von Stakeholdern digitalisierter Arbeitsmittel von Tf durchgeführt. Dies erfolgte mittels semi-strukturierter Interviews, anhand von Führerraum-Mitfahrten sowie durch die Beteiligung weiterer Stakeholder, z. B. Qualifizierungsdienstleister und Anbieter von Software-Applikationen für digitalisierte Arbeitsmittel von Tf. Die Analyse möglicher Auswirkungen für Tf bei der Nutzung digitaler Arbeitsmittel schließt mit einer Ableitung möglicher zukünftiger Veränderungen für den Beruf des Tf ab.

### 4.2.1 Grundlagen zum Faktor Mensch

Um mögliche Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung von Tf zu analysieren, werden im Folgenden zunächst allgemeine Prozesse der menschlichen Wahrnehmung und Aufmerksamkeitssteuerung zusammenfassend beschrieben. Die Beschreibung basiert auf verbreitete und vielfach untersuchte arbeitswissenschaftliche Theorien und Modelle.

#### 4.2.1.1 Visuelle Wahrnehmung

Die Wahrnehmung wird als ein Prozess und Ergebnis der Informationsgewinnung und -verarbeitung von Reizen sowohl aus der Umwelt als auch aus dem Körperinnern eines Menschen definiert. Dabei laufen Vorgänge der Wahrnehmung meist unbewusst durch das Filtern und Zusammenführen von Teil-Informationen ab, um subjektiv sinnvolle Gesamteindrücke zu konstruieren [266]. Zudem ist es möglich, bewusste Einflussnahmen auf den Wahrnehmungsprozess vorzunehmen. So können Inhalte und Qualitäten einer Wahrnehmung durch gezielte Steuerung der Aufmerksamkeit und durch Wahrnehmungsstrategien verändert werden [267]. Die Vermittlung von Wahrnehmungen geschieht über Sinnesorgane und mit diesen verknüpften Verarbeitungsmechanismen. Somit werden die Möglichkeiten der Wahrnehmung im Wesentlichen durch die Eigenschaften des spezifischen Sinnesorgans und dessen Signalverarbeitungsmechanismen bestimmt. Auf Basis entdeckter und erkannter Reize und unter Berücksichtigung beabsichtigter Ziele und weiteren Randbedingungen (z. B. Hast, Unkonzentriertheit) werden darauf folgend Entscheidungen getroffen und ggf. Handlungen ausgeführt [268].

Visuelle Wahrnehmungen entstehen durch Reizverarbeitung über das Auge. Dabei ist Licht, also elektromagnetische Strahlung, als rezeptoradäquater Reiz für das menschliche Auge im Wellenbereich von 400 nm (Ultraviolett) bis 700 nm (Infrarot) wahrnehmbar. Weißes Licht vereint alle Bereiche des sichtbaren Lichtes, während schwarzes Licht alle Bereiche des sichtbaren Lichtes absorbiert. Die im Auge befindlichen Rezeptoren nennen sich Zapfen und Stäbchen, wobei Zapfen der Empfindung von Farbe und Stäbchen der Empfindung von Helligkeit dienen [269]. Die Schwelle, ab wann ein Reiz gegenüber einem Ausgangsreiz als größer oder kleiner bzw. stärker oder schwächer empfunden wird, wird als Unterschiedsschwelle bezeichnet. Die Unterschiedsschwelle ist demnach der kleinste Unterschied zwischen zwei Reizen, den eine Person gerade noch feststellen kann. Dabei hängt die Größe des eben merklichen Reizunterschieds von der Größe des Ausgangsreizes ab. Wenn also die Größe des Reizes wächst, wächst auch die des eben merklichen Reizunterschiedes [270].

Zu den positiven Eigenschaften der visuellen Sinnesmodalität zählen zum einen eine hohe Empfindlichkeit für Bewegung und Veränderung im zentralen und peripheren Sichtfeld, zum anderen ist es dem

Wahrnehmenden möglich, aus Gesamtinformationen auszuwählen. Anzumerken ist jedoch, dass eine relativ langsame Reaktionszeit von 200-400 ms besteht [271] und durch den kleinen Bereich der Fovea, eine im Zentrum des sogenannten Gelben Flecks gelegene Einsenkung der Netzhaut (Retina), nur ein eng begrenztes Feld scharfen Sehens möglich ist [269]. Unter anderem durch diese Eigenschaft und diverse mögliche Wahrnehmungs- beziehungsweise Selektionsfehler, sowie Lenkung der Wahrnehmung auf bestimmte Reize durch Aufmerksamkeit, wird die begrenzte Kapazität der visuellen Wahrnehmung eines Menschen deutlich.

Für die Wahrnehmung von Objekt-Bewegungen bei ruhendem Auge ist nicht die foveale, sondern die periphere Netzhautabbildung von besonderer Bedeutung. Dabei werden die Lokaladaptation, der Kontrast und die entstehenden Nachbilder für die Wahrnehmung hinzugezogen. Die Auffälligkeit von bewegten Objekten ist im peripheren Netzhautbereich höher als im fovealen Netzhautbereich. Deshalb kann der bewegte Beobachter aus der Auswertung der peripheren Lichtreize Geschwindigkeitsinformationen gewinnen. Dagegen steigt die Wahrnehmungsschwelle zur Peripherie an. Die Geschwindigkeit eines bewegten Objekts muss innerhalb eines definierten Bereichs liegen, damit eine Bewegung wahrgenommen werden kann. Da die Wahrnehmung unter Bezugnahme auf stationäre Referenzmarken ausgelöst wird, beträgt die Mindestgeschwindigkeit eines bewegten Objekts gegenüber der Umgebung im fovealen Bereich etwa  $1'-2'/s$  (Bogenminuten pro Zeitsekunde). Als Bogenminute bezeichnet man den sechzigsten Teil eines Winkelgrads. Sie stellt eine Unterteilung der Maßeinheit Grad zur Angabe der Größe ebener Winkel dar.

#### 4.2.1.2 Visuelle Aufmerksamkeit

Die Theorie der visuellen Aufmerksamkeit erklärt die visuelle Informationsverarbeitung und Aufmerksamkeitssteuerung mittels zweier sequentieller Prozesse: dem Filtern und dem Kategorisieren [272]. Das Filtern impliziert die Registrierung aller vorhandenen perzeptorischen Merkmale sowie deren Gewichtung, während auf der zweiten Stufe diese Merkmale kategorisiert werden. Während des Filterns treten alle im visuellen Feld befindlichen Objekte in einer Art Wettlauf gegeneinander an; das sich durchsetzende Objekt kann daraufhin erst kategorisiert werden. Eine solche Kategorisierung bedeutet gleichzeitig, dass das Objekt in das visuelle Kurzzeitgedächtnis enkodiert wird. Ist hier kein Platz vorhanden, kann das Objekt nicht kategorisiert werden und wird daher nicht bewusst verarbeitet [273].

#### 4.2.1.3 Anthropometrische und räumliche Gestaltung

Die Anthropometrie (griechisch; Lehre von den Maßen, Maßverhältnissen und der Messung des menschlichen Körpers) ist die wissenschaftliche Grundlage für die ergonomisch-räumliche Gestaltung von Arbeitssystemen. Die räumliche Gestaltung beinhaltet die ergonomische Auslegung von geometrisch definierten Beziehungen zwischen den Arbeitspersonen und den übrigen Elementen des Arbeitssystems. Das heißt, dass Form, Gestaltung, Abmessungen und relative Anordnung der Elemente von Arbeitsplätzen und -bereichen festgelegt werden. Hierbei sind u. a. die Arbeitsaufgabe und die daraus resultierenden räumlichen Anforderungen, bspw. an die manuelle und visuelle Zugänglichkeit, zu berücksichtigen [274].

Bei der anthropometrischen und räumlichen Gestaltung sind u. a. die Aspekte Körpermaße und Funktionsräume von zentraler Bedeutung. Zu den Körpermaßen gehören räumliche Begrenzungsmaße des menschlichen Körpers, die aus den Skelett- und Umrissmaßen abgeleitet werden können, sowie Funktionsmaße des menschlichen Körpers, z. B. Bewegungsbereiche, Reichweiten und Sichtmaße. Die wichtigsten Funktionsräume des menschlichen Körpers sind die Sicht-, Greif- und Bewegungsräume. In Abbildung 73 wird exemplarisch ein Horizontalschnitt durch einen Greifraum gemäß VDI-Handbuch Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation wiedergegeben [274; 275]. Hieraus lässt sich ableiten, dass sowohl

stationäre als auch mobile Displayanzeigen, die sich relativ vom Fahrerarbeitsplatz gesehen rechts oder links außerhalb der Greif- und Sehraume befinden, die Bedien- und Ablesbarkeit erschweren.

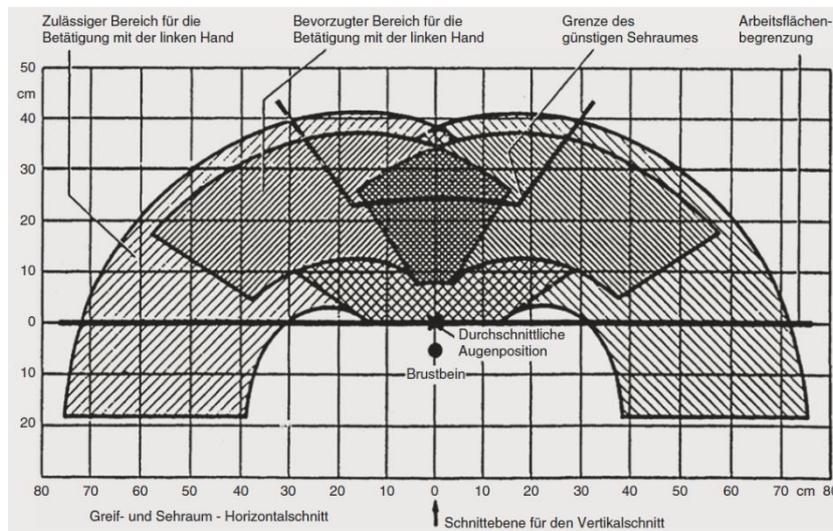


Abbildung 73: Horizontalschnitt durch den Greif- und Sehraum nach VDI-Handbuch, gültig für Stehen und Sitzen [275]

## 4.2.2 Systematische Literaturrecherche

In Abschnitt 4.2.1 wurden mit den Schlagworten „Wahrnehmung“, „Aufmerksamkeit“ und „anthropometrische und räumliche Gestaltung“ ausgewählte arbeitswissenschaftliche Grundlagen zum Faktor Mensch erörtert. Diese Erkenntnisse werden in dem Abschnitt 4.2.2 anhand einer systematischen Literaturrecherche zu kontextspezifischen Faktoren bzgl. Technologien des Eisenbahnbetriebs hinsichtlich möglicher Auswirkungen für Tf bei der Nutzung digitalisierter Arbeitsmittel ergänzt. Hierbei werden teilweise kontextspezifisch die Grundlagen zum Faktor Mensch vertieft.

Nachfolgend wird die Methodik der vorgenommenen systematischen Literaturrecherche näher erläutert. Die Literaturrecherche umfasst die auf dem Gebiet der Arbeitswissenschaft weit verbreiteten Konferenzen „Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft“ (GfA) sowie die „International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics“ (AHFE). Darüber hinaus wurden die deutsch- und englischsprachigen Journale „Zeitschrift für Arbeitswissenschaft“, „Ergonomics“ und „Applied Ergonomics“ gesichtet.

Die im Rahmen der Literaturrecherche betrachteten Beiträge befassen sich im Wesentlichen mit der Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen, den Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung der Tf, generellen Erkenntnissen zur Eingabe und Bedienung von digitalen Arbeitsmitteln, speziellen Erkenntnissen zu haptischen Rückmeldungen von digitalen Arbeitsmitteln, der Implementierung von digitalen Arbeitsmitteln und die betriebliche Nutzung von digitalen Arbeitsmitteln. Auf Wunsch des Auftraggebers wurden insbesondere die Themen Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen, Auswirkungen auf die Fahrleistung und Erkenntnisse zu haptischen Rückmeldungen detaillierter betrachtet.

### 4.2.2.1 Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen

Die Planung und Gestaltung von Fahrzeuginnenräumen und Fahrerplätzen kann durch digitale Menschenmodelle ergänzt und optimiert werden. Für eine ergonomische Gestaltung sollten eine optimale Erreichbarkeit der Eingabegeräte und Bedienelemente wie Hardkey- oder Softkeytasten von Displays oder Touch-Displays sowie eine angenehme Körperhaltung mit optimaler Sichtbarkeit und Ablesbarkeit

der Ausgabegeräte und Displays gesichert sein. Zugleich muss die Fahrwegbeobachtung gewährleistet werden. Damit diese Anforderungen an die Führerraumgestaltung erfüllt werden, kann auf zahlreiche digitale Menschenmodelle zurückgegriffen werden [276].

Ein exemplarisches digitales Menschmodell ist das „Rechnergestützte Anthropometrisch-Mathematische System zur Insassen-Simulation“ (RAMSIS), welches von der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), der Tecmath GmbH und dem Lehrstuhl für Ergonomie (LfE) an der Technischen Universität München von 1986 bis 1993 entwickelt wurde. RAMSIS findet vor allem in der weltweiten Automobilherstellung eine Anwendung zur Auslegung von Fahrzeuginnenräumen. Aus den unabhängigen Leitmaßen Körperhöhe, Proportion und Korpulenz ergeben sich die anthropometrischen Maße eines CAD-Modells des Menschen (so genanntes Manikin). Abhängig von einer Zielgruppe, z. B. für verschiedene Länder oder Altersgruppen, kann eine vorgegebene Konfiguration genutzt werden [276]. Bei der Auslegung des Elektrofahrzeuges MUTE nach [276] wurde das „Augpunkt fix-Prinzip“ angewandt, sodass eine gleich gute Sichtqualität für Nutzer unabhängig von den anthropometrischen Maßen gewährleistet werden kann. Dieses Prinzip bietet ergonomische Vorteile und wird unter anderem bei der Konzeption von Flugzeug-Cockpits genutzt. Das Modell „RAMSIS kognitiv“ bietet die Möglichkeit, Reflexionsstrahlen auf beliebig gekrümmte Oberflächen zu simulieren. So konnte im Anwendungsbeispiel des Elektrofahrzeuges MUTE beispielsweise eine um Anzeige- und Bedienelemente angebrachte Verblendung Reflexionen vermeiden. Bei der Nutzung des Referenzaugpunktes für Straßenfahrzeuge sollten die Richtlinien DIN EN ISO 15008 zur Anzeigengestaltung eingehalten werden, die die Mindestzeichengröße beschreibt. [276].

Das Fahrzeugcockpit hat eine starke Wandlung von rein manuellen Elementen zu heutzutage modernen Infotainment-Systemen erfahren, die vornehmlich digital operieren und zu Interfacemodulen zusammengefasst werden können. Bei der Auslegung werden nicht nur rein funktionale Aspekte, sondern ebenfalls ästhetische Komponenten berücksichtigt; bei Triebfahrzeugen und Flugzeugen nehmen diese eine geringere Bedeutung ein. Auf der einen Seite können ergonomisch optimale Varianten einen negativen Einfluss auf die Ästhetik haben, auf der anderen Seite sollte jedoch die Funktionalität von Interfacemodulen nicht auf Designaspekte eingeschränkt werden. Die Untersuchung von unterschiedlichen Fahrzeugtypen hat [277] zu dem Ergebnis kommen lassen, dass sich Ergonomie und Ästhetik nicht gegenseitig ausschließen, sondern auch bei einer starken Gewichtung der ergonomischen Faktoren eine ästhetische Lösung möglich ist [277].

Werden diese Erkenntnisse aus dem Fachgebiet der Ergonomie auf den Aufbau eines Führerraumes im Tzf übertragen, sollte dieser möglichst selbsterklärend gestaltet sein, um eine komfortable Nutzung zu ermöglichen. Hilfreich ist eine Konsistenz im Design der Bediensysteme verschiedener Fahrzeuge. Die ergonomischen Anforderungen an ein Fahrzeugcockpit sprechen für die Einführung eines Einheitscockpits, das in der Bahnbranche bei modernen Drehstromlokomotiven bereits eingeführt wurde (Abbildung 74). Ein Großteil der Fahrzeuginnenräume von Diesel- und Rangierlokomotiven wurde allerdings bislang nicht vereinheitlicht (vgl. Abschnitt 2.2.1.4).



Abbildung 74: Triebfahrzeug-Führerraum einer Drehstromlokomotive der BR 193 (Siemens Vectron)  
(eigene Darstellung)

Aus den Erkenntnissen, die hinsichtlich der Gestaltung von Automobil-Innenräumen wie auch Flugzeug-Cockpits existieren, lässt sich schlussfolgern, dass eine umfangreiche Anwendung von digitalen Menschmodellen bei der Entwicklung und Gestaltung von Fahrzeuginnenräumen und Fahrerplätzen auch im Eisenbahnwesen zu empfehlen ist. Darüber hinaus ist eine weitgehende Harmonisierung und Vereinheitlichung von Display-Anordnungen und Fahrerpulten zu empfehlen, um Tätigkeiten des Tf hinsichtlich der Aspekte Ergonomie, Arbeitssicherheit, Effektivität und Effizienz zu optimieren sowie eine einheitliche Aus- und Fortbildung zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 2.2.1.4).

In Ergänzung zu digitalen Menschmodellen bestehen weitere arbeitswissenschaftliche Methoden zur Gestaltung und Evaluierung von Tzf-Führerräumen. Ein Beispiel ist die Analyse des „European Driver's Desk plus“ Konzepts, welches mittels Blickbewegungsanalysen analysiert wurde (vgl. Abschnitt 2.2.1.4).

#### 4.2.2.2 Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung

Tf sind während der Zugfahrt für verschiedene Teilaufgaben zuständig. Hierzu gehören neben dem Einleiten von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen vor allem überwachende Nebentätigkeiten (vgl. Abschnitt 2.1.1.1). Dies umfasst u. a. das Ablesen von Informationen unterschiedlicher Führerraum-Displays als auch manuelle Eingaben per Hard- oder Softkeytasten. Im Folgenden wird auf die Aspekte „visuelle Doppel- oder Mehrfachbelastung bei der Fahrzeugführung“, „Leistungsfähigkeit und Erregungslevel“ sowie auf „verschiedene Kanäle zur Informationswahrnehmung“ näher eingegangen.

Hinsichtlich der visuellen Doppel- oder Mehrfachbelastung bei der Fahrzeugführung ist anzumerken, dass der vermehrte Einsatz an Informationsquellen in Fahrzeugen und die hieraus resultierende Interaktion zu einer möglichen Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit führt. Die Ablenkung entsteht aufgrund einer Engpasswirkung des visuellen Systems im Zuge des Ablesens von Anzeigen im Fahrzeug, ist also einer visuellen Ablenkung zuzuordnen. In einer Simulator-Studie nach [278] wurde die Auswirkung durch den gleichzeitigen visuellen Fokus auf eine zweite Informationsquelle mit verschiedenem Versatz zur Außensicht geprüft. Hierzu wurden 24 Versuchspersonen mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren bei einer Fahraufgabe im Fahrsimulator untersucht. Bei der Fahraufgabe führte der Proband Lenkbewegungen aus, um das Fahrzeug auf der Mittellinie zu halten. Somit war die Aufgabe auf die Spurführung reduziert. Hinsichtlich der Displayanordnungen wurden acht verschiedene Varianten überprüft. Die Zweitaufgabe bestand aus einer Lesetätigkeit von kurzen Nachrichten, die ohne weitere kognitive Verarbeitung verstanden werden konnten [278].

In der Simulator-Studie konnte für alle Displayanordnungen eine im Vergleich zur reinen Fahrtätigkeit signifikant verminderte effektive Reaktionszeit der Probanden festgestellt werden. Das beste Fahrerergebnis wurde mit 34 % Spurhalteleistung, verglichen mit dem alleinigen Fahren, bei einer oberen mittleren Anzeigeposition mit einem Fokuspunkt relativ am dichtesten zur Straße, festgestellt (Abbildung 75). Durch die gleichzeitige Ablesetätigkeit wurde die Fahrleistung somit um mindestens 66 %, bei zunehmendem Versatz sogar um mehr als 80 % verringert, sodass eine erhöhte Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit vorlag. Anzumerken ist jedoch, dass Fahrzeugführer im Straßenverkehr nur selten 100 % der verfügbaren Steuerleistung abrufen müssen [278]. Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Studienergebnisse vom Fahrer eines Automobils auf den Tf ist anzumerken, dass der Tf keine Spurhaltetätigkeit, sondern eine Streckenbeobachtung - z. B. von Signalen und Geschwindigkeitstafeln - durchführt und Beschleunigungs- und Bremsvorgänge einleitet.



Abbildung 75: Leistungsbeeinträchtigung durch visuelle Doppelbelastung bei der Fahrzeugführung (Göbel und Treugut 2012).

Displays führen demnach zu einer Leistungsbeeinträchtigung durch visuelle Doppelbelastung beim Führen eines Automobils und haben somit einen negativen Einfluss auf die Fahrleistung. Die optimale Anordnung spielt daher eine wichtige Rolle. Angesichts der vorliegenden Forschungsergebnisse wird eine obere mittige Anzeigeposition empfohlen, während ein größerer Versatz vermieden werden sollte [278], vgl. Abschnitt 4.2.1. Insbesondere in Hinblick darauf, dass im Führerraum derzeit vier stationäre Displays im Führertisch vorhanden sind und diese mit optionalen Geräten wie dem Fahrerassistenzsystem LEADER, einem mobilen Endgerät und Schriftdokumenten ergänzt werden, sollte die visuelle Mehrfachbelastung bei der Gestaltung des Fahrer- bzw. Führerraumes von Tf eine besondere Berücksichtigung finden.

In Hinblick auf die Aspekte Leistungsfähigkeit und Erregungsniveau ist festzustellen, dass die Leistungsfähigkeit einer Person in Abhängigkeit zu dem allgemeinen Erregungsniveau und der Aufgabenschwierigkeit steht. Bei einfachen Aufgaben fördert ein höheres Erregungsniveau die Leistung. Das Leistungsoptimum bei schwierigeren Aufgaben kann schon mit geringerer Erregung erreicht werden. Die Leistung ist an den Extrempunkten der Erregung am schlechtesten [279]. Der Bereich rechts vom Optimum in Abbildung 76 kann mit Stress bzw. Distress bezeichnet werden. Der Bereich des Distress sollte unbedingt vermieden werden, da die Leistung beeinträchtigt wird, aber auch eine mentale und körperliche Belas-

ung stattfindet. Bei sehr niedriger Erregung oder Langeweile fällt die Leistung ab und kann in Unaufmerksamkeit resultieren. Die Arbeitsanforderungen sollten demnach für einen optimalen Erregungszustand gestaltet werden.

Bislang liegen keine Daten für die Evaluation von Leistungsfähigkeit und Erregungsniveaus bei Tätigkeiten von Tf vor. Für eine diesbezügliche abschließende Stellungnahme sind empirische Studien notwendig. Die subjektive Erregung am Arbeitsplatz ist über verschiedene Verfahren messbar, z. B. Interviews, Fragebögen, Pupillometrie, Elektro-Enzephalographie oder funktionelle Magnetresonanztomographie.

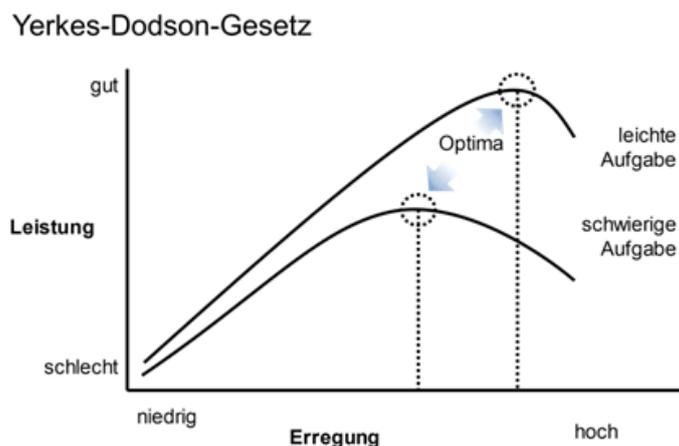


Abbildung 76: Zusammenhang von Erregung und Leistung nach dem Yerkes-Dodson-Gesetz ([279], dargestellt nach [280])

Verschiedene Kanäle zur Wahrnehmung von Informationen begünstigen die Ausführung der Arbeitsaufgabe. Zur Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für ein umfassendes Fahrerassistenzsystem, das den Fahrer bei der Fahrzeugführung unterstützen und Unfälle vermeiden soll, wurde in der Studie von [281] eine multimodale Strategie gewählt. Informationen können auf verschiedenen Kanälen aufgenommen werden: visuell, auditiv und taktil bzw. kinästhetisch. Während bei der visuellen Aufnahme zwar eine große Informationsbandbreite möglich ist, z. B. Informationen des Elektronischen Buchfahrplans EBUla, wird gleichzeitig die Blickzuwendung auf das Verkehrsgeschehen beeinträchtigt. Die auditive Aufnahme bietet den Vorteil, in jeder Körperhaltung übertragen zu werden, jedoch ist die Bandbreite der Informationen hier geringer. Ein Beispiel für den auditiven Informationskanal ist die akustische Warnung bei der Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa) (vgl. Abschnitt 2.1.1.4). Hinsichtlich der Aufnahmeschnelligkeit bietet der taktile bzw. kinästhetische Kanal Vorteile, wobei hier ebenfalls eine geringere Bandbreite an Informationen kommuniziert werden kann. Um die Vorteile aller Sinneskanäle zu nutzen wird eine multimodale Strategie empfohlen, die die verschiedenen Formen kombiniert [281].

Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkung digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung, die über die erörterten Aspekte hinausgehen, bspw. Überlegungen, welche Informationen visuell, auditiv oder taktil bzw. kinästhetisch an den Tf kommuniziert werden sollten, eine Bewertung des Blickwechsels zwischen DMI und der Streckenbeobachtung oder eine Untersuchung, welche Tätigkeiten von Tf zu welchem Erregungsniveau bzw. zu Unter- oder Überforderung führen, sind nicht Gegenstand dieses Berichtes und setzen eine separate Analyse anhand von empirischen Evaluationsstudien voraus.

#### 4.2.2.3 Haptische Rückmeldungen von digitalen Arbeitsmitteln

Touchscreens werden zunehmend eingesetzt, jedoch geht die haptische Rückmeldung durch die glatte Oberfläche verloren. Die Eingabe wird somit durch die glatte und unbewegliche Oberfläche sowie die

fehlenden konventionellen Tasten erschwert und kann zu einer höheren Fehlerrate als auch einer geringeren Eingabegeschwindigkeit führen. In einer Online-Umfrage von [282] zum Nutzungsverhalten mobiler Endgeräte stellte sich heraus, dass die haptische Rückmeldung selten aktiviert wird und der Nutzen einer solchen Funktion häufig unbekannt ist. Die meisten Befragten gaben an, vorwiegend einen Daumen, einen Zeigefinger oder Kombinationen dieser Finger zu nutzen, wobei dies entsprechend der Gerätetypen variiert. Bei der einhändigen Smartphone-Bedienung lässt sich erkennen, dass ältere Menschen vorwiegend den Zeigefinger, jüngere Befragte eher den Daumen einsetzen. Im Gegensatz hierzu wird beim Tablet der Zeigefinger von allen Befragten am meisten genutzt. Weiterhin bevorzugt ein Großteil der Teilnehmer eine konventionelle Tastatur gegenüber einem Touchscreen [282].

Ausgehend von dieser Studie kann abgeleitet werden, dass von der Technologie einer haptischen Rückmeldung noch ein großes Potenzial ausgeht. Eine weitere Betrachtung sollte erfolgen, um weiteres Wissen im Hinblick auf die haptische Rückmeldung zu erlangen und diese zu optimieren sowie die Akzeptanz zu erhöhen. Bei der Gestaltung einer haptischen Rückmeldung sollte beim Tablet besonders auf den Zeigefinger geachtet werden, um eine sinnvolle Lösung zu realisieren. Auch die Schreibleistung an der Tastatur wird von Haptik beeinflusst. Eine Untersuchung der Schreibleistungen bei einer virtuellen Tastatur ohne taktile Rückmeldung und zwei konventionellen Tastaturen mit taktilem Rückmeldung durch mechanische Schalter zeigte deutliche Unterschiede [283]. Bei der Nutzung der virtuellen Tastatur ergab die Messung eine geringere Kraftausübung sowie eine geringere Fingerbeuger- bzw. Extensor-Muskelaktivität. Mit diesen Ergebnissen gingen eine verringerte Tippproduktivität von 60 %, ein verminderter selbstberichteter Komfort sowie eine Zunahme der Schultermuskelaktivität einher. Bei längerer Schreibtätigkeit oder einer hohen geforderten Produktivität empfiehlt sich eine konventionelle Tastatur mit taktilem Feedback.

Bezüglich der Texteingabe auf dem Touchscreen wurde in einer experimentellen Studie zur haptischen Rückmeldung von Seeger et al. [284] die typische Fingerkraft bei der Eingabe untersucht. Bei der Gestaltung einer künstlich erzeugten haptischen Rückmeldung sollten die allgemeinen Richtlinien VDI/VDE 3850-3 2015 und ISO 9241-920 2009 berücksichtigt werden. Der positive Effekt einer haptischen Rückmeldung hinsichtlich einer geringeren Fehlerzahl bei der Eingabe konnte belegt werden, jedoch stößt eine haptische Rückmeldung auf Akzeptanzprobleme [282]. Für die Entwicklung der haptischen Rückmeldung sind die Dimensionierung der Aktoren von Relevanz, aber auch die Fingerkräfte die durch den Nutzer aufgebracht werden. Die experimentellen Untersuchung nach [284], welche eine PIN-Eingabe am Geldautomaten simulierte, zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen oder dem Geschlecht im Hinblick auf die Fingerkräfte.

Durch den vermehrten Einsatz von Touchscreens kommen Nutzergruppen verschiedenen Alters mit der vibrotaktilen Wahrnehmung in Berührung. Die Nutzergruppen unterscheiden sich stark bezogen auf die Eigenschaften Technikaffinität oder Akzeptanz dieser Technologie. Aus diesen Unterschieden ergeben sich vielfältige Anforderungen an die Gestaltung von Touchscreens mit haptischer Rückmeldung. In einer experimentellen Studie nach Stein et al. [285] wurde ein zweistufiges Verfahren angewandt, um genauere Informationen hinsichtlich der Kombination aus Frequenz und Amplitude einer Vibration zu erlangen. Aus der Untersuchung ergab sich, dass geringere Intensitäten der Rückmeldung als angenehmer empfunden wurden als hohe Intensitäten, somit also ein antiproportionales Verhältnis von Intensität und Annehmlichkeit besteht. Weiterhin wurden Frequenzen von über 250 Hz nicht vorgezogen, sodass die Frequenz bei der Entwicklung unter diesem Wert liegen sollte. Bezüglich der Amplitude konnte eine Abhängigkeit von Alter und Geschlecht herausgestellt werden, sodass diese Faktoren bei der Gestaltung bedacht werden sollten [285].

#### 4.2.2.4 Eingabe und Bedienung von digitalen Arbeitsmitteln

Ein wichtiger Faktor für eine effektive und effiziente Nutzung einer Technologie ist die Akzeptanz. Die Intention zur Nutzung und somit das Nutzungsverhalten sind von den Variablen „wahrgenommene Nützlichkeit“ und „wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit“ abhängig. Das Technologieakzeptanzmodell (engl. Technology Acceptance Model, TAM) trifft Aussagen darüber, warum Personen eine Technologie nutzen oder nicht. Die Benutzerfreundlichkeit (engl. Usability) ist als das Ausmaß definiert, in dem ein Produkt, System oder Dienst durch spezifische Nutzer in einem spezifischen Anwendungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen (ISO 9241-11). Der wahrgenommene Nutzen hingegen ist als subjektive Empfindung der Arbeitsleistungsbesserung durch die neue Technologie beschrieben [286]. Die Benutzerfreundlichkeit wirkt direkt auf die Interaktion des Nutzers mit dem System und steuert das Erlernen der neuen Technologie und somit auch die Arbeitsleistung.

Neue Systeme sollten daher anhand definierter Usability-Prinzipien und den Ansprüchen der spezifischen Nutzer entsprechend gestaltet werden. Die Größe des Displays gehört zu den Designkriterien, die einen Einfluss auf die erfolgreiche Interaktion mit einem System haben. Laut einer Studie von Popova-Dlugosch et al. [287], in der der Zusammenhang von Bildschirmgröße und ausgeführter Touchscreen-Geste untersucht wurde, empfiehlt es sich, die Displaygröße nicht zu klein zu wählen. Die Probanden führten die Gesten auf einem Smartphone oder zwei unterschiedlich großen Tablet-Modellen aus. Dabei bewerteten sie das Benutzerempfinden bei der Tablet-Nutzung insgesamt besser im Vergleich zum Smartphone. Ein zu klein gewähltes Display kann die Feinmotorik des Hand-Arm-Systems stark beanspruchen und ist somit nicht für alle Gesten geeignet. Obwohl große Displays eine höhere Benutzerfreundlichkeit suggerieren, empfiehlt es sich gleichzeitig, diese nicht zu groß zu wählen, da die Gestenausführung dann als unbequem empfunden werden kann. Die im Rahmen der Führerraum-Mitfahrten beobachteten Tablet-Größen liegen im Bereich von ca. 10 bis 12 Zoll (ca. 25 bis 30 cm), kleinere Display-Diagonalen sind nicht zu empfehlen.

Die Texteingabe bei der Nutzung eines Tablets stellt eine Herausforderung dar, insbesondere dann, wenn keine Möglichkeit zum Absetzen des Gerätes besteht. Bei den Führerraum-Mitfahrten bestätigte sich, dass bei manchen Führerpulten kein hinreichender Platz für die Ablage eines Tablets war und das Tablet für Eingaben in den Händen gehalten werden musste. Hierbei ist anzumerken, dass eine horizontale Ablage des Tablets auf dem Führerpult aufgrund der Verschiebung des Sichtbereichs nicht zu empfehlen ist. In der Nutzerstudie nach [288] wurde eine konventionelle Bildschirmtastatur mit einer im Bildschirm eingeblendeten bzw. geteilten Bildschirmtastatur verglichen. Für die Bedienung der geteilten Bildschirmtastatur per Daumen, wie es beim Smartphone in der Regel der Fall ist, sollte beim Tablet aufgrund des größeren Displays auf die Erreichbarkeit der Tasten durch das natürliche Bewegungsmuster der Daumen geachtet werden. In der Studie wurde die ergonomische Daumentastatur der konventionellen Bildschirmtastatur vorgezogen, insbesondere im Hinblick auf die Erreichbarkeit der Tasten. Sollte die Nutzung der Tablets im Tzf-Führerraum primär im Stehen stattfinden, empfiehlt sich eine Daumentastatur [288].

Neben der Texteingabe hat auch die Scroll-Richtung einen Einfluss auf die Bedienung von digitalen Medien. Bislang gibt es keine stringente Scrolling-Art bei der Nutzung verschiedener Technologien. Verschiedene Scroll-Methoden können als kongruent oder inkongruent beschrieben werden. Kongruenz bezeichnet hier die Übereinstimmung von einer Reaktion und dem darauffolgenden Effekt. Beim Scrollrad der Computermaus und der Nutzung der Pfeiltasten auf dem Keyboard verschiebt sich der Inhalt auf dem Bildschirm gegensätzlich zur Scroll-Richtung, das beschreibt einen inkongruenten Effekt (Abbildung 77). Bei Smartphones und Tablets wird der Inhalt durch eine Scroll-Bewegung nach oben auch nach oben gezogen und kann somit als kongruent bezeichnet werden. In einer Studie von 2013 identifizierten

Chen und Proctor die kongruente Scroll-Richtung als natürliche Bewegungsrichtung, die schnellere Reaktionen auslöst. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass sich die Implikation einer konsistent natürlichen Scroll-Richtung empfiehlt und zu einer effizienteren Arbeit führen kann [289].

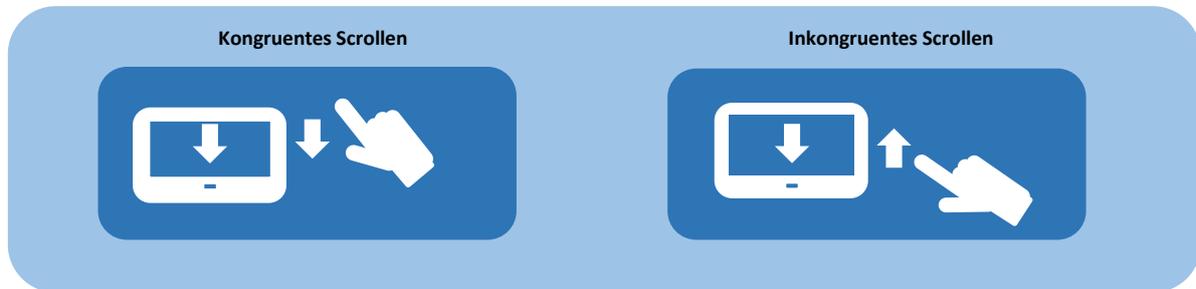


Abbildung 77: Kongruentes vs. inkongruentes Scrollen mithilfe digitaler Endgeräte (eigene Darstellung)

Die Halteposition bei der Bedienung des Tablets hat einen großen Einfluss auf den ergonomischen Nutzen des Geräts. Eine Online-Umfrage zur Nutzung von Touchscreens, bezogen auf das Halten von Smartphones und Tablets in verschiedenen Tätigkeiten, zeigte eine große Variabilität [290]. Die verschiedenen Haltepositionen des Tablets sollten per Fragebogen für diverse Tätigkeiten des Tf erhoben werden. Abgeleitet aus diesen Erkenntnissen sollte das Softwaredesign für die unterschiedlichen Haltepositionen anschließend angepasst werden. Sollte für eine Tätigkeit ein längeres Halten des Tablets notwendig sein, muss die Belastung der Arme und des Rückens berücksichtigt werden. Eine kleine und leichte Variante des Tablets würde sich hier empfehlen, um eine übermäßige Belastung zu verhindern. Auch die fixierte Position des Tablets im Führerraum muss unter dem Aspekt der physischen Beanspruchung beachtet werden. Eine dauerhafte Nutzung von Tablets in herkömmlicher Haltung führt zu biomechanisch als belastend eingestuften Nackenwinkeln und Muskelaktivitäten. Um diese Beanspruchung zu minimieren, bietet sich die Anbringung des Tablets in Kopfhöhe an. Alternativ könnte eine auditive Unterstützung den Tf auf neue Nachrichten aufmerksam machen, sodass er seine Aufmerksamkeit nur situativ bedingt auf das Display richten muss [291]. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, welche Informationen vor Beginn der Fahrt, während der Fahrt oder im Anschluss an die Fahrt angezeigt werden. Eine Anwendung könnte beispielsweise das Lesen der tagesaktuellen La vor Beginn der Fahrt sein. Auch wenn die tagesaktuelle La während der Fahrt permanent als Standbild zur Verfügung stünde, würde der Tf diese nur situationsbedingt verwenden.

Fragestellungen hinsichtlich der Eingabe und Bedienung von digitalen Arbeitsmitteln, die über die betrachteten Aspekte hinausgehen, bspw. eine Anforderungsanalyse von Displays externer Fahrassistenzsysteme – etwa hinsichtlich einer aus ergonomischer Perspektive zu empfehlenden Bildschirmdiagonale – oder Betrachtungen hinsichtlich der ergonomisch optimierten Displayanordnung im Führerraum werden in diesem Bericht nicht weiter vertieft und müssten anhand empirischer Studien evaluiert werden.

#### 4.2.2.5 Implementierung von digitalen Arbeitsmitteln

Neben der Gestaltung von Fahrzeugcockpits im Entwicklungsprozess spielt auch die Nachrüstung von Informations- und Kommunikationstechnologien eine wichtige Rolle für die Effektivität und Effizienz der Fahrleistung. Im Automobilsektor werden im Fall von Nachrüstungen häufig einzelne Systeme miteinander kombiniert, ohne die Kompatibilität der Hard- und Software des resultierenden Gesamtsystems auf mögliche Auswirkungen hin zu überprüfen. In vielen Fällen handelt es sich hierbei um Tablet-PCs, Navigationssysteme oder Notebookintegrationen an Fahrerarbeitsplätzen. Das Bewusstsein für die Gefahren ist bei den Benutzern teilweise gering, obwohl die Ablenkungspotentiale durch diese Systeme erhöht werden. Um die Gefahren aufzuzeigen, wurde durch das Institut für Automobilwirtschaft ein Fahrsimulator entwickelt, der die Auswirkungen neu installierter Systeme auf die Fahrleistung analysiert. Bei den

Probefahrten durch 50 Probanden konnte eine Verschlechterung der Fahrleistung im Vergleich zur Baseline-Fahrt ohne Ablenkung erkannt werden [292].

Im Bahnsektor werden sicherheitsrelevante Aspekte bei nachträglichen Anpassungen i. d. R. geprüft, bspw. das zusätzliche DMI für ETCS in bestehenden Führerräumen (vgl. Abschnitt 2.2.1.4). Hierbei werden allerdings häufig ergonomische Aspekte vernachlässigt, auch wenn diese Auswirkungen auf die Performanz haben. Hiervon ausgehend, sollte der Einbau von Nachrüstsystemen nicht ohne vorherige Evaluierung und Anpassung an die vorhandenen Gegebenheiten erfolgen. Weiterhin sollten die besonderen Anforderungen der Touchscreen-Bedienung beachtet werden, wie beispielsweise die äußeren Einflüsse, die nach [293] geschildert werden. Grundsätzlich sind Einflussfaktoren wie Lärm, mechanische Einflüsse und Vibrationen, Staub, Handschuhbedienung, Touchscreen-Bedienung als Primär-, Sekundär- oder Tertiäraufgaben zu berücksichtigen. In Bezug auf weitere Anwendungsfelder sollte eine genaue Betrachtung möglicher Einflussfaktoren erfolgen [293].

Nach Kockrow & Hoppe [294] wurde eine Eye-Tracking-Studie zum Bedien- und Beobachtungsverhalten von 104 Mitarbeitern in Leitwarten von Kohlekraftwerken durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem Überschreiten einer bestimmten Anzahl von Visualisierungsmitteln eine sinkende Nutzungsintensität zu verzeichnen ist. Aus diesem Grund sollte die Anzahl an notwendigen Visualisierungsmitteln im Rahmen einer separaten Studie evaluiert werden. Zudem sollte die Anwendung eines menschenzentrierten Gestaltungsansatzes erfolgen und der Fokus nicht auf rein technischen Aspekten liegen. So sollten aus ergonomischer Sicht Visualisierungseigenschaften wie Schriftgröße, Farbwiedergabe und Helligkeit einheitlich gestaltet werden [294]. Derzeitige stationäre Führerraumanzeigen weisen diesbezüglich Verbesserungspotential auf.

Bei der Implementierung neuer Technologien und Systeme müssen auch die Erfahrungen der verschiedenen Beschäftigten beachtet werden. Die Motivation der Lernenden ist für den Lernerfolg entscheidend, besonders im Bereich des E-Learning oder Blended Learning. Durch die wachsenden Anforderungen an die berufliche Eigenverantwortung steigt die Relevanz der Selbstmanagementkompetenzen (vgl. Abschnitt 4.1.2). Intrinsisch motivierte Mitarbeiter erzielen bessere Leistungen und zeigen eine höhere Arbeitszufriedenheit [295]. Um die Selbstmanagementkompetenzen der Mitarbeiter zu schulen, können Selbstmanagementtrainings eingesetzt werden, in denen Zielsetzungs- und Planungskompetenzen, Selbstmotivierungs- und Konzentrationsstrategien trainiert werden [296].

#### 4.2.2.6 Nutzung von digitalen Arbeitsmitteln

Eine Nutzung beschreibt die Anwendung eines Arbeitsmittels zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe. Zur einhändigen Nutzung von Tablets wurden in einer Studie von [297] unterschiedliche Eigenschaften von Tablets wie Größe, Gewicht und Ausrichtung hinsichtlich der Aspekte Benutzerfreundlichkeit und Ermüdungsverhalten untersucht. Hieraus zeigte sich eine erhöhte Benutzerfreundlichkeit sowie eine verringerte Ermüdungswahrscheinlichkeit und biomechanische Bewertung bei der Nutzung von kleinen bis mittelgroßen Tablets mit einer Leisten- oder Griffform auf der Rückseite der gummierten Oberfläche. Im Gegensatz hierzu wurden größere und schwerere Tablets mit einer geringeren Gebrauchstauglichkeit und Biomechanik verbunden [297]. Hieraus ergibt sich die Empfehlung, die einhändige Verwendung von größeren Tablets zu vermeiden.

Eine weitere Auswirkung auf den Nutzen von Tablets, den Formfaktor und das Gestendesign auf die Biomechanik der Daumen und auf die Leistung während der beidhändigen Nutzung untersuchten [298]. Bei unterschiedlichen Tablet-Größen (8 Zoll und 10 Zoll) sollten 320 Gesten ausgeführt werden, wobei eine dreidimensionale Bewegungsanalyse und Oberflächen-Elektromyographie zur Messung der Handgelenks- und Daumenhaltung sowie der Aktivität der Unterarmmuskulatur erfolgte. Hieraus ergab sich eine neutralere Daumen- und Handgelenkhaltung bei der Streichposition, die der Handfläche am

nächsten lag, womit eine geringere Aktivität der Unterarmmuskulatur verknüpft war. Bei den größeren Tablets wurde eine höhere Aktivität der Unterarmmuskulatur belegt. Insgesamt unterstreicht die Studie die Wichtigkeit der Wischposition, sodass sich die Notwendigkeit ergibt, das Tablet-Schnittstellen-Design hinsichtlich einer neutraleren Daumen- und Handgelenksposition mit einer geringeren Beanspruchung des Unterarms zu optimieren [298].

Vorangehend wurde die Problematik der Eingabe auf einer glatten Touchscreen-Oberfläche näher erläutert. Eine weitere Möglichkeit zur erleichterten Eingabe bietet die Nutzung eines Eingabestiftes. In der Studie von [299] wurden Eingabestifte mit drei verschiedenen Längen und vier verschiedenen Durchmessern näher untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Länge der Touch-Pens so ausgelegt sein sollte, dass sie beim Greifen über die Handbreite hinausgeht. Der empfohlene Durchmesser für die Kombination der Tätigkeiten „natürliches Zeigen und Klicken“, „Schreiben und Zeichnen“ beträgt 8 mm. Somit sollte der Eingabestift eine Länge von mindestens 100 mm und einen Durchmesser von 8 mm aufweisen [299].

Eine Aussage darüber, ob die Bedienung von Tablets mittels Touch-Pens für Tf gebrauchstauglich ist, kann nicht pauschal für alle EVU und alle Tf getroffen werden. Die Gebrauchstauglichkeit für eine Bedienung anhand von Touch-Pens ist u. a. von den Tätigkeiten des Tf abhängig und bedarf weiterführender Untersuchungen in Hinblick auf die Dialoggestaltung, vor allem bezüglich der Steuerbarkeit. Falls die extern vorgehaltenen Systeme primär der Anzeige von Informationen dienen, bspw. der tagesaktuellen La, dürfte eine Verwendung von Touch-Pens nicht gebrauchstauglich sein.

### 4.2.3 Befragung von Stakeholdern digitalisierter Arbeitsmittel von Triebfahrzeugführern

Um mögliche Auswirkungen für den Tf bei der Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel zu analysieren, wurden zusätzlich zu der Literaturrecherche (vgl. Abschnitt 4.2.2) wesentliche Stakeholder anhand von semi-strukturierten Interviews befragt. Dies umfasst eine direkte Partizipation der Betriebsbeamten bzw. Tf als auch eine Befragung weiterer Stakeholder wie Qualifizierungsdienstleistern und Anbieter von Software-Applikationen für digitalisierte Arbeitsmittel des Tf. Sofern organisatorisch möglich, wurden die Befragungen der Tf jeweils im Anschluss an eine Führerraum-Mitfahrt erhoben.

Ein semi-strukturiertes bzw. leitfadenbasiertes Interview ist eine Methode der qualitativen empirischen Sozialforschung. Es stellt eine grobe Vorgabe zum Ablauf eines Interviews über im Voraus definierte, deduktive Aspekte dar. Die Gestaltung des Leitfadens kann sehr unterschiedliche Formen annehmen. Optionale Elemente können explizit vorformulierte Fragen, Stichworte für frei formulierbare Fragen oder Erzählaufforderungen sein; die Erstellung eines Leitfadens folgt dem Prinzip „So offen wie möglich, so strukturierend wie nötig“ [300]. Es werden keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben, somit können alle möglichen Äußerungen der Interviewten über einen großen Antwortspielraum erfasst werden, ohne den Steuerungscharakter und den Fokus auf die forschungsrelevanten Aspekte zu verlieren. Die daraus resultierende Flexibilität unterstützt die menschenzentrierte Gestaltung. Der Interviewablauf kann spontan an den Interviewten angepasst werden und von diesem auch unbewusst erweitert werden. Eine besondere Form des Leitfadeninterviews stellt das Experteninterview dar. Hierbei wird auf die Erhebung der spezifischen Form des Wissens, des Expertenwissens, abgezielt. Das Expertenwissen ist an den Experten gebunden und bedarf Vorwissen über das Themenfeld, um von dem Interviewer korrekt erfasst zu werden. Die Festlegung auf eine speziell ausgewählte Berufsgruppe (hier: Betriebsbeamte bzw. Tf) definiert das Interview als Experteninterview. Experten sind hier im Sinne von Blöbaum zu verstehen als „Rollenträger in gesellschaftlichen Teilbereichen, die insbesondere zu ihren Erfahrungen im entsprechenden Handlungskontext befragt werden“ [301].

Der Leitfaden für das (semi-)strukturierte Experteninterview umfasst unter anderem Fragen zu demographischen Daten und zur beruflichen Qualifikation, zum Arbeitsplatz bzw. Führerraum, zu den verwendeten analogen und digitalen Arbeitsmitteln und zu den primären und sekundären Aufgaben vor Beginn einer Fahrt, während einer Fahrt und im Anschluss an eine Fahrt. Darüber hinaus erheben die Interviewer bei den Führerstand-Mitfahrten eigenständig Hinweise bzgl. der Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstellen, bspw. in Hinblick auf die Grundsätze der Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-110, welche die Aspekte Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Lernförderlichkeit, Steuerbarkeit, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit umfasst (Tabelle 9).

TABELLE 9: GRUNDSÄTZE DER DIALOGGESTALTUNG NACH DIN EN ISO 9241-110 (EIGENE DARSTELLUNG)

**Ein Dialog ist in dem Maße...**

<b>aufgabenangemessen,</b>	wie er den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe effektiv und effizient zu erledigen.
<b>selbstbeschreibungsfähig,</b>	wie jeder einzelne Dialogschritt durch Rückmeldung des Dialogsystems unmittelbar verständlich ist oder dem Benutzer erklärt wird, wenn er die entsprechenden Informationen verlangt.
<b>steuerbar,</b>	wie der Benutzer in der Lage ist, den gesamten Dialogablauf bis zu dem Punkt, an dem das Ziel erreicht ist, zu beeinflussen.
<b>erwartungskonform,</b>	wie er den Kenntnissen aus bisherigen Arbeitsabläufen, der Ausbildung und der Erfahrung des Benutzers sowie den allgemein anerkannten Übereinkünften entspricht.
<b>fehlerrobust,</b>	wie das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben mit minimalem oder ohne Korrekturaufwand erreicht wird.
<b>individualisierbar,</b>	wie er den Anpassungen an individuelle Benutzerbelange und Benutzerfähigkeiten im Hinblick auf eine gegebene Arbeitsaufgabe zulässt.
<b>lernförderlich,</b>	wie er dem Benutzer während des Erlernens Unterstützung und Anleitung gibt.

In die Befragung von Stakeholdern digitalisierter Arbeitsmittel von Tf waren im Zeitraum von März bis November 2018 insgesamt neun Institutionen mit einbezogen. Dazu gehören eine Hochschule, ein EVU aus dem Personennahverkehr, ein EVU aus dem Personenfernverkehr, drei EVU aus dem Güterverkehr, ein Qualifizierungsdienstleister sowie zwei Anbieter von Software-Applikationen.

Die Befragungen wurden im Nachgang der Besichtigung eines Führerraum-Simulators bzw. von vier Führerraum-Mitfahrten, während des Besuchs einer internationalen Messe für Verkehrstechnik sowie im Zuge diverser telefonischer und persönlicher Interviews vorgenommen. Die vier Führerraum-Mitfahrten setzen sich aus einer mehrstündigen Mitfahrt im Personennahverkehr und drei mehrstündigen Führerraum-Mitfahrten im Güterverkehr zusammen.

Im Rahmen der Führerraum-Mitfahrten wurden insgesamt vier Tf sowie ein Rangierbegleiter befragt. Darüber hinaus wurden ein Ausbildungs-Tf, ein Tf-Gruppenleiter, drei Eisenbahnbetriebsleiter, ein Geschäftsführer, ein Professor und sieben sonstige Beschäftigte aus dem Bereich IT oder Vertrieb befragt. Die Stichprobe für das Experteninterview umfasste somit insgesamt 19 Personen, alle Interview-Partner nahmen freiwillig an den Interviews teil; es wurde keine finanzielle Entschädigung angeboten. Die Befragungen wurden schriftlich protokolliert.

Bei den Führerraum-Mitfahrten und Interviews wurden neben Bordgeräten, bordinternen Displays und weiteren Systemen wie LEADER exemplarisch die Software-Applikationen Rail in Motion, DiLoc|Sync und IVU.pad (vgl. Abschnitt 3.1) betrachtet. Die Applikationen stehen exemplarisch für weitere marktverfügbare Softwarelösungen, sodass kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Die Auswahl der EVU, bei denen Führerraum-Mitfahrten vorgenommen wurden, erfolgte unabhängig von Unternehmenszugehörigkeiten und verwendeten Applikationen und beruht unter anderem auf der räumlichen Nähe zur RWTH Aachen University. Die Erkenntnisse aus den Führerraum-Mitfahrten und Experteninterviews fließen in die Betrachtung der Vor- und Nachteile digitalisierter Arbeitsmittel in Abschnitt 4.3 ein.

## 4.2.4 Integration neuer Technologien und Ableitung möglicher Veränderungen für den Triebfahrzeugführer der Zukunft

Die Integration neuer Technologien und die Ableitung möglicher Veränderungen für den Tf der Zukunft umfasst vor allem Head-up-Displays in Verbindung mit der Technologie der erweiterten Realität. Auf der Grundlage der per Literatursauswertung und mittels Befragungen gewonnenen Erkenntnisse bzgl. der derzeitigen und zukünftigen Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel durch den Tf und damit verbundenen Auswirkungen werden allgemeine Leitsätze bzgl. der veränderten berufsbezogenen Qualifikationen des Tf formuliert.

### 4.2.4.1 Integration neuer Technologien am Beispiel von Head-up-Displays

Das Head-up-Display (HUD) stellt ein Anzeigesystem dar, bei dem Informationen im Blickfeld des Nutzers abgebildet werden. Falls diese Informationen virtuell mit der Realität verknüpft werden, die Realitätswahrnehmung also computergestützt erweitert wird, handelt es sich um eine sog. „erweiterte Realität“ (engl. augmented reality, AR). HUDs sind bereits seit Jahren bei Pilotenassistenzsystemen im Luftverkehr verbreitet (vgl. Abschnitt 2.2.4.1). Bereits 1998 führte Fadden eine Metaanalyse zu den Vor- und Nachteilen von HUDs mit Daten aus dem Bereich der Luftfahrt durch. Die Beobachtungsaufgaben eines Tf sind mit denen in der Studie untersuchten Beobachtungsaufgaben eines Piloten vergleichbar und besonders durch den stetigen Wechsel zwischen Nah- und Fernsicht gekennzeichnet. HUDs könnten das Problem des Wechsels zwischen der Beobachtung der Strecke und der Beobachtung im Führerraum gelegener Medien lösen. Durch die Veränderung der Informationsverarbeitung im Fahrzeug über den fehlenden Blickwechsel könnte die damit verbundene Aufmerksamkeitsdiffusion vermieden werden. Im Zuge der Verwendung von HUDs konnte festgestellt werden, dass diese zu einem schnelleren Erkennen und schnelleren Reaktionen auf veränderte Symbolik und eine veränderte Darstellung des Verkehrs führten. Des Weiteren konnte eine höhere Genauigkeit in der Flugbahnverfolgung identifiziert werden. Bei unerwarteten Veränderungen in der Umwelt kam es bei HUDs zu Performanzeinbußen, die eventuell auf geringere Kontraste zurückzuführen sind [302].

Die BMW-Group verwendete die Technologie der HUDs als erster europäischer Automobilhersteller bereits 2003. Der Konzern gibt an, dass HUDs die Ablesezeit für die aktuelle Geschwindigkeit halbieren. Bei älteren Fahrern sei der Zeitgewinn noch größer, da deren Augen sich beim Wechsel zwischen verschiedenen Entfernungen langsamer umstellen [303]. Laut einer Studie von Kim und Gabbard kommt es nicht zu einer Reduktion des Workloads bei der Verwendung von HUDs [304]. 24 Versuchspersonen nahmen

an einer Fahrsimulator-Studie teil, in der das Situationsbewusstsein der Probanden für Fußgängerkollisionen unter dem Einsatz verschiedener Augmented Reality HUD-Warnsysteme gemessen wurde [304]. Im Jahr 2004 veröffentlichten Liu und Wen eine Studie, die HUDs mit herkömmlichen Head-down-Displays (HDD) bezüglich der Fahrleistung vergleicht [305]. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden bei der Verwendung eines HUDs schneller auf dringliche Ereignisse reagierten und es zu weniger Geschwindigkeitswechseln kam. Zudem war die Anwendung der HUDs für Erstbenutzer einfacher und verursachte insgesamt eine geringere mentale Beanspruchung [305]. Die Anzahl der Symbole, die auf dem HUD erscheinen, wirkt sich auf die Fahrleistung aus. In einer Studie von 2012 sollten Probanden während einer simulierten Fahrt auf Reize in der Peripherie reagieren. Die negativsten Auswirkungen auf die Fahrleistung zeigten sich bei einem Wechsel von 4 auf 7 HUD-Symbolen. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich die Empfehlung ableiten, nicht mehr als 4 verschiedene Symbole auf dem HUD zu verwenden und weitere Symboliken eventuell über andere Modalitäten, z. B. taktile oder auditive Hinweisreize, darzustellen (vgl. Abschnitt 4.2.2.2) [306].

#### 4.2.4.2 Veränderung der berufsbezogenen Qualifikationen

Die prognostizierte Digitalisierung und Automatisierung des Schienenverkehrs wird zu einem veränderten Berufsbild des Tf führen, woraus sich neue Kompetenzen und Qualifikationen ableiten lassen. Dieses veränderte Berufsbild wird im Folgenden mit den drei Aspekten „Fusion mit weiteren Berufen“, „Mensch-Technik-Schnittstelle“ und „Mensch-Organisation-Schnittstelle“ umrissen (Abbildung 78), wobei exemplarisch Tätigkeitsfelder eines deutschen, überregional tätigen EVU unterstellt werden [307].

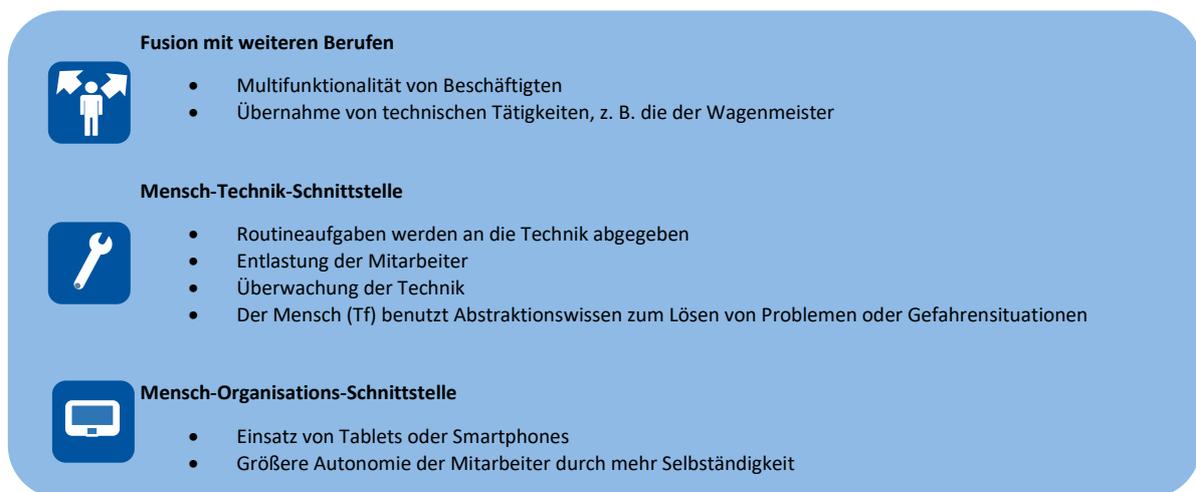


Abbildung 78: Veränderungen des Berufsbildes des Tf anhand von drei Themenkomplexen (eigene Darstellung)

Fusion mit weiteren Berufen: Hinsichtlich der Fusion mit weiteren Berufen ist anzumerken, dass sich das Aufgabenfeld des Tf durch die Digitalisierung und Automatisierung verschiebt. Der Beruf bleibt dabei bedeutsam, auch wenn einige aktuelle Aufgaben durch technische Lösungen ersetzt werden könnten. Über die Fusion des Berufs des Tf mit weiteren Berufen (z. B. Wagenmeister) könnte eine Multifunktionalität der Beschäftigten erzielt werden. Insbesondere Servicetätigkeiten könnten mehr in den Aufgabenfokus rücken, da diese schwer durch Automatisierungen zu ersetzen sind. Mit einer Übernahme von Servicetätigkeiten kann zudem auf die Problematik des demografischen Wandels in Deutschland eingegangen werden. Die älter werdende Kundschaft erhöht das Bedürfnis an betreuendem, begleitendem oder beratendem Personal.

**Mensch-Technik-Schnittstelle:** Ein Ziel der Digitalisierung ist die Automatisierung von Routineaufgaben durch Technik. Die Übernahme dieser Routineaufgaben führt generell zu einer Entlastung der Mitarbeiter. Die Tätigkeit des Tf könnte sich noch stärker auf die Überwachung der Technik und die Ergreifung von Maßnahmen zur Störungsbeseitigung verlagern. Die Beschäftigten sollten trotz ihrer überwachenden Funktion in die automatisierten Prozesse eingebunden werden, um der Monotonie entgegenzuwirken, die durch eine reine Überwachungstätigkeit bzw. verminderte Ausführungsgewalt entstehen könnte. Um Gefahrensituationen abzuwenden, muss bei den Angestellten ein notwendiges Maß an Abstraktionswissen vorhanden sein. Der Begriff Abstraktionswissen beschreibt das Verständnis für den Effekt, den eine ausgeführte Aktion in der Realität auslöst. Das Wissen, welches Mitarbeiter gegenüber zunehmend digital interagierenden Technologien erlangen müssen, wird somit komplexer. Gleichzeitig wird dieses nicht in jeder Situation, sondern zumeist nur temporär benötigt, um z. B. auf Gefahrensituationen reagieren zu können. Um digitale Kompetenzen zu vermitteln, die für ein solches Technikverständnis notwendig sind, sollten Weiterbildungen stattfinden. Mittelfristig ist auch eine Anpassung der Berufsausbildung zu empfehlen.

**Mensch-Organisation-Schnittstelle:** Der Einsatz von digitalen Endgeräten wie Tablets oder Smartphones trägt bereits in der Gegenwart zu einer Veränderung der Verantwortlichkeiten bei. So führt bspw. eine Dienstplan-Applikation dazu, dass physischen Teamtreffen entfallen, indem Mitarbeiter ihre Arbeitszeiten selbständig unterwegs einsehen, Schichtwünsche äußern und geleistete Schichtdienste quittieren. Die innerbetriebliche Anwendung von Applikationen zum Austausch von Informationen kann eine schnellere Anpassung an Störungen und Veränderungen bewirken und somit zu einer gesteigerten Effizienz einer Organisation beitragen (vgl. Abschnitt 2.2.5.3). Eine reduzierte Kontrolle einzelner Arbeitsschritte durch den Arbeitgeber kann die Autonomie der Mitarbeiter erhöhen, da diese selber Prioritäten in ihrer Arbeit setzen müssen. Je weniger hierarchische Kontrolle über einzelne Mitarbeiter vorhanden ist, desto umfänglicher sollte deren Selbstführungskompetenz ausgeprägt sein. Entsprechende Fortbildungen können diese stärken. Besonders im Beruf des Tf sollte trotz des Einsatzes digitaler Informations- und Kommunikationsmittel eine soziale Komponente (z. B. Teamtreffen) beachtet werden, da die verringerte Nähe zum Team als negativ empfunden werden kann. Ein Lösungsansatz wäre die Erweiterung des Berufsbildes durch Serviceaufgaben, welche den sozialen Aspekt des Kundenkontakts beinhalten würde und somit eine reduzierte Anzahl an Teamtreffen kompensieren könnte.

## 4.3 Erfassen von Vor- und Nachteilen bei der Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel

In Abschnitt 4.3 werden die Ergebnisse der in Abschnitt 4.1 und 4.2 vorgenommenen Analysen sowie der vorgenommenen Befragungen von Stakeholdern digitalisierter Arbeits- und Hilfsmittel des Tf systematisch dargestellt und die Vor- und Nachteile der Nutzung neuartiger digitaler Arbeits- und Hilfsmittel des Tf gegenüber dem jetzigen Zustand aufgeführt. Hierbei werden die Aspekte Arbeitssicherheit, Ergonomie, Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit betrachtet. Die Analyse der Systeme hinsichtlich des Aspekts „Ergonomie“ erfolgt vor allem auf Basis der Grundsätze der Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-110 (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Lernförderlichkeit, Steuerbarkeit, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit).

Dieser Abschnitt umfasst Vor- und Nachteile von stationären Führerraumanzeigen im Allgemeinen, speziell von elektronischen Fahrplananzeigen mittels EBUa, Maschinentechnischen Displays, externen Fahrerassistenzsystemen über separate Bordgeräte sowie generell von externen Fahrerassistenzsystemen, welche anhand von mobilen Endgeräten und Software-Applikationen realisiert sind. Die Erhebung der Vor- und Nachteile, insbesondere in Hinblick auf die mobilen Endgeräte und Software-Applikationen,

erfolgt explizit unabhängig von einzelnen Herstellern und ohne Nennung von speziellen Software-Applikationen.

Nachfolgend werden für die genannten Systeme die Vor- und Nachteile hinsichtlich der Aspekte Arbeitssicherheit, Ergonomie, Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit – sofern im Rahmen der Führerraum-Mitfahrten, Experten-Interviews und weiteren Analysen erhoben – systematisch dargestellt:

### 4.3.1 Generelle Vor- und Nachteile von Führerraumanzeigen

In Tabelle 10 werden generelle Vor- und Nachteile der in heutigen Tf stationär im Führerraum implementierten Führerraumanzeigen (engl. Driver Machine Interfaces, vgl. Abschnitt 2.2.1.4) dargestellt.

TABELLE 10: GENERELLE VOR- UND NACHTEILE VON FÜHRERRAUMANZEIGEN (EIGENE DARSTELLUNG)

	Vorteile	Nachteile
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sicherheitstechnische Abnahme durch Eisenbahn-Bundesamt, sofern die Anzeige sicherheitsrelevante Funktionen umfasst</li> <li>▪ Konformität bzgl. Arbeitssicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ -</li> </ul>
Ergonomie	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anordnung der Displays entspricht teilweise ergonomischen Anforderungen (vgl. Einheitsführerraum EUDDplus)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit der Dialoggestaltung bzw. Menüführung</li> <li>▪ Eingeschränkte Eingabe über Tasten am Display, weder Tastatur noch berührungssensitive Displays</li> <li>▪ kein bauartübergreifender Einheitsführerraum (Ausnahme EUDDplus, vgl. Abschnitt 2.2.1.4), stattdessen bauartspezifische Führerraumanzeigen</li> </ul>
Technik	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stand der Technik (langfristig bewährt, robust, zuverlässig, störungsarm, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anzeigetechnologie entspricht tlw. nicht den zeitgemäßen technischen Anforderungen (z. B. in Bezug auf Lichtstärke, Kontrast, adaptive Helligkeit, Bildschirmauflösung und -diagonale)</li> <li>▪ Keine zeitgemäße Datenübertragungsgeschwindigkeit via GSM-R möglich</li> <li>▪ Keine modifizierbare Software, z. B. zur Anwendung EVU-spezifischer Applikationen oder Dokumente</li> <li>▪ keine offenen Schnittstellen (bspw. USB, Bluetooth, LTE, LAN, WLAN) zum allgemeinen Datenaustausch</li> </ul>
Organisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Etablierte betriebliche Abläufe und Prozesse</li> <li>▪ Geschultes Fahr- und Instandhaltungspersonal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingeschränkte digitale Kommunikation und Dokumentation mangels Eignung der Ein- und Ausgabegeräte (bspw. kein digitales Übergabebuch, keine digitalen Störungsmeldungen)</li> </ul>
Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ -</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kostenintensive Beschaffung (Hard- und Software) wegen geringer Losgrößen</li> <li>▪ Kostenintensive Instandhaltung (Hard- und Software)</li> </ul>

### 4.3.2 Vor- und Nachteile von elektronischen Fahrplananzeigen

Die beschriebenen generellen Vor- und Nachteile von stationär implementierten Führerraumanzeigen sind grundsätzlich auch im Fall der elektronischen Fahrplananzeige mittels EBUa (engl. Electronic Timetable Display oder ETD) gültig. Ergänzend hierzu sind die mittels externer Bordtechnologie (z. B. Wegimpulsgeber, Türsensorik) ermöglichte dynamische, zeit- und ortsabhängige Anzeige des Fahrplanausschnitts und Funktionalitäten wie die Wahl alternativer Laufwege oder die Fahrt im Gegengleis von Vorteil. Als Nachteile sind die mangelnde Flexibilität bei kurzfristigen Fahrplanänderungen sowie die mangelnde Integration der tagesaktuellen Langsamfahrstellen aufzuführen.

### 4.3.3 Vor- und Nachteile der Maschinentechnischen Displays

Die beschriebenen generellen Vor- und Nachteile von stationär implementierten Führerraumanzeigen sind grundsätzlich auch im Fall der Maschinentechnischen Displays (engl. Technical & Diagnostic Display, kurz TDD) gültig. Darüber hinaus sind die automatische Erkennung und Aufzeichnung von Störungen, Diagnosemeldungen an den Tf und die Anzeige möglicher Maßnahmen zur Fehlerbehebung von Vorteil. Dies kann sich allerdings auch nachteilig und ablenkend auf den Tf auswirken. Hierbei sind sowohl eine mangelnde Priorisierung der Störungsmeldungen als auch eine mangelnde zeitliche Passgenauigkeit bei der Anzeige der Störungsmeldungen zu erwähnen. Die mangelnde Priorisierung der Störungsmeldungen kann zu einer Informationsflut führen, welche der Tf nicht adäquat kategorisieren und abarbeiten kann. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass die Störungsmeldungen dem Tf zu ungeeigneten Zeitpunkten angezeigt werden und dieser, insbesondere während komplexer Fahrtsituationen, durch die Anzeige der Störungsmeldungen abgelenkt wird. Es ist davon auszugehen, dass sich diese beiden Effekte verstärken werden, wenn die Zahl an Diagnosesystemen im Tzf weiter ansteigt und keine geeigneten Maßnahmen zur inhaltlichen und zeitlichen Priorisierung von Störungsmeldungen vorgenommen werden.

### 4.3.4 Vor- und Nachteile von externen Fahrerassistenzsystemen

Die Verwendung von externen Fahrerassistenzsystemen über separate Bordgeräte (vgl. z. B. Abschnitt 3.1.5) weist ebenfalls Vor- als auch Nachteile auf. Von Vorteil ist, dass der Fahrtverlauf aufgrund der topographischen Daten tendenziell dynamischer und hinsichtlich der zur Anwendung kommenden Bremsverzögerungen komfortabler wird. Zudem sind eine Optimierung der Trassenkapazitäten und Energieeinsparungen grundsätzlich möglich. Darüber hinaus ist von einem geringeren Instandhaltungsbedarf der Fahrzeuge durch Verschleißreduktion, bspw. an den Bremsen und Fahrmotoren, sowie von einer geringeren Beanspruchung der Infrastruktur auszugehen.

Nachteilig ist allerdings zu berücksichtigen, dass externe Fahrerassistenzsysteme zusätzlich im Führerraum installiert und hierfür separat Befestigungsmöglichkeiten vorgesehen werden müssen. Darüber hinaus besteht durch eine potentielle visuelle Doppelbelastung ein mögliches Ablenkungspotential durch optionale Informationen. Weiterhin sind derzeit vorhandene externe Fahrerassistenzsysteme häufig eingeschränkt oder nicht mit der Leit- und Sicherheitstechnik und Betriebsführung wie Fahrdienstleitung und Disposition vernetzt, eine Optimierung der Trassenkapazitäten wird mangels Vernetzung mit vorausfahrenden und nachfolgenden Zügen erschwert. Hochentwickelte Fahrerassistenzsysteme erfordern im Fall von Bahnanwendungen grundsätzlich echtzeitfähige Infrastruktur- sowie Betriebsdaten, deren Vorhaltung und Pflege derzeit noch mit einem erheblichen monetären Aufwand verbunden ist.

### 4.3.5 Vor- und Nachteile von mobilen Endgeräten

Wie in Tabelle 11 und in Abschnitt 4.3.1 aufgezeigt, weisen stationäre Führerraumanzeigen generell Vor- und Nachteile auf. Die zunehmende Verbreitung mobiler Endgeräte sowie von Software-Applikationen setzt dort an, wo die bestehenden stationären Führerraumanzeigen Limitationen aufweisen. Diese können dabei teilweise oder vollständig kompensiert werden, es entstehen jedoch auch neue Limitationen. Die nachfolgende Betrachtung von externen Fahrerassistenzsystemen in Form von mobilen Endgeräten erfolgt hersteller- und produktübergreifend und ist in Tabelle 11 zusammenfassend dargestellt.

TABELLE 11: GENERELLE VOR- UND NACHTEILE VON MOBILEN ENDGERÄTEN  
(EIGENE DARSTELLUNG)

	Vorteile	Nachteile
<b>Sicherheit</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Potentielle Ablenkung, vor allem durch nicht bestimmungsgemäße Verwendung privater Applikationen</li> <li>▪ Keine sicherheitstechnische Abnahme durch Eisenbahn-Bundesamt</li> </ul>
<b>Ergonomie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Möglichkeit einer ergonomisch gestalteten graphischen Benutzungsschnittstelle und Optimierung der Dialoggestaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keine reguläre Befestigungsmöglichkeit im Führerraum, somit ggf. keine Optimierung hinsichtlich des Greif- und Sehraums</li> </ul>
<b>Technik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stand der Technik</li> <li>▪ Hohe Interoperabilität durch offene Schnittstellen</li> <li>▪ Möglichkeit zur Verwendung von Touch-Eingabe und zum Anschluss von externen Tastaturen (bspw. per Bluetooth)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingeschränkte oder keine Vernetzung mit der Leit- und Sicherungstechnik und Betriebsführung wie Fahrdienstleitung</li> <li>▪ Eingeschränkte mobile Netzabdeckung in weiten Teilen Deutschlands, daher Synchronisation großer Datenmengen ggf. per WLAN notwendig</li> </ul>
<b>Organisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Flexibilität hinsichtlich möglicher Funktionalitäten</li> <li>▪ Möglichkeit der Verknüpfung mit umfangreichen Back-End-Systemen bzw. Content-Management-Systemen</li> <li>▪ Zielgruppengerechte Daten, tagesaktuell entsprechend individueller Arbeitsaufgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingeschränkte Funktionalität von dynamischen bzw. orts- und zeitabhängigen Fahrdaten, bspw. fehlende Integration der tagesaktuellen Langsamfahrstellen</li> </ul>
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kostengünstige Beschaffung (Hard- und Software)</li> <li>▪ Kostengünstige Instandhaltung (Hard- und Software)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relativ hohe Kosten durch die Anpassung der Back-End-Systeme, wenn diese noch nicht mit Tablet-Funktionalitäten (z. B. Dokumentenverteilung) kompatibel sind</li> </ul>

Die Effektivität und Effizienz externer Fahrerassistenzsysteme ist grundsätzlich von der Konfiguration der eingesetzten Hard- und Software abhängig. Die untersuchten Software-Applikationen weisen deutliche Unterschiede hinsichtlich des Funktionsumfangs und der Performanz auf, sodass dem Auswahlprozess der am Markt verfügbaren Software-Applikation durch einen Bahnbetreiber eine große Bedeutung zukommt. Die beschriebenen Nachteile hinsichtlich ergonomischer Aspekte von stationären Führerraumanzeigen – etwa die eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit der Dialoggestaltung bzw. Menüführung oder eine eingeschränkte Eingabe über Tasten am Display – können hardwareseitig durch mobile Endgeräte weitgehend kompensiert werden. In Kombination mit den verwendeten Software-Applikationen wird damit in technisch-funktionaler Hinsicht eine ergonomisch gestaltete graphische Benutzungsschnittstelle und eine Optimierung der Dialoggestaltung gemäß den Grundsätzen nach DIN EN ISO 9241-110 ermöglicht. Es bestehen dennoch ergonomische Einschränkungen bei der aktuellen Anwendung mobiler Endgeräte, z. B. hinsichtlich der Befestigungsmöglichkeit im Führerraum, der haptischen Rückmeldung oder der optimierten Gestensteuerung (vgl. Abschnitt 4.2.2).

Auch die Nachteile im Hinblick auf technische Aspekte von stationären Führerraumanzeigen – z. B. eine Anzeigetechnologie und Datenübertragung, die nicht den zeitgemäßen technischen Anforderungen gerecht wird, die fehlende Möglichkeit, Software entsprechend EVU-spezifischen Vorgaben zu modifizieren sowie ein Mangel an offenen Schnittstellen zum allgemeinen Datenaustausch – können durch mobile Endgeräte weitgehend behoben werden. Diese entsprechen dem Stand der Technik, verfügen über offene Schnittstellen und weisen somit eine hohe Interoperabilität auf. Darüber hinaus können diese sowohl per Touch-Funktion als auch mit externen Tastaturen verwendet werden. Weiterhin gewährleistet die Kombination aus WLAN und mobilem Internetzugang via LTE, oder zukünftig 5G, einen leistungsfähigen Datenaustausch.

Die Nachteile von stationären Führerraumanzeigen in Bezug auf organisationale Aspekte – z. B. eine eingeschränkte digitale Kommunikation und Dokumentation – können ebenfalls durch mobile Endgeräte und entsprechende Software-Applikationen kompensiert werden. Software-Applikationen unterschiedlicher Hersteller weisen zumeist eine hohe Flexibilität hinsichtlich möglicher Funktionalitäten auf und können grundsätzlich mit umfangreichen Back-End- bzw. Content-Management-Systemen verknüpft werden. Der Betreiber der mobilen Endgeräte ist somit in der Lage, eine Aktualität der Daten zu gewährleisten und diese zielgruppengerecht einem Endnutzer, z. B. Tf, zur Verfügung zu stellen. Ein ausgefeiltes, feingranulares Content-Management ist jedoch nicht immer Stand der Technik. Ein solches liegt etwa vor, wenn Dokumente nicht nach dem „Gießkannenprinzip“ an alle Tf gesendet werden, sondern tagesaktuell entsprechend der individuell zu leistenden Arbeitsdienste zur Verfügung gestellt werden.

Schließlich vermeidet der Einsatz mobiler Endgeräte die wirtschaftlichen Nachteile von stationären Führerraumanzeigen. Sowohl die Beschaffung von Hard- und Software, als auch die Instandhaltung der Hardware und die Aktualisierung der Software sind bei mobilen Endgeräten und geeigneten Software-Applikationen vergleichsweise kostengünstig. Sämtliche Funktionalitäten der Arbeitsmittel stehen aufgrund des weitgehend ortsungebundenen Einsatzes auch nach dem Verlassen des Tzf zur Verfügung. Die potenziell hohe Nutzungsintensität im Vergleich zu stationär vorgehaltenen Systemen ist ein weiterer Aspekt, der Investitionen rechtfertigt. Einschränkend ist zu erwähnen, dass die erstmalige Anwendung mobiler Endgeräte, wie sie in den letzten Jahren verstärkt im Eisenbahnwesen zu beobachten war, mit der Anpassung vorhandener Back-End-Systeme gekoppelt war. Erst die Erstellung neuer Schnittstellen zwischen Back-End-Datenbanken und der Front-End-Anwendung „Tablet“ hat die derzeit üblichen Tablet-Funktionen ermöglicht (vgl. Abschnitt 3.1.6). Dieser Entwicklungsaufwand erzeugte zunächst hohe Kosten, die sich auch auf Stückkosten der Tablet-Anwendung ausgewirkt haben. Zwar ist auch in Zukunft mit Anpassungen auf der Back-End-Ebene zu rechnen, allerdings mit einem deutlich reduzierten Kostenaufwand.

Trotz der umfänglichen allgemeinen Vorteile weisen spezielle Anwendungsfälle für mobile Endgeräte auch Nachteile auf. Dies trifft insbesondere auf externe Fahrerassistenzsysteme zu, die nicht auf fahrzeugseitig vorhandene Informationen zugreifen. Bisher besteht kein System aus mobilem Endgerät und Software-Applikation, welches von Seiten des Eisenbahn-Bundesamtes sicherheitstechnisch inspiziert und abgenommen wurde. Eine Umsetzung von Schnittstellen zwischen einem mobilen Endgerät im Führerraum und den Rechnern des Tz gilt entsprechend der Meinung einzelner Bahnbetreiber aus wirtschaftlichen Gründen als nicht realisierbar.

Eine Nennung der Vorteile mobiler Endgeräte im Vergleich zu derzeit vorhandenen stationären Systemen darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass mobile Endgeräte ebenfalls Limitationen unterworfen sind. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die mobile Netzabdeckung in weiten Teilen Deutschlands Limitationen unterliegt und LTE auf der Strecke nur eingeschränkt zur Verfügung steht. Eine Datensynchronisation ist damit häufig vor Dienstbeginn per WLAN notwendig. Darüber hinaus sind die mobilen Endgeräte in zahlreichen Fällen ergonomisch nicht in optimaler Weise in den Führerraum integriert. Es fehlen sowohl sinnvolle Ablage- oder Befestigungsmöglichkeiten, aber auch Optimierungen hinsichtlich des Greif- und des Sichttraums (vgl. Abschnitt 4.2.1.3). Darüber hinaus können die mobilen Endgeräte und Software-Applikationen nur eingeschränkt dynamische bzw. orts- und zeitabhängige Fahrtdaten liefern; eine Integration der tagesaktuellen Langsamfahrstellen fehlt in aller Regel auch hier. Ein allgemeiner Nachteil infolge offener Schnittstellen und vielfältiger Datenübertragungsmöglichkeiten ergibt sich durch die Installation und Anwendung privater Applikationen. Sind mobile Endgeräte nicht für die Installation von privaten Applikationen gesperrt, kann sich bei einer nicht bestimmungsgemäßen Nutzung des Arbeitsmittels ein Ablenkungspotenzial einstellen, aus dem sich ein Schadensrisiko ergibt, das sogar katastrophale Ausmaße annehmen kann (vgl. Abschnitt 3.2.3.2, Ermittlung von Gefährdungen gemäß VO (EU) Nr. 402/2013). Mögliche Kompensationsstrategien sind den Ausführungen in Abschnitt 3.2.3 zu entnehmen.

## 5 Bewertung rechtlicher Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse

In Kapitel 5 wird zunächst der rechtliche Rahmen zur Aus- und Weiterbildung von Tf dahingehend geprüft, ob dieser eine ausreichende Qualifikation angesichts digitalisierter Betriebsprozesse und deren Auswirkungen gewährleistet. Dabei wurden die Gesetzestexte Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG), Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), Triebfahrzeugführerverordnung (TfV) sowie Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Steuerung“ begutachtet sowie Änderungsvorschläge unterbreitet. Weiterhin wurden Dienstvorschriften auf unternehmerischer Ebene analysiert, nämlich das VDV-Betriebsregelwerk (BRW) für EVU, die bahnbetrieblichen Regelwerke DB-Ril 408 und 418 der Deutschen Bahn AG sowie einzelne Richtlinien für das Bedienen von Tfz. Die rechtliche Bewertung wird anschließend überblicksartig auf die Themen Datenschutz und Datensicherheit sowie auf ausgewählte haftungsrechtliche Bestimmungen ausgeweitet.

### 5.1 Regelungen zur Qualifizierung von Triebfahrzeugführern

#### 5.1.1 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG)

In Deutschland bildet das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) die rechtliche Grundlage für den Betrieb öffentlicher Eisenbahnen. Mit dem AEG wird das allgemeine Ziel verfolgt, einen sicheren Eisenbahnbetrieb, ein attraktives Verkehrsangebot sowie die Wahrung von Verbraucherinteressen zu gewährleisten (§ 1 Abs. 1 AEG). Das AEG setzt europäische Richtlinien u. a. zur Erzielung von Eisenbahnsicherheit um. Konkret wurde etwa das in Richtlinie (EU) 2016/798 definierte Sicherheitsmanagementsystem (SMS) (vgl. Abschnitt 3.2.1) in nationales Recht überführt: Im Regelfall dürfen EVU nur dann am öffentlichen Eisenbahnverkehr teilnehmen, wenn ein SMS eingerichtet wurde (§ 7a Abs. 2 AEG [242]). Im Hinblick auf Anforderungen an die Qualifizierung und Tätigkeiten des Tf beinhaltet das AEG u. a. nachfolgende Bestimmungen (Tabelle 12).

TABELLE 12: RELEVANTE BESTIMMUNGEN GEMÄß ALLGEMEINES EISENBAHNGESETZ (AEG) FÜR DIE QUALIFIZIERUNG DES TF (EIGENE DARSTELLUNG)

**Relevante Bestimmungen gemäß Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) für die Qualifizierung des Tf (Auswahl; gekürzte Wiedergabe)**

<b>§ 7e Abs. 1</b>	EIU sind verpflichtet, dem Fahr- und Begleitpersonal der EVU die erforderlichen Streckenkenntnisse und die erforderlichen Kenntnisse der Betriebsvorschriften und Betriebsverfahren [...] sowie [...] für die betreffenden Strecken geltende[ ] Notfallverfahren durch Schulungen zu vermitteln, soweit Schulungen nicht durch Dritte angeboten werden.
<b>§ 26 Abs. 1 Nr. 4</b>	Das BMVI [wird] ermächtigt, Rechtsverordnungen zu erlassen über Erteilung, Aussetzung, Einschränkung und Entziehung des Triebfahrzeugführerscheins [...].
<b>§ 26 Abs. 1 Nr. 5a)</b>	Das BMVI [wird] ermächtigt, Rechtsverordnungen zu erlassen über die Anforderungen an die Befähigung und Eignung des Eisenbahnbetriebspersonals, dessen Ausbildung und Prüfung [...].
<b>§ 26 Abs. 1 Nr. 15</b>	Das BMVI [wird] ermächtigt, Rechtsverordnungen zu erlassen über den Zugang zu Schulungseinrichtungen und die Anforderungen an Schulungen und Schulungseinrichtungen [...].

Anhand der in Tabelle 12 auszugsweise dargestellten Bestimmungen wird deutlich, dass das AEG die „Ermächtigungsgrundlage“ (vgl. [308]) für weitere Rechtsverordnungen im Bereich der Tf-Ausbildung ist. Im Folgenden werden die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) sowie die Triebfahrzeugführerscheinverordnung (TfV) thematisiert. Es ist herauszustellen, welche Regelungen sich auf die Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel anwenden lassen.

### 5.1.2 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)

Die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) schreibt grundlegende Anforderungen an das Bahnbetriebspersonal (Betriebsbeamte) vor. Nachfolgende Anforderungen betreffen dabei das Tätigkeitsprofil des Tf (Tabelle 13) [223].

TABELLE 13: RELEVANTE BESTIMMUNGEN GEMÄß EISENBAHN-BAU- UND BETRIEBSORDNUNG (EBO) MIT DEM FOKUS AUF DAS TÄTIGKEITSPROFIL DES Tf (EIGENE DARSTELLUNG)

**Relevante Bestimmungen gemäß Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO) mit dem Fokus auf das Tätigkeitsprofil des Tf (Auswahl, gekürzte und sinngemäße Wiedergabe)**

<b>§ 45 Abs. 1</b>	Pflicht zur Besetzung arbeitender Triebfahrzeuge mit einem Tf (Ausnahme: gesteuerte Tzf dürfen unbesetzt sein)
<b>§ 45 Abs. 2</b>	Ferngesteuerte Rangierfahrten dürfen unbesetzt sein
<b>§ 45 Abs. 6</b>	Pflicht zur Besetzung des vordersten Fahrzeugs geschobener Züge mit einem Tf (Ausnahme: bei kurzem Zurücksetzen darf hiervon abgewichen werden)
<b>§ 45 Abs. 7</b>	Verzicht auf einen Reisezugbegleiter, wenn das Geschlossensein der Wagentüren vor Abfahrt dem Tf angezeigt oder bei einfachen Verhältnissen von ihm festgestellt wird
<b>§ 47 Abs. 2</b>	Die Betriebsbeamten sind verpflichtet, für die sichere und pünktliche Durchführung des Eisenbahnbetriebs zu sorgen. Sie haben, soweit erforderlich, eine richtigzeitige Uhr zu tragen.
<b>§ 47 Abs. 4</b>	Den Betriebsbeamten sind schriftliche oder elektronische Anweisungen über ihre dienstlichen Pflichten zugänglich zu machen.
<b>§ 48 Abs. 2-7</b>	Erfüllung von körperlichen Mindestvoraussetzungen, z. B. beim Seh- und Hörvermögen bzw. bei der Farbentüchtigkeit
<b>§ 54 Abs. 1</b>	Den Betriebsbeamten sind die Kenntnisse und Fertigkeiten zu vermitteln, die sie zur ordnungsgemäßen Ausübung ihres Dienstes befähigen.
<b>§ 54 Abs. 2</b>	Die Eisenbahnen haben sich durch Prüfungen oder in sonst geeigneter Weise vom Vorhandensein der geforderten Kenntnisse und Fertigkeiten zu überzeugen. Hierüber sind Nachweise zu führen.

Entsprechend der in § 45 Abs. 1 EBO getroffenen Bestimmungen ist ein automatisierter Fahrbetrieb mit Eisenbahnen ohne ständige Besetzung des Führerraumes (entspricht GoA 3 bis GoA 4) nicht gestattet. Eine Ausnahme stellt der funkferngesteuerte Rangierbetrieb dar (§ 45 Abs. 2 EBO). Im ÖPNV mit unabhängigen Bahnen (trifft auf U-Bahnen zu, vgl. Abschnitt 2.2.2.4) ist dagegen ein automatischer Fahrbetrieb ohne Fahrpersonal gemäß Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BoStrab) erlaubt. Hierfür müssen gemäß § 53 Abs. 2 BoStrab infrastrukturelle und betriebliche Voraussetzungen erfüllt sein, u. a. das Vorhandensein von Anlagen und Einrichtungen für den selbsttätigen Fahrbetrieb [309]. Soll der automatisierte Fahrbetrieb ohne ständige Besetzung des Führerraumes zukünftig auch für Vollbahnen gestattet werden, ist eine Änderung des rechtlichen Rahmens ähnlich der BoStrab notwendig. Damit die technologische Entwicklung im Bereich des personal- und kostenoptimierten Bahnbetriebs (vgl. Abschnitt 2.2.1.5) nicht in Kürze durch rechtliche Hürden verzögert wird, ist diese Änderung bereits in naher Zukunft zu empfehlen.

Auch wenn der derzeitige Rechtsrahmen keinen personal- bzw. kostenoptimierten Bahnbetrieb durch den Wegfall des Tf zulässt, hat eine andere Bestimmung für eine Personalreduktion im SPNV geführt. So ermöglicht es § 45 Abs. 7, dass bei einem Vorhandensein digitaler Türüberwachungssysteme auf einen Zugbegleiter verzichtet werden kann. Solche Systeme stellen per Führerraumanzeige vor Abfahrt des

Zugesicher, „dass die Außentüren geschlossen und keine Personen oder Gegenstände eingeklemmt sind“ (Ril 418.3328 [1]). Im Schienenpersonenfernverkehr wird im Gegensatz zum SPNV trotz vorhandener Türüberwachungssysteme in der Regel nicht auf Zugbegleitpersonal verzichtet. Dieses nimmt vielfältige Serviceaufgaben wahr, sodass die visuelle Türüberwachung nur eine Teilaufgabe darstellt.

Weiterhin stellt die EBO Anforderungen an das Vorhandensein von Arbeits- und Hilfsmitteln des Tf. Als konkrete Anforderung wird das Tragen einer richtigzeitigen Uhr formuliert, sofern dies erforderlich ist (§ 47 Abs. 2). Wie in Abschnitt 4.1.1.2 beschrieben, verfügen die aktuell eingesetzten Tfz in der Regel über Digitaluhren, die im Führertisch integriert sind und eine gute Ablesbarkeit gewährleisten. Im Fall von Störungen fahrzeugzeitig vorhandener Zeitanzeigen lässt sich eine am Armband getragene Uhr als Rückfallebene einsetzen. Eine verbindliche Regelung ist den einzelnen EVU überlassen. Gegen die Rückfallebene einer Zeitanzeige an mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets spricht, dass diese in der Regel über keine sekundengenaue Anzeige verfügen und das Ablesen der Uhrzeit ggf. länger dauert als im Fall einer persönlichen Armbanduhr. Das Tragen einer richtigzeitigen Uhr stellt daher trotz weiterer vorhandener digitaler Zeitanzeigen eine zeitgemäße Bestimmung dar.

Die Anforderung, Anzeigegeräte für die Vorhaltung elektronischer Anweisungen mitzuführen, lässt sich aus § 47 Abs. 4 ableiten. Da kein konkretes digitales Anzeigemedium für elektronische Anweisungen genannt wird, ergeben sich an dieser Stelle Freiheiten für das EVU. Die im Rahmen von Führerraum-Mitfahrten gewonnenen Praxisbeispiele zeigen, dass verschiedene EVU nahezu identische Tablets mit einer ausreichend großen Anzeige (Bildschirmdiagonale erreicht i. d. R. 10 bis 12 Zoll, vgl. Abschnitt 4.2.2.4) nutzen, um Anweisungen elektronisch umzusetzen. Aus Sicht der Projektbearbeiter besteht somit kein zwingender Bedarf für eine genauere Spezifikation des Tablet-Endgerätes zur Anzeige elektronischer Anweisungen.

Weitere, auf den Tf abzielende Bestimmungen der EBO definieren körperliche Grundvoraussetzungen (§ 48 Abs. 2-7) sowie Grundsätze bei der Ausbildung und Prüfung von Tf (§ 54 Abs. 1-2). In Bezug auf die Verwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel ist die Anforderung eines Mindestmaßes bezüglich des Seh- und Hörvermögens von Tf erforderlich. Die Bestimmungen des § 54 Abs. 1-2 EBO schließen aufgrund ihres allgemeingültigen Charakters die Vermittlung von Kenntnissen beim Umgang mit digitalen Arbeits- und Hilfsmitteln sowie die Prüfung des Vorhandenseins dieser Kenntnisse ein, falls der Betriebsdienst diese erfordert. Die Erfahrungen der Projektbearbeiter zeigen eine große Bandbreite an digitalisierten Arbeitsprozessen (vgl. z. B. Abschnitte 3.1.6 und 3.1.7). Im Fall eines Arbeitgeberwechsels durch den Tf sind im Zweifel neuartige Tablet-Anwendungen zu erlernen. Ein möglicher Fortbildungsbedarf ist durch das EVU zu erkennen und durch geeignete Schulungsinhalte abzudecken. Für die Wissensvermittlung eignen sich dabei unterschiedliche Lernformate (vgl. Abschnitt 4.1.2.2). Die Projektbearbeiter kommen daher zu dem Schluss, dass es dem einzelnen EVU freizustellen ist, welches Lernformat zur Schulung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel gewählt wird. Angesichts der branchenweit heterogenen Verwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel ist die gemäß § 54 Abs. 2 EBO vorgesehene Prüfung geforderter Kenntnisse des Tf in Eigenverantwortung des jeweiligen EVU zu befürworten. Um möglichen zeitlichen Verzögerungen bei der Schulung neuer digitaler Anwendungen zu begegnen, empfehlen die Projektbearbeiter, die generelle Notwendigkeit dieser Schulungen EVU-übergreifend mit dem Verweis auf § 54 Abs. 1f. zu thematisieren.

### 5.1.3 Triebfahrzeugführerscheinverordnung (TfV)

Die in Deutschland geltende Triebfahrzeugführerscheinverordnung (TfV) regelt als weitere Rechtsordnung zur EBO, welche Grundsätze bei der Ausbildung von Tf, der Erteilung von Triebfahrzeugführerscheinen und sonstigen, den Tf betreffenden Regelungsgebieten einzuhalten sind. Für das Forschungsprojekt sind insbesondere Bestimmungen in nachfolgend gelisteten Anlagen zur TfV von Relevanz:

- Anlage 5: Allgemeine Fachkenntnisse für den Erwerb des Triebfahrzeugführerscheins
- Anlage 6: Fahrzeugbezogene Fachkenntnisse für den Erwerb der Zusatzbescheinigung
- Anlage 7: Infrastrukturbezogene Fachkenntnisse für den Erwerb der Zusatzbescheinigung
- Anlage 8: Ausbildungsmethode

Eine Prüfung der Ausbildungsinhalte (Anlagen 5-7 TfV) ergibt, dass die bestehenden Bestimmungen nur in einem sehr geringen Umfang auf digitalisierte Betriebsprozesse Bezug nehmen. Dieser Umstand könnte dem Bestreben geschuldet sein, Bestimmungen möglichst allgemeingültig zu formulieren. Benannte digitale Technologien sind z. B. „Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen“ (Anlage 5 Nr. 2 g) TfV), „Zugbeeinflussungssysteme“ (Anlage 6 Nr. 2 e) TfV) oder die „Führerraumsignalisierung“ (Anlage 7 Nr. 4 b) TfV). Die derzeitige Ausgestaltung der TfV schließt die Verwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel nicht aus, benennt diese Möglichkeit jedoch in der Regel auch nicht. Aus Sicht der Projektbearbeiter wäre die Konkretisierung der TfV bzw. die Nennung weiterer digitaler Arbeits- und Hilfsmittel eine mögliche Option, um eine umfassendere Wissensvermittlung dieser Technologien auf Seiten der EVU zu fördern.

Die in den Anlagen 5 -7 TfV formulierten Ausbildungsbestandteile, z. B. die betriebliche Kommunikation, das Zusammenstellen und auf den neuesten Stand Halten notwendiger Unterlagen oder die Berücksichtigung von Energiesparanweisungen, könnten generell um den Passus „mithilfe papiergebundener sowie elektronischer Verfahren“ erweitert werden. Soll eine umfassendere Konkretisierung der Verordnung erfolgen, könnten darüber hinaus konkrete digitale Anwendungen benannt werden, etwa ein digitales Fahrzeugübergabebuch, fahrzeugseitige Diagnose- und Fahrerassistenzsysteme oder das System der Elektronischen Schadensmeldung (ESM). Eine Auflistung einzelner Konkretisierungsvorschläge für die TfV enthält Tabelle 14.

TABELLE 14: VORSCHLÄGE FÜR EINE INHALTLICHE KONKRETISIERUNG DER ANLAGEN 5-7 TRIEBFAHRZEUGFÜHRERSCHEINVERORDNUNG (TFV) HINSICHTLICH DES EINSATZES DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL FÜR DEN TF (EIGENE DARSTELLUNG)

<b>Ausbildungsinhalte des Tf (Auswahl gem. Anlagen 5-7 TfV)</b>	<b>Vorschläge für eine inhaltliche Konkretisierung (Auswahl)</b>
Aufgaben der Mitarbeiter im Bahnbetrieb und deren betriebliche Kommunikation (Anlage 5 Nr. 2 n) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kommunikation mithilfe schriftlicher und elektronischer Übermittlungswege sowie digitaler Arbeits- und Hilfsmittel (z. B. Tablet)</li> </ul>
Zusammenstellen und auf den neuesten Stand Halten der notwendigen Unterlagen (Anlage 5 Nr. 2 bb) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung mobiler Anzeigeegeräte</li> <li>▪ Synchronisierung und elektronische Quittierung betrieblicher Unterlagen</li> </ul>
Prüfung von Eintragungen in den fahrzeugbezogenen Unterlagen, beispielsweise Übergabebuch (Anlage 6 Nr. 1 a) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung elektronischer Aufzeichnungen (digitales Übergabebuch) und vorhandener Diagnosesysteme</li> </ul>
Kenntnis der Fahrzeuge, um Unregelmäßigkeiten zu erkennen, orten und die gebotenen Maßnahmen ergreifen zu können (Anlage 6 Nr. 2 TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung von Diagnosesystemen des Tfz und ggf. des Zugverbandes</li> </ul>
Einhaltung von Geschwindigkeiten des Zuges nach den Fahrplanangaben unter Berücksichtigung möglicher Energiesparanweisungen (Anlage 7 Nr. 4 g) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung digitaler Fahrerassistenzsysteme des energie- und kapazitätsoptimierten Fahrens bis hin zur (teil-)automatisierten Fahr- und Bremssteuerung</li> </ul>
Beachtung der vom EIU bekannt gegebenen vorübergehenden Langsamfahrstellen und anderer Besonderheiten (Anlage 7 Nr. 4 h) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung mobiler Anzeigeegeräte für elektronisch mitgeteilte Fahrplanänderungen</li> </ul>
Schnellstmögliche Unterrichtung des EIU über den Ort und die Art beobachteter Störungen (Anlage 7 Nr. 5 c) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zukünftig: Nutzung elektronischer Hilfsmittel zur Strecken- und Signalbeobachtung (u. a. automatische Bilderkennung)</li> </ul>
Beurteilung, ob und unter welchen Bedingungen das Fahrzeug weiterfahren kann (Anlage 7 Nr. 5 g) TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung der elektronischen Schadensmeldung (ESM)</li> </ul>

Die Bestimmungen zum Themenkomplex „Ausbildungsmethoden“ (Anlage 8 TfV) entsprechen in einem hohen Maß den potenziell vorhandenen technologischen Möglichkeiten des E-Learnings (vgl. Abschnitt 4.1.2.2). Eine tabellarische Übersicht der Ausbildungsmethoden findet sich in Tabelle 15.

TABELLE 15: AUSBILDUNGSMETHODEN DES TRIEBFAHRZEUGFÜHRERS GEMÄß ANLAGE 8 TfV (EIGENE DARSTELLUNG)

Ausbildungsteil	Ausbildungsmethoden (Auswahl gem. Anlage 8 TfV)
Theoretischer Teil (Anlage 8 Nr. 1 TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterricht</li> <li>▪ Vorführungen</li> <li>▪ Computergestützte Ausbildung für das eigenständige Lernen (z. B. betrieblicher Regelwerke, der Signalsysteme)</li> </ul>
Praktischer Teil (Anlage 8 Nr. 1 TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausbildung am Arbeitsplatz</li> <li>▪ Fahren unter Aufsicht und ohne Aufsicht auf Gleisen, die zu Ausbildungszwecken gesperrt sind</li> </ul>
Erwerb von Streckenkenntnis (Anlage 8 Nr. 2 TfV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ eigene Anschauung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fahren in Begleitung einer streckenkundigen Person</li> <li>▪ Mitfahren im Führerraum</li> <li>▪ Studium von Filmaufnahmen mit originalgetreuer Streckenabbildung</li> <li>▪ Simulatorfahrten mit originalgetreuer Streckenabbildung</li> <li>▪ Begehen der Infrastruktur</li> </ul> </li> <li>▪ Einsichtnahme in betriebliche Unterlagen</li> </ul>

Im theoretischen Teil der Tf-Ausbildung wird eine „computergestützte Ausbildung [...] für das eigenständige Lernen“ (Anlage 8 Nr. 1 TfV) gestattet, etwa zum Erlernen von Betriebsvorschriften oder Signalsystemen. Weiterhin sieht die TfV die Möglichkeit vor, Streckenkenntnis u. a. durch das „Studium von Filmaufnahmen mit originalgetreuer Streckenabbildung“ (Anlage 8 Nr. 2 aa TfV) oder „Simulatorfahrten mit originalgetreuer Streckenabbildung“ (Anlage 8 Nr. 2 dd TfV) zu erlangen.

Angesichts der Bandbreite zugelassener Ausbildungsmethoden besteht aus Sicht der Projektbearbeiter an dieser Stelle keine Notwendigkeit, den Rechtsrahmen anzupassen. Eine Option wäre es, die Authentizität der Simulatorfahrten durch den Einsatz von Augmented- bzw. Virtual Reality-Brillen zu erhöhen (vgl. Abschnitt 4.2.4.1). Diese Technologien könnten zukünftig als zulässige digitale Hilfsmittel für den Erwerb von Streckenkenntnis in Anlage 8 Nr. 2 TfV hinzugefügt werden.

### 5.1.4 Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ (VO (EU) 2015/995)

Zur Gewährleistung eines interoperablen, d. h. technisch harmonisierten Bahnbetriebs innerhalb der Europäischen Union hat die Europäische Kommission Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) für mehrere Teilsysteme verabschiedet. Die als Rechtsverordnungen statuierten TSI gelten in der Regel in allen ihren Teilen verbindlich und unmittelbar. Von den Mitgliedsstaaten im Geltungsbereich sind nationale Umsetzungspläne zu erstellen und der Kommission zu übermitteln.

Für die Projektbearbeitung relevant ist die TSI „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ (Verordnung (EU) 2015/995; genannt „TSI Operation and Traffic Management“, kurz OPE), die als so genanntes funktionales Teilsystem definiert wurde. Die Einhaltung der TSI OPE wird – anders als im Fall weiterer TSI – nicht bei der Inbetriebnahme eines Fahrzeuges, sondern bei der Bewertung des Sicherheitsmanagementsystems (SMS) eines EVU bzw. EIU geprüft [310]. Die TSI OPE definiert u. a. Anforderungen an Qualifikationen, Arbeits- und Hilfsmittel sowie Tätigkeiten von Tf. In Ergänzung zu den nationalen Verordnungen EBO und TfV enthält sie Spezifikationen zum Personal (Abschnitt 4.2.1 TSI OPE), die direkt oder indirekt auf die in den vorherigen Arbeitspaketen untersuchte Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel abzielen.

Gemäß TSI OPE müssen zuständige EVU dem Tf „alle zur Durchführung seiner Aufgaben erforderlichen Informationen und Unterlagen zur Verfügung stellen“ (Abschnitt 4.2.1.2 TSI OPE). Die betrieblichen Anweisungen können alternativ zur Vorhaltung in Papierform „auf einem elektronischen Datenträger mit der Bezeichnung ‚Triebfahrzeugführerheft‘ zusammengefasst werden“ (Abschnitt 4.2.1.2.1 TSI OPE). Die Option der elektronischen Dokumenten-Bereitstellung gilt auch für das so genannte Streckenbuch, das u. a. Betriebsmerkmale der zu befahrenden Eisenbahnstrecken enthält (Abschnitt 4.2.1.2.2 TSI OPE) sowie für die Mitteilung von Änderungen von betriebsrelevanten Informationen (Abschnitt 4.2.1.2.2.2 TSI OPE). Kurzfristige Änderungen sind dem Tf „in Echtzeit“ (Abschnitt 4.2.1.2.2.3 TSI OPE, vgl. auch Abschnittsüberschrift) zu kommunizieren, wobei der Terminus „Echtzeit“ nicht weiter spezifiziert wird. Die Mitteilung von Fahrplaninformationen kann ebenfalls elektronisch oder in gedruckter Form erfolgen, die „formale Aufmachung“ (Abschnitt 4.2.1.2.3 TSI OPE) muss jedoch für Tf eines EVU auf allen Strecken dieselbe sein. Die Bereitstellung von Formularen kann ebenfalls elektronisch erfolgen (Kapitel 8 TSI OPE). Eine beispielhafte Auflistung dieser und weiterer identifizierter Inhalte ist dem Anhang (Tabelle 25) zu entnehmen.

Neben den Vorgaben über die Bereitstellung von Unterlagen des Tf enthält die TSI OPE Spezifikationen zur Ermittlung und Aktualisierung des Schulungsbedarfs von Tf (Abschnitt 4.6.3.2 TSI OPE). EVU und EIU müssen demnach den Schulungsbedarf ihres Personals eigenständig ermitteln und durch ein Verfahren sicherstellen, dass Schulungen entsprechend den veränderten Bedingungen überarbeitet und aktualisiert werden.

Die in der TSI OPE formulierten Anforderungen stellen einen geeigneten und im Vergleich zur TfV konkreteren rechtlichen Rahmen zur Einführung und Weiterentwicklung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel des Tf dar. So legitimiert die TSI OPE u. a. die Vorhaltung elektronischer Fahrplan-, La- und Regelwerksunterlagen und forciert zudem eine Zusammenstellung notwendiger Unterlagen in einem einzigen, Triebfahrzeugführerheft genannten elektronischen Dokument. In Analogie zu § 54 Abs. 2 EBO liegt die Ermittlung und Erfüllung eines Schulungsbedarfes des Tf gemäß TSI OPE ebenfalls im Verantwortungsbereich des jeweiligen EVU. Somit ist die Kompetenzentwicklung im Zuge der Einführung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel Aufgabe des EVU. Wie in Abschnitt 5.1.2 ausgeführt, befürworten die Projektbearbeiter dieses Vorgehen, empfehlen der Aufsichtsbehörde jedoch, die generelle Notwendigkeit von Schulungen EVU-übergreifend mit dem Verweis auf § 54 Abs. 2 EBO sowie Abschnitt 4.6.3.2 TSI OPE zu thematisieren.

### 5.1.5 VDV-Betriebsregelwerk (BRW) für EVU

Der Begriff „Betriebsregelwerk“ bezeichnet gemäß TSI für das Teilsystem „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ (TSI OPE, Abschnitt 4.2.1.2.1 [310]) eine Sammlung wesentlicher betrieblicher Anweisungen für das Bahnbetriebspersonal und muss von einem EVU in eigener Verantwortung unter Einhaltung der in europäischen und nationalen Rechtsakten enthaltenen Sicherheitsbestimmungen erstellt werden.

Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) begann im Frühjahr 2013 damit, ein EVU-übergreifend gültiges Betriebsregelwerk zu erstellen. Die Erstausgabe des „VDV-Betriebsregelwerks EVU (BRW)“ erfolgte zum 13. Dezember 2015. Im Unterschied zum EVU-spezifischen Betriebsregelwerk Ril 418 (Tf-Heft) der Unternehmen DB Fernverkehr AG und DB Regio AG<sup>5</sup> (vgl. Abschnitt 5.1.6) zielt das BRW des VDV darauf ab, Grundsätze des Bahnbetriebs unternehmensübergreifend zu standardisieren. Über so genannte „gelbe Seiten“, d. h. gelb hinterlegte Zusatzseiten innerhalb des BRW, können EVU-spezifische Regelungen als zusätzliche Regelungen kenntlich gemacht werden. Die Verwendung des BRW sowie der farblich gekennzeichneten Zusatzseiten soll es einem EVU erleichtern, im Fall einer Übernahme von Fahrpersonalen eines Fremd-EVU die vorhandenen fachlichen Kompetenzen besser einschätzen und ggf. über die Notwendigkeit weiterer Schulungen entscheiden zu können [311].

Eine Prüfung des BRW (Ausgabe 30.11.2016) im Hinblick auf Regelungen zur Anwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel des Tf macht deutlich, dass in diesem Themengebiet bislang wenige Vorgaben getroffen wurden. Es kann keine EVU-übergreifende Standardisierung in Bezug auf die Verwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel festgestellt werden. Eine beispielhafter Abgleich von Regelungen des BRW ist dem Anhang (Tabelle 26) zu entnehmen.

Digitale Arbeits- und Hilfsmittel im Bereich des sicherheits- und instandhaltungsoptimierten Bahnbetriebs, etwa Diagnosesysteme im Tfz (BRW.6101) bzw. für Wagenzüge (z. B. Heißläufer) (BRW.6103) oder die elektronische Schadensmeldung (ESM) (BRW.6001), werden mit dem Verweis auf weitere Regelungen thematisiert. Die Bedienweise des Sicherheitssystems „automatische Stromabnehmer-Senkeinrichtung“ wird hingegen detailliert erläutert (BRW.6112). Der papierlose Bahnbetrieb wird zumeist mit dem Verweis auf Vorgaben des EVU erwähnt, z. B. das elektronische Melden, die Tablet-gestützte Synchronisierung, Quittierung und Anzeige betrieblicher Unterlagen sowie die Tablet-gestützte Anzeige der tagesaktuellen La (BRW.1001A02), oder fehlt gänzlich. Der Einsatz elektronischer Anzeigen wird jedoch grundsätzlich gestattet (BRW.1001A02). Digitale Technologien für den energie- und kapazitätsoptimierten Bahnbetrieb sind im BRW unter dem Begriff der Automatischen Fahr- und Bremssteuerung (AFB) enthalten (BRW.6101), Regelungen zu weiteren Fahrerassistenzsystemen werden nicht getroffen. Hinsichtlich eines technisch harmonisierten Bahnbetriebs durch digitale Anzeigegeräte und Technologien sind allgemeine Regelungen zur Elektronischen Fahrtenregistrierung (EFR) (BRW.6102), digitalen Führerraumanzeige (BRW.1120) sowie zum Zugfunk (BRW.1211) festzustellen. Digitale Technologien zur Erreichung eines personal- und kostenoptimierten Bahnbetriebs, z. B. die automatische Bremsprobe, automatische Zugintegritätsprüfung oder der automatisierte Zugbetrieb (vgl. Abschnitt 2.2.1.5), haben noch keine Umsetzungsreife erlangt und finden deshalb keinen Niederschlag.

Ein Vergleich von Inhalten des BRWs mit dem nachfolgend thematisierten Triebfahrzeugführerheft (Tf-Heft) der DB-Konzerntöchter DB Fernverkehr AG und DB Regio AG offenbart bei letzterem eine wesentlich gesteigerte Regelungstiefe hinsichtlich der Anwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel des Tf. Das BRW des VDV wurde zur Harmonisierung betrieblicher Verfahren erstellt, was dazu führt, dass häufig auf Regelungen des einzelnen EVU verwiesen wird. Wie vorangegangene Projektergebnisse zeigen, ergeben sich zwischen einzelnen EVU zum Teil größere Unterschiede bei dem gewählten Umfang digitalisierter Betriebsprozesse und Technologien des Informationsaustausches. Eine weitergehende Detaillierung der Regelungen des BRW würde daher dem Ziel eines für die meisten EVU anwendbaren Basis-Regelwerks widersprechen. Dennoch empfehlen die Projektbearbeiter, die technologische Entwicklung zu

---

<sup>5</sup> Das DB-interne BRW nach Ril 418.10-90 (Tf-Heft), welches zum 10.12.2017 in Kraft trat, wurde von den DB-Tochtergesellschaften DB Fernverkehr AG und DB Regio AG eingeführt. Das Regelwerk umfasst keine Regeln für die DB-Tochtergesellschaft DB Cargo.

verfolgen und mittelfristig auch im BRW genauere Regelungen über den Einsatz digitaler Arbeits- und Hilfsmittel zu treffen, sobald marktseitig eine Angleichung technischer Lösungen erkennbar wird.

### 5.1.6 Bahnbetriebliche Regelwerke DB-Ril 408 „Fahrdienstvorschrift“ und DB-Ril 418 „Triebfahrzeugführerheft“ (Tf-Heft) der DB AG

Die Deutsche Bahn AG kommt den Forderungen der TSI für das Teilsystem „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ (TSI OPE) zur Erstellung eines EVU-spezifischen bahnbetrieblichen Regelwerkes (im DB-Konzern Richtlinien genannt, kurz Ril) mit mehreren Regelwerksdokumenten nach. Auf Seiten des EIU DB Netz AG sowie des EVU DB Cargo existiert die Ril 408 „Fahrdienstvorschrift“ [312], wohingegen die EVU DB Fernverkehr AG und DB Regio AG die Ril 418 „Triebfahrzeugführerheft“ (Tf-Heft) [1] anwenden.

Die 576 Seiten umfassende Ril 408 (Fassung vom 10.12.2017 [312]) enthält in einem relativ geringen Umfang Regelungsinhalte für Tf, dabei handelt es sich um die Modulgruppen 408.21-27 sowie 408.48 (Abbildung 79). Beide Modulgruppen wurden vollständig in das Tf-Heft Ril 418 integriert.

Modulgruppe	Anwender	Geltung
408.01 - 06	Mitarbeiter EIU (Fdl, Ww)	Züge fahren (EIU-interne Regeln/Schnittstellen zum EVU)
408.11 - 16	Planer EIU (Ersteller örtl. Zusätze, Streckenbuch, Betra)	Züge fahren
408.21 - 27	EVU, Tf	Züge fahren (Regeln mit Schnittstellen zum EIU)
408.31 - 37	Planer EVU (Ersteller örtl. Zusätze, Streckenbuch)	Züge fahren
408.48	Mitarbeiter EIU und EVU (Fdl, Ww, Tf, Rb, Rg, Andere)	Rangieren
408.58	Planer EIU und EVU	Rangieren
408.81 - 89	bisher Mitarbeiter EVU	Züge fahren (Archivierte EVU-interne Regeln. EVU müssen entscheiden, ob sie diese Regeln oder eigene Regeln anwenden)
408.91 - 99	bisher Planer EVU	

Fdl – Fahrdienstleiter      Ww – Weichenwärter      Tf – Triebfahrzeugführer  
 Rb – Rangierbegleiter      Rg – Rangierer      Betra – Betriebs- und Bauanweisung

Abbildung 79: Struktur der Richtlinie 408 (eigene Darstellung nach [312], S. 2)

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich alleinig auf die Ril 418. Im Vergleich zur der erstmaligen Anwendung (Fassung vom 23.12.2010) durch die DB Fernverkehr AG wurde das DB-Regelwerk stetig er-

weitert und aktualisiert. Während die Verwendung von Tablets 2010 noch keine Erwähnung fand, enthält die derzeitige Version (Fassung vom 02.06.2017) zahlreiche Regelungen, die eine Nutzung solcher Anzeigeräte gestatten. Analog zum BRW des VDV wurde ein beispielhafter Abgleich von Regelungen der DB-Ril 418 vorgenommen, die dem Anhang (Tabelle 27) zu entnehmen sind.

Digitale Arbeits- und Hilfsmittel im Bereich des sicherheits- und instandhaltungsoptimierten Bahnbetriebs, etwa Diagnosesysteme im Tzf bzw. für den Zugverband (z. B. Detektion von Heißläufern) oder die elektronische Schadensmeldung (ESM), werden thematisiert. Die Bedienweise des Sicherheitssystems „automatische Stromabnehmer-Senkeinrichtung“ wird analog zum BRW des VDV detailliert erläutert. Im Vergleich zum BRW des VDV lassen sich detailreiche Regelungen im Themengebiet des papierlosen Bahnbetriebs feststellen, z. B. hinsichtlich des elektronischen Meldens, der Tablet-gestützten Synchronisierung, Quittierung und Anzeige betrieblicher Unterlagen sowie der Tablet-gestützten Anzeige der tagesaktuellen La. Obgleich weitere DB-Unterlagen mit Regelungen zur Anwendung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel existieren, z. B. eine „Schulungsunterlage Mobile Kommunikation“ [240] für die DB-eigene Softwareentwicklung Rail in Motion (Abschnitt 3.1.6), enthält die Ril 418 mehrere Module, welche die Nutzung von Tablets miteinbeziehen.

Digitale Technologien für den energie- und kapazitätsoptimierten Bahnbetrieb werden in der Ril 418 wieder analog zum BRW des VDV unter dem Begriff der Automatischen Fahr- und Bremssteuerung (AFB) betrachtet. Zudem finden sich detaillierte Regelungen zu der EBU-La-Funktionalität „Energiesparende Fahrweise“ (ESF). Das Fahrerassistenzsystem „LEADER“ (Abschnitt 3.1.5) bleibt unerwähnt, da die Nutzung der DB-Konzerntochter DB Cargo AG vorbehalten ist. Im Themengebiet des technisch harmonisierten Bahnbetriebs durch digitale Anzeigeräte und Technologien sind im Vergleich zum BRW des VDV detaillierter ausgeführte Regelungen zur Elektronischen Fahrtenregistrierung (EFR), zur digitalen Führerraumanzeige sowie zum digitalen Zugfunksystem GSM-R festzustellen. Digitale Technologien zur Erreichung eines personal- und kostenoptimierten Bahnbetriebs, z. B. die automatische Bremsprobe, automatische Zugintegritätsprüfung oder der automatisierte Zugbetrieb (vgl. Abschnitt 2.2.1.5), haben hingegen analog zum BRW des VDV noch keine Umsetzungsreife erlangt und finden deshalb keine Erwähnung. Als ein Teilsystem des automatisierten Bahnbetriebs wird lediglich die automatische Rangierkupplung thematisiert.

## 5.1.7 Richtlinien für das Bedienen von Triebfahrzeugen

Zusätzlich zum Triebfahrzeugführerheft (Tf-Heft) stellt die Deutsche Bahn AG ihren Tf unter der Regelwerks-Gruppe 493 triebfahrzeugspezifische Bedienungsanweisungen (so genannte Lokführerhandbücher) zur Verfügung. Inhalte der einzelnen Ril 493.xx werden im Zuge des Erwerbs von Fahrzeugkenntnissen geschult, die neben dem Besitz von Streckenkunde eine notwendige Voraussetzung für das Führen von Tzf sind. Am Beispiel der mehrsystemfähigen Elektrolokomotive „Siemens Vectron“ (im Folgenden Vectron genannt) soll gezeigt werden, in welchem Umfang digitale Bedienelemente und Hilfsmittel Berücksichtigung finden. Eine tabellarische Auflistung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel ist dem Anhang zu entnehmen (Tabelle 28).

Im Themengebiet des sicherheits- und instandhaltungsoptimierten Bahnbetriebs sind die im Vectron installierten digitalen Diagnosesysteme hervorzuheben. Das Lokführerhandbuch enthält in größerem Umfang Hinweise über automatisch identifizierte Störungen, Diagnosemeldungen am TDD-Führerraumdisplay sowie Maßnahmen zur Fehlerbehebung. Die Datenfernübertragung von Diagnose- und Betriebsdaten sowie von Standortdaten des Vectrons via GSM, UMTS und GPS stellt eine Funktionalität des bordseitigen Diagnosesystems dar. Es existieren Hinweise zur Darstellungsweise möglicher Fehlfunktionen und Maßnahmen zur Fehlerbehebung im Zusammenhang mit dem Zugsicherungssystem ETCS. Ebenfalls im Themenfeld des sicherheits- und instandhaltungsoptimierten Bahnbetriebs anzusiedeln sind digitale Rückschauenrichtungen, sodass ein Hinausschauen des Tf aus dem Seitenfenster entfallen kann. Das

Themengebiet des papierlosen Bahnbetriebs wird durch eine Erwähnung des Einbauortes für das EBUa-Bordgerät im Führertisch repräsentiert. Einbau- bzw. Fixiermöglichkeiten für weitere stationäre oder mobile Anzeigeräte des Tf bleiben unerwähnt. Im Bereich des energie- und kapazitätsoptimierten Bahnbetriebs stellt das Lokführerhandbuch Informationen zum Siemens-Fahrerassistenzsystem (FAS) „Vectron Eco Cruise“ zur Verfügung. Aus den Erläuterungen geht eine technische Verknüpfung des FAS mit der ebenfalls vorhandenen AFB hervor. Ein Rechenprogramm ermittelt auf der Basis von Strecken-, Fahrplan- und Zugdaten optimale Sollgeschwindigkeiten ( $V_{\text{Soll}}$ ), die anschließend per AFB umgesetzt werden. Unklar ist, wie der Tf im Fall eines koexistierenden Systems „Energiesparende Fahrweise“ (ESF) der Deutschen Bahn verfahren soll. In das Themenfeld des technisch harmonisierten Bahnbetriebs fügen sich die Erläuterungen zu ETCS-Anzeigen und zu dem digitalen Zugfunk GSM-R. Die Anordnung der Display-Anzeigen CCD und TDD, des GSM-R-Bordgerätes sowie der elektronischen Fahrplananzeige (E-BuLa-Bordgerät) des Vectrons entspricht dem europaweit für elektrische Tfz gültigen Standard. Digitale Technologien des personal- und somit kostenoptimierten Bahnbetriebs sind kein Bestandteil der Basisausstattung des Tfz.

Die Betrachtung des triebfahrzeugspezifischen Regelwerks am Beispiel des Siemens Vectron zeigt einen vielfältigen Einsatz digitaler Diagnoseeinrichtungen sowie digitaler Zugbeeinflussungssysteme entsprechend den europäischen Interoperabilitätsbestimmungen. Der papierlose Bahnbetrieb wird triebfahrzeugseitig in geringerem Ausmaß unterstützt. Die Integration einer EBUa-Fahrplananzeige stellt lediglich eine Möglichkeit des papierlosen Bahnbetriebs dar, während eine Integration zusätzlicher ortsfester oder mobiler Anzeigen im Führerstand bislang kein Gegenstand des Lokführerhandbuches ist.

## 5.2 Regelungen zur Gewährleistung von Datenschutz und Datensicherheit

Die Aspekte des Datenschutzes und der Datensicherheit standen nicht im Fokus der bisherigen Ausführungen und würden im Fall einer detaillierten Betrachtung den Rahmen des Projektberichts überschreiten. Es bleibt anzumerken, dass neben einer technisch-arbeitswissenschaftlichen Betrachtungsweise weitere Aspekte untersucht werden sollten, um Auswirkungen der Digitalisierung auf den Eisenbahnbetrieb zu beurteilen. Die Erfahrungen der Vergangenheit haben gezeigt, dass die Funktionalität verhältnismäßig neuer digitaler Arbeits- und Hilfsmittel auch durch gesetzliche Anforderungen an den Datenschutz beschränkt wird. So ist die Überwachung personenbezogener Handlungen in der Regel nicht gestattet. Eine weitere Restriktion ergibt sich durch Anforderungen an eine sichere Datenübertragung über eine gesamte Prozesskette. Im Folgenden werden einzelne Aspekte des Datenschutzes sowie der Datensicherheit mit der Nutzung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel des Tf in Verbindung gebracht.

### 5.2.1 Beschäftigtendatenschutz im Rahmen digitalisierter Betriebsprozesse

Die Belange des Datenschutzes in Unternehmen werden gesetzlich und im Rahmen von Betriebsvereinbarungen unter dem Schlagwort des Beschäftigtendatenschutzes geregelt. Auf der gesetzlichen Ebene trat am 25.5.2018 das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) in Kraft [313]. Nachführende Inhalte thematisieren Eckpunkte des BDSG und den rechtlichen Rahmen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten des Tf.

Ein wesentlicher Regelungsbestandteil des BDSG ist die Verarbeitung personenbezogener Daten von Beschäftigten. Der Gesetzgeber definiert grundsätzlich sämtliche Informationen, die sich auf eine identifizierbare Person beziehen, als personenbezogene Daten. Eine personenbezogene Zuordnung findet

auch indirekt, z. B. via Standortdaten, Kennnummern oder Online-Kennungen (§ 46 Nr. 1 BDSG), statt. Eine Verarbeitung personenbezogener Daten ist u. a. dann gegeben, wenn diese Daten erhoben, erfasst, geordnet, gespeichert, übermittelt oder ausgewertet werden (§ 46 Nr. 2 BDSG). Die Verarbeitung personenbezogener Daten von Beschäftigten ist in der Regel nur zulässig, wenn dies für die Begründung, Durchführung oder Beendigung eines Beschäftigungsverhältnisses erforderlich ist. Welche Umstände auf Seiten des Arbeitgebers genau eintreten müssen, sodass diese Erforderlichkeit entsteht, ist Gegenstand der laufenden Rechtsprechung. Eine Zulässigkeit ist zudem gegeben, wenn die Verarbeitung den Interessensvertretungen der Beschäftigten (z. B. dem Betriebsrat) dient (§ 26 Abs. 1 BDSG). In jedem Fall sind Vorkehrungen zu treffen, um so wenig personenbezogene Daten wie möglich zu verarbeiten und diese zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu anonymisieren. Es dürfen nur solche personenbezogenen Daten verarbeitet werden, die für den bestimmten Verarbeitungszweck erforderlich sind. Organisatorische Maßnahmen müssen gewährleisten, dass diese Daten nicht in automatisierter Weise beliebig vielen Personen zugänglich gemacht werden können (§ 71 BDSG). Im Hinblick auf die Sicherheit bei der Datenverarbeitung kann es gemäß § 64 Abs. 2 BDSG erforderlich sein, dass Daten pseudonymisiert und verschlüsselt werden.

Die in vorangegangenen Abschnitten analysierten digitalisierten Betriebsprozesse erfordern in den meisten Anwendungsfällen personenbezogene Daten. Dies betrifft z. B. die Anmeldung mithilfe von Kennnummern für Tablet- Anwendungen zum Zweck der Autorisierung und die Eingabe von Kennnummern für die Elektronische Fahrtenregistrierung (EFR) oder für Fahrerassistenzsysteme des energieeffizienten Fahrens. Auch eine permanente Ortung des Tzf in Verbindung mit einer Aufzeichnung von Bedienhandlungen einzelner Personale ist als eine Verarbeitung personenbezogener Daten anzusehen. Ein weiteres Beispiel ist der willensunabhängige Notruf als Komponente der Schutzausrüstung des Lokrangierpersonals, welcher es potenziell ermöglicht, Personal zu orten. Das BDSG gestattet diese Anwendungsfelder, sofern der Umgang mit personenbezogenen Daten auf der Grundlage betrieblicher Kollektivvereinbarungen geregelt wird (§ 26 Abs. 4 BDSG).

Im beispielhaften Fall der Deutschen Bahn AG wurde im Jahr 2010 eine solche Kollektivregelung unter dem Titel „Konzernbetriebsvereinbarung Beschäftigtendatenschutz im DB-Konzern“ (KBV BDS) beschlossen [314]. Eine 2016 veröffentlichte Studie der Hans-Böckler-Stiftung zum Datenschutz im DB-Konzern weist darauf hin, dass insbesondere mit dem Verbot der Nebendatenverarbeitung (§ 9 KBV BDS) wirksame Schranken für die Weiterverarbeitung personenbezogener und insbesondere mithilfe mobiler Endgeräte erfasster Daten vereinbart wurden [315]. Die Nebendatenverarbeitung verbietet dabei „eine Verwendung personenbezogener Beschäftigungsdaten außerhalb führender und kollektivrechtlich geregelter Systeme und Verfahren“, z. B. in Excel-Tabellen oder Access-Datenbanken. Die Anwendung zentraler Datenbanksysteme soll dagegen mehr Transparenz und einen wirksamen Datenschutz gewährleisten. In der Vergangenheit hat die Deutsche Bahn AG vielfach neue Back-End-Lösungen für die zentrale Datenverwaltung geschaffen, etwa im Rahmen der Software-Einführung „Rail in Motion“. Aufgrund der zunehmend flächendeckend erfolgenden Einführung neuer digitaler Arbeits- und Hilfsmittels des mobilen DB-Personals ist davon auszugehen, dass die geltende KBV BDS in Bälde weiter konkretisiert wird.

## 5.2.2 Datensicherheit im Rahmen digitalisierter Betriebsprozesse

Das Thema Datensicherheit stellt die Eisenbahnbranche vor eine generelle Herausforderung. Die wachsende Bedeutung der im Projektbericht thematisierten digitalen Anwendungen geht mit einem wachsenden Handlungsdruck beim Thema Datensicherheit einher. Dies betrifft auch den Einsatz digitaler Arbeits- und Hilfsmittels des Tf. Nicht alle digitalen Systeme, die technisch ausgereift sind und eine entsprechend hohe Verfügbarkeit aufweisen, sind gegenüber kriminellen Bedrohungen ebenso ausfallsicher. Der digitalisierte Eisenbahnbetrieb nutzt zahlreiche Anwendungen, die im Fall einer Manipulation durch kriminelle Cyberangriffe sicherheitskritische Zustände annehmen könnten. So werden beispielsweise Angaben zu Geschwindigkeitsherabsetzungen, sicherheitsrelevante Informationen zum Zustand einer zu

befahrenen Strecke und weitere kritische Informationen per Datenfernübertragung auf mobile Endgeräte transferiert. Weiterhin ist die tagesaktuelle Synchronisierung betrieblicher Dokumente als eine Übertragung sicherheitskritischer Informationen zu bewerten. Eine sichere Datenübertragung steht auch im Bereich der Zugsteuerung, -sicherung und Signalgebung im Fokus, etwa im Rahmen der Entwicklung des europäischen Zugsicherungssystem ETCS sowie des digitalen Kommunikationssystems GSM-R. Die zukünftig flächendeckend geplante Ortung von Schienenfahrzeugen, eine schon heute vorhandene Zustandssensorik am Tzf und einige weitere digitale Technologien erfordern Schutzmaßnahmen, um die Datenintegrität gegenüber externen Angriffen zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten.

Werden Möglichkeiten der Cyberkriminalität analysiert, sind vielfältige Bedrohungsszenarien für IT-Systeme der Eisenbahn denkbar. Experten für Cyber-Sicherheit empfehlen in diesem Zusammenhang, mögliche Schwachstellen systematisch zu untersuchen und anhand möglicher Folgewirkungen eines Cyber-Angriffs zu bewerten. Cyber-Attacks können eine Verschlechterung der wirtschaftlichen Effektivität bis hin zu einem Verlust der Funktionssicherheit und -zuverlässigkeit von (Teil-)Systemen zur Folge haben [316]. Schwachstellen ergeben sich z. B. infolge nachfolgend aufgelisteter Angriffspunkte (Tabelle 16).

TABELLE 16: MÖGLICHE ANGRIFFPUNKTE FÜR CYBERKRIMINALITÄT UND SICHERHEITSMÄßNAHMEN (EIGENE DARSTELLUNG IN ANLEHNUNG AN [316])

Mögliche Angriffspunkte	Möglichkeiten zur Identifikation von Schwachstellen
<b>Authentifizierungs- und Zugriffskontrollmechanismen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse standardmäßiger und fester Passwörter</li> <li>▪ Analyse kryptografischer Schlüssel</li> </ul>
<b>Datenübertragung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse der Netzkommunikation</li> <li>▪ Analyse von Drahtlosverbindungen, z. B. WLAN, GSM-R</li> </ul>
<b>Konfigurationsdaten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manuelle oder automatisierte Analyse von Komponenten, z. B. Netzwerkgeräte, Betriebssysteme</li> <li>▪ Prüfung, ob Herstellerempfehlungen und Konfigurationsstandards eingehalten werden</li> </ul>
<b>Programmierfehler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manuelle oder automatisierte Analyse von Codes</li> </ul>
<b>Sicherheitsmängel bei externen Betreibern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überwachung der Arbeit externer Betreiber</li> <li>▪ Prüfung, ob z. B. Beschränkungen der graphischen Benutzeroberfläche umgangen werden</li> </ul>
<b>Systemwartung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse von Wartungsverfahren und -tools</li> <li>▪ Test der Effektivität von Sicherheitsmechanismen</li> </ul>

Wird das digitale Teilsystem „Tablet-Anwendung“ beispielhaft betrachtet, können zahlreiche Anforderungen abgeleitet werden, um die Datensicherheit zu gewährleisten. So müssen alle Tablet-Anwendungen passwortgeschützt sein, Passwörter sind in regelmäßigen Zyklen zu ändern und Standardpasswörter zu vermeiden. Die Netzkommunikation ist grundsätzlich zu verschlüsseln, um eine Manipulation versendeter Informationen zu verhindern. Insbesondere Drahtlosnetzwerke müssen abhörsicher gestaltet werden. Die eingesetzten Tablets müssen sowohl hardware- als auch softwareseitig dem Stand der Technik entsprechen. Dies schließt ein automatisches Updateverhalten des Betriebssystems sowie der Programmsoftware ein, aber auch verwendeter Schutzmaßnahmen wie Antivirenprogramme. Eine Installation von Schadprogrammen ist zwingend zu verhindern. Die angewandten Back-End-Systeme, z. B.

Datenbankanwendungen, sind auf mögliche Programmierfehler zu untersuchen, die Einfallstore für Cyberattacken darstellen könnten. Sofern die eingesetzte Soft- und Hardware unternehmensextern gewartet und weiterentwickelt wird, ist sicherzustellen, dass externe Dienstleister ebenfalls Sicherheitsvorkehrungen treffen, um Datenlecks oder Ähnliches auszuschließen. Auch sind Tf als Tablet-Anwender gegenüber Cyber-Gefahren und möglichen Folgewirkungen zu sensibilisieren. Diese Sensibilisierungsstrategie kann dazu beitragen, Tablet-Anwender davon abzuhalten, sicherheitsnotwendige Einschränkungen mancher Tablet-Funktionalitäten zu umgehen. Eine fehlende Akzeptanz dieser Einschränkungen könnte hingegen dazu führen, dass Tablets nicht bestimmungsgemäß genutzt und somit zu Schwachstellen für Cyber-Angriffe werden. Aus Sicht der Betreiber von Tablet-Anwendungen ist zu beachten, dass eine Überwachung des Nutzerverhaltens zur Identifizierung möglicher Fehlbedienungen aus Datenschutzgründen verboten ist. Tablet-Geräte sind jedoch regelmäßig zu warten, wobei eine Wartung über die reine Aktualisierung von Programmbestandteilen hinausgehen sollte. Denkbar ist z. B. eine Prüfung von Sicherheitsfunktionen oder ein regelmäßiges Löschen nicht benötigter System- oder Programmdateien durch einen Systemadministrator. Im Fall vermuteter oder identifizierter Datenlecks, nach einem Verlust des Gerätes oder im Fall anderer Pannen sind wirksame Sicherheitsmechanismen vorzusehen, um weiterhin zu gewährleisten, dass das Gesamtsystem sicher funktioniert. Die vorgesehenen Sicherheitsmechanismen sollten regelmäßig getestet und dem Stand der Technik entsprechend fortentwickelt werden.

## 5.3 Regelungen zur Haftung

Mit der Einführung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel für Tf und weitere Bahnbedienstete ergeben sich neben den genannten Regelungsbereichen haftungsrechtliche Fragestellungen. Die Verwendung von Smartphones und Tablets als Arbeitsmittel im Tfz und eine ggf. zusätzlich vorgesehene Nutzung des Arbeitsmittels für den Privatgebrauch setzt voraus, dass geklärt ist, welche Partei bei möglichen Schadens- oder Verlustfällen aufkommt. Der bestimmungsgerechte Umgang sowie eine zweckentsprechende Aufbewahrung des Smartphones und Tablets ist Bestandteil betrieblicher Vereinbarungen, aus denen sich Haftungsfolgen ableiten lassen.

Im Dezember 2016 unterzeichneten der Arbeitgeber- und Wirtschaftsverband der Mobilitäts- und Verkehrsdienstleister e. V. (Agv MoVe) und die Eisenbahn- und Verkehrsgewerkschaft (EVG) einen „Tarifvertrag zur Zukunft der Arbeit im Rahmen der Digitalisierung im DB-Konzern“, kurz TV Arbeit 4.0 EVG 2016 [317]. Dieser enthält einen Verweis auf die geltenden gesetzlichen sowie tarifvertraglichen Haftungsbestimmungen sowie eine Regelung zur Haftung von Schäden am Arbeitsmaterial des Arbeitgebers, die außerhalb der Arbeitsstätte erfolgt sind (§ 15 Abs. 1f. TV Arbeit 4.0 EVG 2016):

„Die Haftung des in mobiler Telearbeit beschäftigten Arbeitnehmers richtet sich nach den jeweils geltenden gesetzlichen und tarifvertraglichen Haftungsbestimmungen, insbesondere nach § 20 BasisTV.“ (§ 15 Abs. 1 TV Arbeit 4.0 EVG 2016)

„Bei Schäden, die durch mit dem Arbeitnehmer in häuslicher Gemeinschaft lebende Personen oder berechtigte Besucher am Eigentum des Arbeitgebers verursacht werden, gelten die Grundsätze gemäß Abs. 1 gleichermaßen, sofern nicht eine Haftpflichtversicherung für den Schaden vorrangig in Anspruch genommen werden kann.“ (§ 15 Abs. 2 TV Arbeit 4.0 EVG 2016)

Tarifvertragliche Haftungsbestimmungen enthält z. B. ein derzeit geltender „Tarifvertrag für Lokomotivführer von Schienenverkehrsunternehmen des Agv MoVe“ (LfTV), der am 10. März 2017 von der Agv MoVe sowie der Gewerkschaft Deutscher Lokomotivführer (GDL) unterzeichnet wurde. Hierin heißt es in § 20 Abs. 1 LfTV:

„Der Arbeitnehmer haftet für den bei der Arbeitsleistung verursachten Schaden bei Vorsatz und Fahrlässigkeit, ausgenommen bei leichter Fahrlässigkeit. Die Haftung richtet sich nach den gesetzlichen Bestimmungen und den von der Rechtsprechung entwickelten Grundsätzen.“

Am Beispiel der für DB-Mitarbeiter geltenden tarifvertraglichen Haftungsbestimmungen ist festzustellen, dass es dem Arbeitgeber obliegt, im Schadensfall Tatbestände des Vorsatzes oder der Fahrlässigkeit zu überprüfen und finanzielle Folgen abzuwenden. Liegt der Schadensort im privaten Umfeld des Arbeitnehmers, ist der Schaden vorrangig über eine private Haftpflichtversicherung abzuwickeln.

## 6 Zusammenführung der Ergebnisse

In Kapitel 2 wurden aktuelle Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zum Thema Digitalisierung von Arbeitsprozessen des Verkehrsbetriebspersonals mit dem Fokus auf den Verkehrsbranchen Eisenbahnbetrieb, ÖSPV, See- und Binnenschifffahrt sowie Luftverkehr aufbereitet. Ergänzend wurden die Branchen Energiewirtschaft, Telekommunikation und Werkzeugmaschinenbau betrachtet. Aufgrund der Vielzahl bestehender Forschungs- und Entwicklungsprojekte war es notwendig, Digitalisierungsoptionen und bestehende Technologieansätze in funktionale Teilbereiche zu untergliedern.

Die Ergebnisse der Recherchen in der Verkehrsbranche Eisenbahnbetrieb zeigen, dass die Mehrheit der betrachteten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in die Bereiche Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierung sowie Personal- und Kostenoptimierung einzuordnen sind. Eine vergleichsweise geringe Zahl der identifizierten Projekte widmet sich schwerpunktmäßig dem papierlosen, energie- und kapazitätsoptimierten oder technisch harmonisierten Bahnbetrieb durch den Einsatz digitaler Technologien (Abbildung 80).

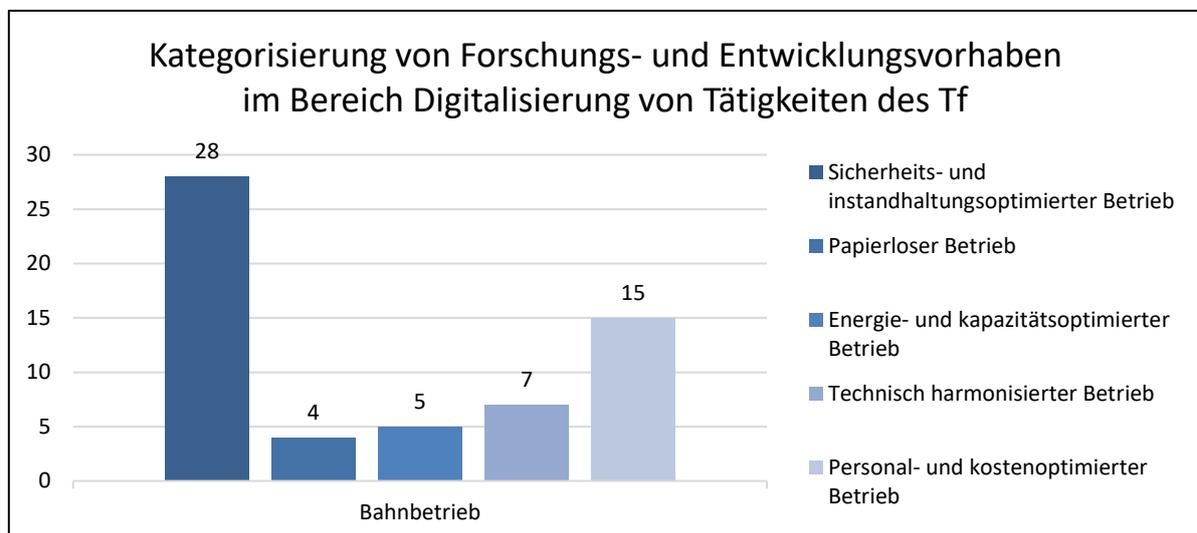


Abbildung 80: Kategorisierung identifizierter Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Digitalisierung von Betriebsprozessen im Eisenbahnwesen (eigene Darstellung)

Die im Vergleich zum Straßenverkehr höheren Sicherheitsanforderungen und der damit einhergehende finanzielle Aufwand für Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben bewegen EVU und Fahrzeughersteller dazu, die digitale Technologien Sensorik, Datenfernübertragung, -auswertung sowie neuartige Prognoseverfahren intensiv zum Zweck der prädiktiven bzw. zustandsbasierten Instandhaltung zu testen und zu nutzen. Es ist ein regelrechter Boom bei Produktentwicklungen festzustellen, die mittelfristig die bisher bekannten Diagnosesysteme durch technologisch ausgereifere Lösungen ersetzen könnten. Perspektivisch bedeutet dies für den Tf u. a. ein Zuwachs visuell per Displayanzeigen übermittelter Systemzustände und eine gestiegene Verantwortung bei der Abwendung zu erwartender Schadensereignisse. Neben sicherheits- und Instandhaltungsoptimierenden digitalen Technologien verfolgen EVU und Fahrzeughersteller langfristig eine Strategie, die Personalintensität des Eisenbahnbetriebs durch automatisierte Lösungen zu reduzieren. In Anbetracht aktueller Forschungsergebnisse im Bereich automatisierter und vernetzter Rangiersysteme erwarten die Projektbearbeiter, dass zunächst Tätigkeiten des Rangierers bzw. Lokrangierführers rationalisiert werden. Langfristig ist davon auszugehen, dass die Forschung im Bereich der Automatic Train Operation (ATO) auch im Streckendienst einen fahrerlosen Zugbetrieb ermöglicht, wobei die genaue technische Konfiguration dabei noch nicht absehbar ist.

Angesichts dieser wirtschaftlich besonders erfolgsversprechenden Digitalisierungsfelder wird festgestellt, dass weiteren bahnspezifischen Digitalisierungsprojekten, nämlich in den Bereichen des papierlosen, energie- und kapazitätsoptimierten sowie technisch harmonisierten Bahnbetriebs, in der Fachöffentlichkeit weniger Aufmerksamkeit zuteilwird. Die umfassende Digitalisierung der vornehmlich papierbasierten Kommunikationswege des Tf mithilfe mobiler Endgeräte, eine zunehmende Ausstattung von Tzf-Führerräumen mit Anzeigen für das energieeffiziente Fahren sowie europäisch harmonisierte Anzeigen für die Europäische Zugbeeinflussung (ETCS) sind dennoch keine Randentwicklungen, sondern wesentliche Technologiesprünge, die eine gesteigerte betriebliche Effizienz versprechen.

Die Rechercheergebnisse zum Thema Digitalisierung von Arbeitsprozessen in anderen Verkehrsbranchen zeigen zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit ähnlichen Voraussetzungen und Zielvorstellungen (Abbildung 81). Durch einen branchenübergreifenden Austausch könnten sich für Stakeholder neue Technologiekooperationen und beschleunigte Lerneffekte einstellen. Für die Eisenbahnbranche wären z. B. Kooperationen mit der ÖSPV-Branche möglich, die derzeit u. a. eine Fahrwegüberwachung von Straßenbahnen mithilfe neuartiger Sensortechnologien, erweiterte Funktionalitäten der ITC-Systeme an Fahrercockpits oder den autonomen Fahrbetrieb mit Bussen entwickelt. Die See- und Binnenschifffahrt erzielte grundlegende Erfahrungen mit dem europäischen Satellitennavigationssystem GALILEO, das derzeit auch in EU-Forschungsprojekten hinsichtlich möglicher Bahnwendungen untersucht wird. Umfassend entwickelte digitale Systeme im Hafenbetrieb zielen auf eine optimale Kapazitätsausnutzung der Infrastrukturen ab und könnten auch für den Anwendungsfall Rangierbahnhof oder den Containerumschlag im Kombinierten Verkehr geeignet sein. Im Luftverkehr, einer ebenfalls durch besonders hohe Sicherheitsanforderungen geprägten Verkehrsbranche, wurden in jüngster Vergangenheit z. B. neue Cockpit-Assistenzsysteme erprobt, die hinsichtlich der zu übermittelnden Informationen Parallelen mit Fahrempfehlungen für den Tf aufweisen.

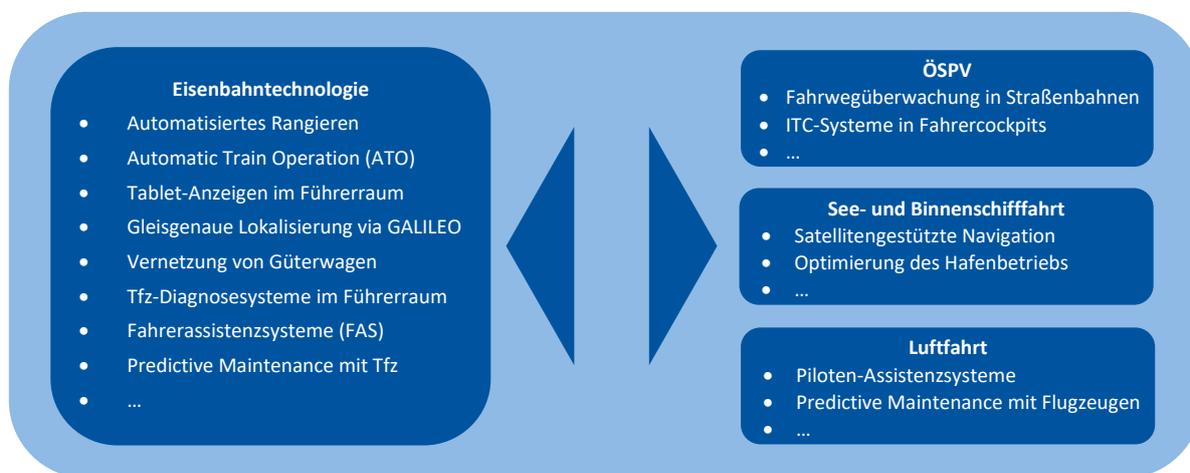


Abbildung 81: Mögliche technologische Kooperationsfelder der Verkehrsbranchen Eisenbahn, ÖSPV, See- und Binnenschifffahrt sowie Luftfahrt im Bereich Digitalisierung betrieblicher Prozesse (eigene Darstellung)

Auch die eigentlich verkehrsfernen Branchen Energiewirtschaft und Telekommunikation weisen teilweise Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf, die auf bahnspezifische Anwendungen übertragen werden könnten. So wurden beispielsweise Forschungsvorhaben im Bereich des Predictive Maintenance und der Big Data-Analyse beweglicher Komponenten an Windkraftanlagen identifiziert mit dem Ziel, den Instandhaltungsaufwand effizienter abzuwickeln. Neuartige digitale Übertragungstechnologien im Rahmen von 5G, Verschlüsselungstechnologien oder Cloud-Computing erweisen sich trotz unterschiedlicher Entwicklungsstadien als zukunftsweisend für den Bahnverkehr, sodass Forschungsergebnisse der Telekommunikationsbranche im Bahnsektor beachtet werden sollten. Inhaltliche Bezüge zwi-

schen den Branchen Bahnbetrieb sowie Werkzeugmaschinenbau lassen sich im Bereich der menschenzentrierten Ausgestaltung von Nutzerschnittstellen herstellen. Digitale Technologien zur Maschinensteuerung weisen teilweise eine ergonomisch optimierte Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine auf und könnten z. B. bei der Gestaltung von Displayanwendungen im Tfz-Führerraum Anwendung finden.

Ziel des Kapitels 3 war zunächst eine Darstellung derjenigen bahnbetrieblichen Prozesse, bei denen Tf bereits heute über digitale Arbeits- und Hilfsmittel verfügen. Die in Deutschland eingesetzten Zugbeeinflussungssysteme PZB und LZB sowie das europäisch harmonisierte System ETCS stellen derzeit die bedeutsamsten digitalen Komponenten im Tfz-Führerraum dar. Während die zugehörigen Rechner außerhalb des Sichtfeldes des Tf verbaut sind, befinden sich – konfigurationsabhängig – verschiedenartige Anzeigen, Taster und Displayanzeigen im Blickfeld des Tf. Die in europäischer Entwicklungszusammenarbeit entstandene ETCS-Führerraumanzeige gilt dabei hinsichtlich des allgemeinen Funktionsumfangs als die komplexeste Anzeigemodalität. Zur Visualisierung der zulässigen Geschwindigkeit verfügt diese neben klassischen numerischen Anzeigeelementen über sicherheitsrelevante Farbdarstellungen entlang des Tachokreises. Als weitere digitalisierte Betriebsprozesse neben der Bedienung von Zugbeeinflussungssystemen wurden das digitale Bahn-Kommunikationssystem GSM-R, bestehende Sensor- und Diagnosetechnologien, der Elektronische Buchfahrplan und Langsamfahrstellen (EBuLa), ein Fahrerassistenzsystem zum energiesparenden Fahren sowie unterschiedliche Tablet-Anwendungen im Führerraum dargestellt. Dabei war insbesondere die Beschreibung des Funktionsumfangs von Tablet-Anzeigen eine wichtige Grundlage für die anschließende arbeitswissenschaftliche Analyse digitaler Arbeits- und Hilfsmittel.

Weiterhin wurden in Kapitel 3 sicherheitsrelevante Auswirkungen durch die Nutzung digitaler Arbeitsmittel am Beispiel der Tablet-Nutzung analysiert. Die Durchführung einer Risikobewertung der Tablet-Nutzung gemäß Risikomanagementverfahren nach VO (EU) Nr. 402/2013 offenbart verschiedene Gefährdungen und notwendige Sicherheitsmaßnahmen. Zentral war die anschließende Risikoevaluierung der verbleibenden Gefährdungen anhand der Kriterien Auftretenswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß. Es zeigt sich, dass Gefährdungen durch die Nutzung von Tablets am Tf-Arbeitsplatz insgesamt als tolerabel anzusehen sind, wenn adäquate Sicherheitsmaßnahmen zur Anwendung kommen. Jedoch wird festgestellt, dass eine mögliche Ablenkung des Tf durch die nicht bestimmungsgerechte Nutzung des Tablet-Gerätes zu ausbleibenden bzw. fehlerhaften Handlungen des Tf mit katastrophalen Folgewirkungen führen könnte. Das Ablenkungspotenzial mobiler Endgeräte im Führerraum entzieht sich dabei grundsätzlich einer Überwachung durch den Arbeitgeber, sodass dieser an das Verantwortungsbewusstsein der Mitarbeiter appellieren muss. Die Projektbearbeiter sprechen sich dafür aus, die möglichen Konsequenzen einer Ablenkung im Rahmen von Fortbildungen regelmäßig zu thematisieren.

In Kapitel 4 wurden auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche zum Forschungsgegenstand sowie der Betrachtung relevanter Betriebsprozesse im Eisenbahnwesen die Auswirkungen digitalisierter Betriebsprozesse auf die Betriebsbeamten und insbesondere auf den Tf untersucht. Ausgehend vom derzeitigen Stand der Digitalisierung im Eisenbahnbetrieb ist zu konstatieren, dass vor allem folgende Herausforderungen bestehen: (1) derzeitige Führerraumanzeigen verfügen über eine eingeschränkte Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit, (2) die Befestigung der von verschiedenen EVU bereits implementierten mobilen Endgeräte im Führerraum entspricht nicht den ergonomischen Kriterien hinsichtlich des Seh- und Greifraums und (3) die mittels der mobilen Endgeräte visualisierten Informationen verfügen in der Regel über keine zeit- und ortsabhängige Priorisierung von Informationen.

Die beschriebenen Aspekte führen potentiell zu negativen Auswirkungen wie Medienbrüchen zwischen Printmedien, herkömmlichen Führerraumanzeigen und Informationsvisualisierungen mittels mobiler Endgeräte, einer Informationsflut von nicht priorisierten Daten, einer visuellen Mehrfachbelastung und

einer Ablenkung der Betriebsbeamten einhergehend mit negativen Implikationen bzgl. der Aufmerksamkeit und Fahrleistung (Abbildung 82). Hieraus leiten sich Handlungsfelder ab um Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit und somit die betriebliche Sicherheit im Eisenbahnbetrieb zu erhöhen.

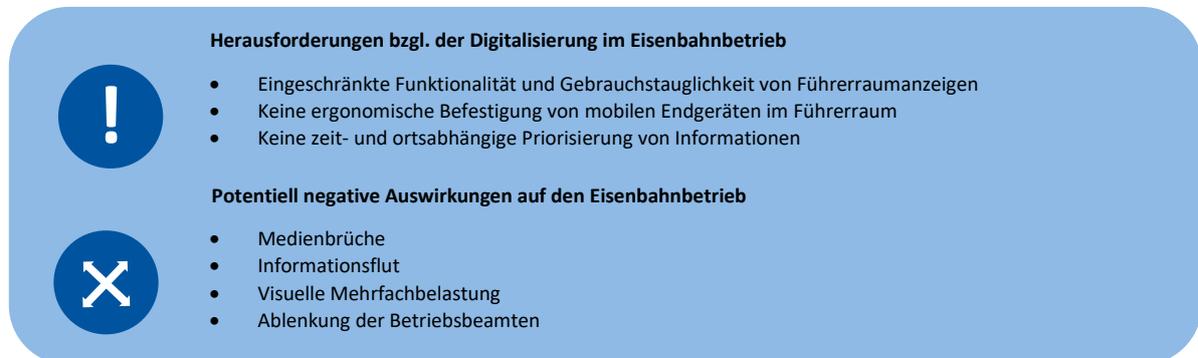


Abbildung 82: Herausforderungen bzgl. der Digitalisierung im Eisenbahnbetrieb und potentiell negative Auswirkungen auf den Eisenbahnbetrieb (eigene Darstellung)

Um den beschriebenen Herausforderungen bzgl. der Digitalisierung im Eisenbahnbetrieb und potentiell negativen Auswirkungen auf den Eisenbahnbetrieb zu begegnen, werden ein kurz- bis mittelfristiger Ansatz als Übergangslösung sowie ein mittel- bis langfristiger Ansatz als optimierte Lösung empfohlen (Abbildung 83).

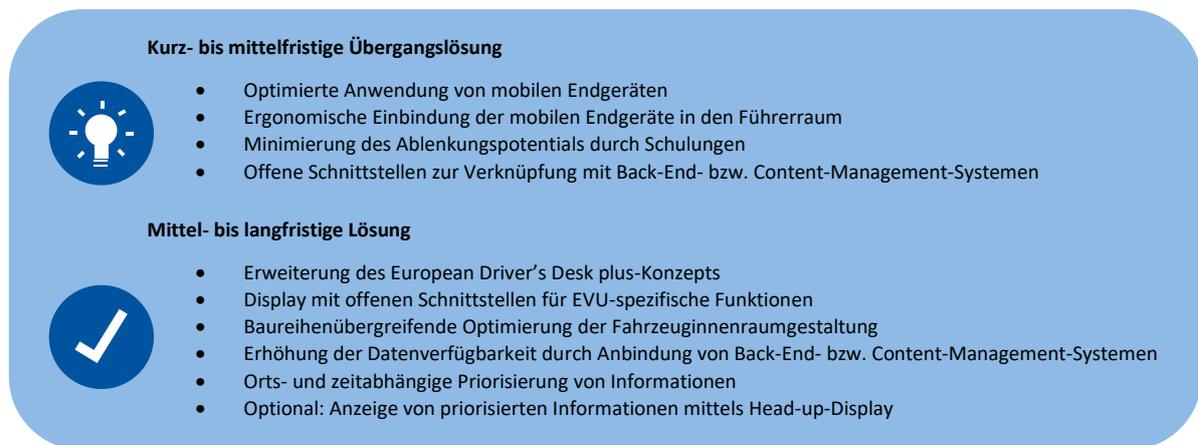


Abbildung 83: Lösungsansätze bzgl. der Digitalisierung im Eisenbahnbetrieb (eigene Darstellung)

Als kurz- bis mittelfristige Übergangslösung wird die optimierte Anwendung von mobilen Endgeräten vorgeschlagen. Die Optimierung umfasst Verbesserungen hinsichtlich der ergonomischen Einbindung der mobilen Endgeräte in den Führerraum unter Berücksichtigung der Seh- und Greifräume, die Minimierung des Ablenkungspotenziales mobiler Endgeräte durch Qualifizierungs- bzw. Schulungsmaßnahmen sowie die Forcierung offener Schnittstellen zur Vernetzung von Back-End- bzw. Content-Management-Systemen mit Applikationen auf den mobilen Endgeräten.

Als mittel- bis langfristige Lösung wird die Erweiterung des European Driver's Desk plus-Konzepts mit bislang vier (standardisierten) Driver-Machine-Interfaces (Train Radio Display, Electronic Time-table Display, Control Command Display und Technical and Diagnostic Display) um ein von den EVU flexibel nutzbares fünftes Display („Erweiterter 4+1 Einheitsführerraum“) empfohlen. Eine potentielle Grundlage hierfür stellt der in Abbildung 24 dargestellte Führerraum des ICE 4 mit fünf Displays dar. Diesbezüglich

ist zu berücksichtigen, dass das fünfte Display sich einerseits in den standardisierten Einheitsführerraum einfügen und andererseits mittels offener Schnittstellen EVU-spezifische Funktionen bieten können sollte. Die Erweiterung des EUDDplus-Konzepts bzw. des Einheitsführerraums sollte darüber hinaus eine baureihenübergreifende ergonomische Optimierung der Fahrzeuginnenraumgestaltung hinsichtlich der Seh- und Greifräume, eine Erhöhung der Datenverfügbarkeit durch die Anbindung hochentwickelter Back-End- bzw. Content-Management-Systeme mit offenen Schnittstellen und eine orts- und zeitabhängige Priorisierung von Informationen umfassen. Optional können priorisierte Informationen im Sichtbereich des Tf bzw. im Bereich der Streckenbeobachtung, bspw. mittels Head-up-Displays, angezeigt werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt zusammenfassend die bisherige Nutzung von konventionellen Führerraumanzeigen in Kombination mit mobilen Endgeräten (blaue Punktdarstellung) sowie den optimierten Ansatz eines erweiterten 4+1-Einheitsführerraums (grüne Punktdarstellung, vgl. Abbildung 84). Es werden beispielhafte Aufgaben des Tf vor, während und nach einer Fahrt dargestellt. Als zentraler Vorteil des erweiterten Einheitsführerraums erweist sich, dass Medienbrüche bei der Visualisierung von Informationen vermieden und Informationen zielgerichteter bereitgestellt werden (vgl. Vertikalverbindung der grünen Punktdarstellungen). Dadurch können die visuelle Mehrfachbelastung und die Ablenkung des Tf verringert werden.

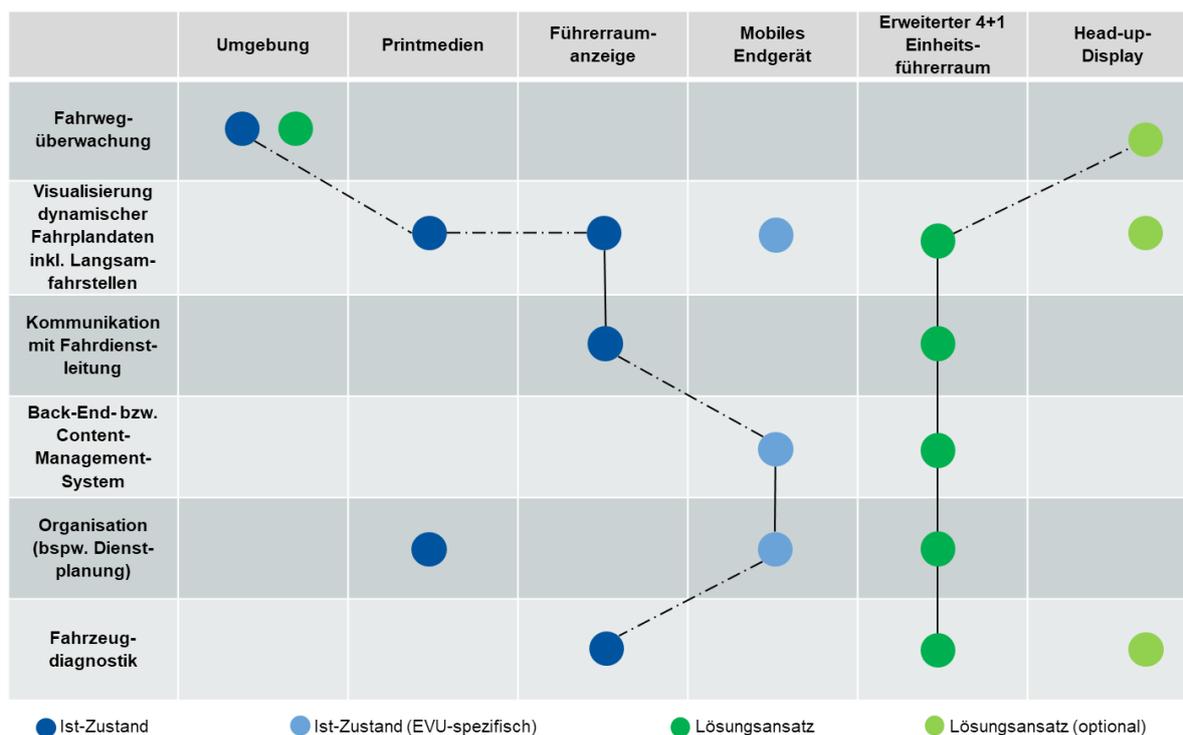


Abbildung 84: Vergleich der Nutzung von konventionellen Führerraumanzeigen in Kombination mit mobilen Endgeräten mit einem erweiterten 4+1 Einheitsführerraum (eigene Darstellung)

Hinsichtlich des digitalen Lehrens und Lernens ist festzustellen, dass eine zunehmende Verbreitung von mobilen Endgeräten zur Anwendung von digitalen Lehr- und Lernmanagementsystemen führt. Das integrierte Lernen kombiniert den klassischen Präsenzunterricht mit dem computer- bzw. webbasierten Lernen. Beispiele hierfür sind die Einführung von mobilen Endgeräten bei Auszubildenden und Beschäftigten, die methodisch-didaktische Aktualisierung der Tf-Ausbildung und die Erprobung von neuen Lehr- und Lernformaten und die Applikation „DB Signale“ von DB Training, Learning & Consulting, welche die Inhalte der Richtlinie 301 „Signalbuch“ inklusive Quiz umsetzt.

Ziel des Kapitels 5 war es zunächst, den rechtlichen Rahmen zur Aus- und Weiterbildung von Tf dahingehend zu prüfen, ob dieser eine ausreichende Qualifikation angesichts gegenwärtig und zukünftig digitalisierter Betriebsprozesse gewährleistet. Die Analyse zeigte, dass die Verwendung elektronischer Dokumente sowie die digitale Kommunikation auf Seiten des Tf bereits in Regelungen der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), Triebfahrzeugführerscheinverordnung (TfV), Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ sowie betrieblichen Regelwerken gestattet ist. Die Verwendung elektronisch übermittelter Anweisungen anstelle von Papierschnittstellen ist Bestandteil des geltenden Rechts. Notwendige Qualifizierungsmaßnahmen im Umgang mit digitalen Arbeits- und Hilfsmitteln wie Tablet- oder Smartphone-Anwendungen sind in Eigenverantwortung des EVU zu leisten. Es sollte den EVU nach Auffassung der Projektbearbeiter weiterhin freigestellt werden, welches Lernformat zur Schulung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel gewählt wird. Dennoch empfehlen die Projektbearbeiter, die generelle Notwendigkeit von Qualifizierungsmaßnahmen gegenüber den EVU in regelmäßigen Abständen zu thematisieren.

In Anlehnung an die in Kapitel 2 dargestellten Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Themenfeld des digitalen Eisenbahnbetriebs ist davon auszugehen, dass Tf in zunehmendem Ausmaß mit neuartigen digitalen Technologien im Tfz (z. B. Fahrerassistenz- oder Fahrzeugdiagnosesystemen) konfrontiert werden. Diese Entwicklung äußert sich z. B. in umfangreichen Handbüchern für das Bedienen von Tfz, deren zusätzliche Inhalte sich teilweise noch nicht in übergeordneten betrieblichen Regelwerken (vgl. z. B. Ril 418 der Deutschen Bahn AG) sowie Rechtsvorschriften über den Inhalt von Tf-Lehrgängen (vgl. TfV bzw. TSI Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung) wiederfinden. Auf der Grundlage der durch die Projektbearbeiter unterbreiteten Vorschläge wäre zu prüfen, welchen Detaillierungsgrad die genannten Regelwerke und Rechtsvorschriften zukünftig aufweisen sollen, damit eine zukunftsfähige Ausbildungsorganisation für angehende Tf gewährleistet ist.

Weiterhin wurden in Kapitel 5 die Ziele des Datenschutzes sowie der Datensicherheit im Zusammenhang mit digitalisierten Betriebsprozessen aufgezeigt. Die im Forschungsvorhaben untersuchten digitalen Arbeits- und Hilfsmittel ermöglichen in der Regel eine Verarbeitung personenbezogener Daten. Diese Praxis ist aus Gründen der Betriebsüberwachung zumeist notwendig, sie sollte jedoch im Rahmen des Beschäftigtendatenschutzes beschränkt werden, um einer missbräuchlichen Verwendung vorzubeugen. Die Digitalisierung von Betriebsprozessen erfordert zudem komplexe Schutzmaßnahmen gegenüber externen Angreifern. In diesem Zusammenhang wurden allgemeine Angriffspunkte für Cyberkriminalität genannt und inhaltlich mit dem Fallbeispiel einer Tablet-Anwendung durch den Tf verknüpft. Die überblicksartige Thematisierung haftungsrechtlicher Aspekte fokussierte auf mögliche Schäden an Arbeitsmitteln des Tf und die generelle Schadensabwicklung.

## 7 Fazit

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens dargestellten Entwicklungen zeigen, dass die Digitalisierung von Arbeitsprozessen des Tf beinahe in allen EVU stattfindet. Bedeutende Treiber dieser Entwicklung sind u. a. die Verbreitung des europäischen Zugbeeinflussungssystems ETCS, des Digitalfunks GSM-R und neuartiger Diagnosesysteme für Schienenfahrzeuge sowie die Eisenbahninfrastruktur. Zusätzlich zu diesen Basistechnologien ist ein zunehmender Einsatz von Fahrerassistenzsystemen und mobilen Anzeigegeräten wie Tablets oder Smartphone festzustellen. Die Anwendung solcher Technologien verändert etablierte Betriebsprozesse z. T. grundlegend und geht mit neuen Anforderungen an das beteiligte Betriebspersonal einher. Die einzelnen EVU sind gefordert, Qualifizierungsmaßnahmen zu leisten und insbesondere aufgrund des Ablenkungspotenziales der vielfältig nutzbaren mobilen Anzeigegeräte im Führerraum das Sicherheits- und Verantwortungsbewusstsein der Beschäftigten zu schulen.

Zwar erleichtern die beschriebenen Technologien vielfältige Betriebsprozesse, doch besteht aus Sicht der Arbeitswissenschaft ein Optimierungspotenzial hinsichtlich der ergonomischen Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dies betrifft zum einen die Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit stationär verbauter Führerraumanzeigen, aber auch die hinsichtlich der Seh- und Greifräume des Bedienpersonals ergonomisch verbesserungswürdige Positionierung mobiler Anzeigegeräte. Der derzeitige Entwicklungsstand ermöglicht bei Letzteren zudem meist keine zeit- und ortsabhängige Priorisierung von Informationen. Darüber hinaus ergeben sich durch die Parallelnutzung stationär verbauter sowie mobiler Anzeigen Medienbrüche mit den aus arbeitswissenschaftlicher Sicht potenziellen Auswirkungen einer visuellen Mehrfachbelastung bis hin zu Konzentrations- und Fahrleistungseinbußen des Personals. Dieser Effekt könnte sich durch den Einsatz weiterer digitaler Technologien im Führerraum verschärfen.

Aus den Projektergebnissen leitete sich ab, dass eine grundlegende Weiterentwicklung des europäischen Einheitsführertisches im Rahmen einer internationalen Forschungskooperation zu empfehlen ist. Die vier etablierten Basisanzeigen (DMIs) im Führertisch – TRD, ETD, CCD und TDD – sollten in ergonomisch sinnvoller Weise um ein flexibel nutzbares, auf EVU-spezifische Bedürfnisse zugeschnittenes fünftes Display ergänzt werden. Zur Erhöhung der Datenverfügbarkeit und optimalen Nutzbarkeit des Displays sind standardisierte Schnittstellen und die Anbindung des entsprechenden Rechners an Back-End- sowie Content-Management-Systeme des EVU erforderlich. Generell besteht das Potenzial, die bisherigen Anzeigetechnologien im Führerraum durch großformatigere Touchscreens und reaktionsschnellere, leuchtstärkere Anzeigen zu ersetzen. Ergänzend bietet sich die Anwendung eines Head-up-Displays im unmittelbaren Sichtbereich des Tf an, um priorisierte Informationen hervorzuheben.

Eine Erneuerung bestehender Führertisch-Konfigurationen ist aus wirtschaftlichen Gründen zumeist nicht sinnvoll, sodass in der Kurz- und Mittelfristperspektive Übergangslösungen für die optimierte Anwendung mobiler Endgeräte angestrebt werden sollten. Bei der Ausrichtung mobiler Anzeigen sind Seh- und Greifräume des Bedienpersonals zu berücksichtigen. Ablenkungspotenziale, auch durch eine inhaltliche Überfrachtung der Anzeigen, sind zu vermeiden und mögliche Gefährdungen zu schulen. Leistungsfähige Back-End-Systeme sollten insbesondere die Aktualität und zielgruppengerechte Verteilung der auf mobilen Endgeräten bereitgestellten Informationen gewährleisten.

Der geltende rechtliche Rahmen ermöglicht einen breit gefächerten Einsatz mobiler und allgemein digitaler Arbeits- und Hilfsmittel für Bedienpersonale des Schienenverkehrs. Die Beurteilung möglicher Risiken und der Qualifizierungsaufwand liegt weitgehend beim EVU. Durch eine weitgreifende Detaillierung von Rechtsvorschriften bezüglich des Inhalts von Tf-Schulungen könnte die Aufsichtsbehörde Anreize für die Forcierung digitaler Arbeits- und Hilfsmittel bei den Lehrinhalten schaffen. Die aus ergonomischer Sicht notwendige technologische Fortentwicklung und Harmonisierung der Führerraumanzeigen ist dagegen von europäischen Forschungsmitteln sowie den Innovationsmöglichkeiten der europäischen Bahnbranche abhängig.

## 8 Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzungen</b>	<b>Begriffe</b>
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AFB	Automatische Fahr- und Bremssteuerung
AR	Augmented Reality
ATO	Automated Train Operation
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BLS	Bern-Lötschberg-Simplon
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMS	Betriebshofmanagementsystem
BR	Baureihe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Österreich)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2005-2013 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie)
BoStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
BRW	Betriebsregelwerk
CBM	Conditioned Based Maintenance
CCD	Control Command Display
CM	Condition Monitoring
CSM	Gemeinsame Sicherheitsmethoden (Common Safety Methods)
CST	Gemeinsame Sicherheitsziele (Common Safety Targets)
DB	Deutsche Bahn
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMI	Driver-Machine-Interfaces
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBL	Eisenbahnbetriebsleiter
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EBuLa	Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen
EFR	Elektronische Fahrtenregistrierung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESF	Energiesparende Fahrweise
ESM	Elektronische Schadensmeldung
ETCS	European Train Control System
ETD	Electronic Time-table Display
EUDD	European Driver's Desk
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWV	Einzelwagenverkehr
FAS	Fahrerassistenzsystem
FBOA	Festbremsortungsanlage
Fdl	Fahrdienstleiter
FFS	Funkfernsteuerung
FiF	Fachkraft im Fahrbetrieb des ÖSPV
FS	Full Supervision (ETCS-Betriebsart)
GoA	Grade of Automation
GPRS	General Packet Radio Service (Paketorientierte Datenübertragung)

GPS	Global Positioning System
GSM-R	Global System for Mobile Communications - Railway
HOA	Heißläuferortungsanlage
HMD	Head-mounted Displays
HUD	Head-up-Display
IMO	International Maritime Organisation
IP	Internetprotokoll
ITCS	Intermodal Transport Control System
KBV BDS	Konzernbetriebsvereinbarung Beschäftigtendatenschutz
La	(Verzeichnis der) Langsamfahrstellen
LEADER	Locomotive Engineer Assist Display and Event Recorder
LM	Leuchtmelder
Lrf	Lokrangierführer
LS	Limited Supervision (ETCS-Betriebsart)
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunkstandard)
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
MFA	Modulares Führerraumanzeigegerät
MFD	Modulares Führerraumdisplay
MTD	Maschinentechnisches (Diagnose-)Display
OBD	On-Board-Diagnose
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr per Bus, Straßen- und Stadtbahn
SMS	Sicherheitsmanagementsystem
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
RAMSIS	Rechnergestütztes Anthropometrisch-Mathematisches System zur Insassen-Simulation
RATP	Régie autonome des transports Parisiens
RBL	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem
Ril	Richtlinie (Betriebliches Regelwerk der Deutschen Bahn AG)
RiM	Rail in Motion (Softwareanwendung)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SMS	Sicherheitsmanagementsystem
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
TDD	Technical & Diagnostic Display
Tf	Triebfahrzeugführer
TFT	Thin-film transistor-Display (für Flüssigkristallanzeigen LCDs)
TfV	Triebfahrzeugführerverordnung
Tfz	(Eisenbahn-)Triebfahrzeug
TRD	Train Radio Display
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
UMTS	Universal Telecommunications System (Mobilfunkstandard)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VR	Virtual Reality
WNS	Wireless Network Solutions
WLAN	Wireless Local Area Network

## 9 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: TÄTIGKEITEN DES TF ZUR VOR- UND NACHBEREITUNG VON ZUG- UND RANGIERFAHRTEN.....	15
ABBILDUNG 2: TÄTIGKEITEN DES TF BEI DER DURCHFÜHRUNG VON ZUGFAHRTEN .....	16
ABBILDUNG 3: KATEGORISIERUNG VON DIGITALISIERUNGSOPTIONEN IM EISENBAHNBETRIEB MIT DEM FOKUS AUF TÄTIGKEITEN DES TF .....	17
ABBILDUNG 4: TÄTIGKEITEN DER FIF .....	20
ABBILDUNG 5: KATEGORISIERUNG VON DIGITALISIERUNGSOPTIONEN IM ÖSPV MIT DEM FOKUS AUF TÄTIGKEITEN DER FIF .....	21
ABBILDUNG 6: TÄTIGKEITEN DES KAPITÄNS .....	23
ABBILDUNG 7: KATEGORISIERUNG VON DIGITALISIERUNGSOPTIONEN IN DER SEE- UND BINNENSCHIFFFAHRT MIT DEM FOKUS AUF TÄTIGKEITEN DES KAPITÄNS.....	24
ABBILDUNG 8: TÄTIGKEITEN DES PILOTEN .....	26
ABBILDUNG 9: KATEGORISIERUNG VON DIGITALISIERUNGSOPTIONEN IM LUFTVERKEHR MIT DEM FOKUS AUF TÄTIGKEITEN DES PILOTEN .....	27
ABBILDUNG 10: TECHNICAL & DIAGNOSTIC DISPLAY (TDD) AM BEISPIEL DES TFZ VOSSLOH G 2000 BB.....	32
ABBILDUNG 11: SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN DES 5L-PROJEKTS UNTER LEITUNG DER SBB CARGO.....	33
ABBILDUNG 12: KONSTRUKTION DES SENSORSYSTEMS IM ACHSLAGERDECKEL UND AUSWERTUNG VIA RFID.....	34
ABBILDUNG 13: WEITERENTWICKLUNG DES MELDEANLAGENSYSTEMS (MAS) FÜR HEIßLÄUFER/FESTE BREMSEN DER DB NETZ AG.....	35
ABBILDUNG 14: BEISPIELDARSTELLUNG VON VERÄNDERUNGEN ENTLANG EINER BAHNTRASSE IM PROJEKT „ZUSTANDSÜBERWACHUNG DES GLEISUMFELDES“ (ZUG) .....	36
ABBILDUNG 15: KOMPONENTEN DES GO!-EMPFÄNGERS IM FORSCHUNGSPROJEKT GALILEO ONLINE: GO! .....	37
ABBILDUNG 16: MEILENSTEILE IM SBB-PROJEKT „SMARTRAIL 4.0“ .....	38
ABBILDUNG 17: DRUCKFASSUNG DER LA-ZUSAMMENSTELLUNG (LINKS) UND TABLET-DARSTELLUNG DER DIGITALEN LA (RECHTS).....	39
ABBILDUNG 18: TABLET-ANWENDUNG „RAIL IN MOTION“ DER DEUTSCHEN BAHN AG.....	41
ABBILDUNG 19: TABLET-ANWENDUNG DILOC SYNC MIT BEISPIELHAFTER LA-ANZEIGE UND DATENBANK IM HINTERGRUND.....	42
ABBILDUNG 20: TABLET-ANWENDUNG IVU.PAD IN EINEM SCHIENENFAHRZEUG .....	43
ABBILDUNG 21: ELEKTRONISCHE ANZEIGE DES BUCHFAHRPLANS MIT ESF-LM AM UNTEREN BILDRAND .....	45
ABBILDUNG 22: SMARTPHONE-ANWENDUNG „SMARTTRAIN.DAS“ IN EINEM SCHIENENFAHRZEUG .....	46
ABBILDUNG 23: FAS „LEADER“ DER DEUTSCHEN BAHN AG .....	47

ABBILDUNG 24: FÜHRERRAUMANZEIGEN UND INFORMATIONEN IM TFZ AM BEISPIEL DES ICE 4 (BR 412) .....	48
ABBILDUNG 25: STANDARDISIERTE ANZEIGEEINHEITEN (DMI) IM EUDDPLUS-FÜHRERRAUMKONZEPT .....	49
ABBILDUNG 26: DISPLAY-ANORDNUNG GEMÄß EUROPEAN DRIVER'S DESK PLUS-KONZEPT (EUDDPLUS).....	49
ABBILDUNG 27: BLICKBEWEGUNGSANALYSEN IM EUDDPLUS WÄHREND EINES BESCHLEUNIGUNGSABLAUFES MIT ETCS.....	50
ABBILDUNG 28: FAHRPULTKONZEPT „INTELLIDESK 2.0“ DES HERSTELLERS SCHALTBAU GMBH .....	51
ABBILDUNG 29: EISENBAHNSPEZIFISCHE LEISTUNGSMERKMALE DES GSM-STANDARDS .....	52
ABBILDUNG 30: GSM-R ZUGFUNKGERÄT .....	52
ABBILDUNG 31: FUNKFERNSTEUERUNG - ARBEITSMITTEL FÜR LOKRANGIERFÜHRER (LRF) .....	53
ABBILDUNG 32: TÄTIGKEITEN DES LOKRANGIERFÜHRERS (LRF) .....	54
ABBILDUNG 33: AUTOMATED GUIDED VEHICLE AUF DEM BASF-WERKSGELÄNDE .....	55
ABBILDUNG 34: GRADES OF AUTOMATION (GOA) – AUTOMATISIERUNGSGRADE IM EISENBAHNWESEN .....	57
ABBILDUNG 35: GEPLANTE PROJEKTPHASEN DES SBB-PROJEKTS „SMARTRAIL 4.0“ .....	58
ABBILDUNG 36: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSAKTIVITÄTEN IM PROJEKT X2RAIL-1.....	59
ABBILDUNG 37: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSAKTIVITÄTEN IM PROJEKT X2RAIL-2.....	59
ABBILDUNG 38: FAHRWEGÜBERWACHUNG MITHILFE DES BOMBARDIER-FAS IN STRAßENBAHNEN.....	61
ABBILDUNG 39: ITCS-BORDRECHNER AM FAHRERARBEITSPLATZ IN EINEM LINIENBUS .....	62
ABBILDUNG 40: ITCS-KONFIGURATION „ONLINEUMLEITUNG“: AUFFORDERUNG AN DEN FAHRER, EINE UMLEITUNG ZU FAHREN (LINKS) UND NAVIGATIONSFUNKTION (RECHTS).....	62
ABBILDUNG 41: TABLET-ANWENDUNG „ELEKTRONISCHES FAHRERHANDBUCH“ .....	63
ABBILDUNG 42: SMARTPHONE-ANWENDUNG „COMPUTER-OPTIMISED SPEED CONTROL FOR ENERGY-EFFICIENT LIGHT-RAILS“ DER DVB .....	64
ABBILDUNG 43: PENDELPRINZIP (OBEN) UND BEWERTUNGSSYSTEM DER FAHRWEISE (UNTEN) DES PRODUKTS „SAFERECORDER“ .....	65
ABBILDUNG 44: FAHRERLOSE U-BAHN-LINIE 3 DER VAG NÜRNBERG.....	66
ABBILDUNG 45: AUTONOMER SHUTTLE-BUS DER DEUTSCHEN BAHN AG IN BAD BIRNBACH.....	67
ABBILDUNG 46: SCHIFFSASSISTENZSYSTEME IM RAHMEN DES DLR-VERBUNDPROJEKTS „LAESSI“ .....	69
ABBILDUNG 47: TABLET-ANWENDUNG „DORIS“ - AUSSCHNITT AUS IMAGE-FILM „DORIS MOBILE“ DER VIADONAU.....	70
ABBILDUNG 48: GENERIERTE VORTEILE DURCH DAS DIGITALISIERUNGSPROJEKT „PRONTO“ IM HAFEN ROTTERDAM .....	71
ABBILDUNG 49: FORSCHUNGSFELDER IM RAHMEN DER AAWA-INITIATIVE.....	72

ABBILDUNG 50: DISPLAY-ANWENDUNG „RISK INFORMATION SYSTEM“ IM COCKPIT.....	73
ABBILDUNG 51: BEISPIELHAFTE INFORMATIONSEINBLENDUNG PER HMD .....	74
ABBILDUNG 52: DISPLAY-ANWENDUNG „LOW NOISE AUGMENTATION SYSTEM“ (LNAS) DES DLR .....	75
ABBILDUNG 53: ZIELVORSTELLUNG EINER HOCHAUFLÖSENDEN PRODUKTIONSSTEUERUNG AUF BASIS KYBERNETISCHER UNTERSTÜTZUNGSSYSTEME UND INTELLIGENTER SENSORIK.....	79
ABBILDUNG 54: PZB-TASTER AUF DEM TFZ-FÜHRERPULT .....	81
ABBILDUNG 55: FAHRZEUGTECHNISCHE INTEGRATION VON PZB-LM .....	82
ABBILDUNG 56: PZB-LEUCHTMELDER.....	82
ABBILDUNG 57: EINGABE VON ZUGPARAMETERN IN DEN PZB-FAHRZEUGRECHNER .....	83
ABBILDUNG 58: ÜBERWACHUNGSFUNKTION DER PZB 90 NACH 1000 HZ-BEEINFLUSSUNG .....	84
ABBILDUNG 59: LZB-ZUGDATENEINGABE PER DISPLAY .....	85
ABBILDUNG 60: ANZEIGE DER LZB-FÜHRUNGSGRÖßEN IN EINEM MODULAREN FÜHRERRAUMDISPLAY (MFD).....	86
ABBILDUNG 61: FARBDARSTELLUNG DES TACHOKREISES UND DES GESCHWINDIGKEITSMESSERS IN ETCS-BETRIEBSART FS .....	88
ABBILDUNG 62: FARBDARSTELLUNGEN DES TACHOKREISES UND DES GESCHWINDIGKEITSMESSERS IN ETCS-BETRIEBSART FS .....	88
ABBILDUNG 63: MTD-STÖRUNGSMELDUNG UND ABHILFEMAßNAHMEN .....	90
ABBILDUNG 64: EBULA-FAHRPLANDARSTELLUNG .....	92
ABBILDUNG 65: ANZEIGEN IM FAS LEADER.....	93
ABBILDUNG 66: APPLIKATIONEN INNERHALB DER RAIL IN MOTION- SOFTWAREANWENDUNG DER DEUTSCHEN BAHN AG .....	94
ABBILDUNG 67: APPLIKATIONEN INNERHALB DER IVU.PAD-SOFTWAREANWENDUNG DER IVU TRAFFIC TECHNOLOGIES AG.....	97
ABBILDUNG 68: SCHRITTE DES RISIKOMANAGEMENTS AM BSP. DEUTSCHE BAHN AG .....	100
ABBILDUNG 69: RISIKOEVALUIERUNG ANHAND DER KRITERIEN AUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT UND SCHADENSAUSMAß.....	101
ABBILDUNG 70: RISIKOEVALUIERUNG AM BEISPIEL TABLET-EINFÜHRUNG ANHAND DER KRITERIEN AUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT UND SCHADENSAUSMAß.....	107
ABBILDUNG 71: INNOVATIVE BILDUNGSKONZEPTE UND LERNLÖSUNGEN DES DB- KONZERNS IM RAHMEN DES PROJEKTS „NEXT EDUCATION“ .....	114
ABBILDUNG 72: TRANSFORMATION DER LEHR- UND LERNMETHODEN IM ZUGE DER DIGITALISIERUNG .....	115
ABBILDUNG 73: HORIZONTALSCHNITT DURCH DEN GREIF- UND SEHRAUM NACH VDI- HANDBUCH, GÜLTIG FÜR STEHEN UND SITZEN [275] .....	119
ABBILDUNG 74: TRIEBFAHRZEUG-FÜHRERRAUM EINER DREHSTROMLOKOMOTIVE DER BR 193 (SIEMENS VECTRON) .....	121
ABBILDUNG 75: LEISTUNGSBEEINTRÄCHTIGUNG DURCH VISUELLE DOPPELBELASTUNG BEI DER FAHRZEUGFÜHRUNG.....	122

ABBILDUNG 76: ZUSAMMENHANG VON ERREGUNG UND LEISTUNG NACH DEM YERKES-DODSON-GESETZ.....	123
ABBILDUNG 77: KONGRUENTES VS. INKONGRUENTES SCROLLEN MITHILFE DIGITALER ENDGERÄTE.....	126
ABBILDUNG 78: VERÄNDERUNGEN DES BERUFSBILDES DES TF ANHAND VON DREI THEMENKOMPLEXEN .....	131
ABBILDUNG 79: STRUKTUR DER RICHTLINIE 408.....	148
ABBILDUNG 80: KATEGORISIERUNG IDENTIFIZIERTER FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSVORHABEN IM BEREICH DIGITALISIERUNG VON BETRIEBSPROZESSEN IM EISENBAHNWESEN.....	155
ABBILDUNG 81: MÖGLICHE TECHNOLOGISCHE KOOPERATIONSFELDER DER VERKEHRSBRANCHEN EISENBAHN, ÖSPV, SEE- UND BINNENSCHIFFFAHRT SOWIE LUFTFAHRT IM BEREICH DIGITALISIERUNG BETRIEBLICHER PROZESSE .....	156
ABBILDUNG 82: HERAUSFORDERUNGEN BZGL. DER DIGITALISIERUNG IM EISENBAHNBETRIEB UND POTENTIELL NEGATIVE AUSWIRKUNGEN AUF DEN EISENBAHNBETRIEB.....	158
ABBILDUNG 83: LÖSUNGSANSÄTZE BZGL. DER DIGITALISIERUNG IM EISENBAHNBETRIEB.....	158
ABBILDUNG 84: VERGLEICH DER NUTZUNG VON KONVENTIONELLEN FÜHRERRAUMANZEIGEN IN KOMBINATION MIT MOBILEN ENDGERÄTEN MIT EINEM ERWEITERTEN 4+1 EINHEITSFÜHRERRAUM .....	159

# 10 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ARBEITS- UND HILFSMITTEL SOWIE DOKUMENTE UND NACHWEISE DES TF .....	14
TABELLE 2: UNTERSTÜTZTE PROZESSE DURCH UND ANFORDERUNGEN AN DIE TABLET- APPLIKATION „RAIL IN MOTION“ (RIM) .....	40
TABELLE 3: ANGEZEIGTE DOKUMENTE DURCH DIE TABLET-APPLIKATION „DILOC SYNC“ VON CN-CONSULT .....	41
TABELLE 4: UNTERSTÜTZTE PROZESSE DURCH DIE TABLET-APPLIKATION „IVU.PAD“ .....	43
TABELLE 5: KRITERIEN ZUR BEWERTUNG DER SIGNIFIKANZ EINER EISENBAHNBETRIEBLICHEN ÄNDERUNG FÜR DIE SICHERHEIT .....	99
TABELLE 6: ERGEBNISÜBERSICHT DER SIGNIFIKANZPRÜFUNG AM BSP. TABLET- GESTÜTZTER ANZEIGEN FÜR DEN TF .....	104
TABELLE 7: GEFÄHRDUNGSERMITTLUNG UND –BESCHREIBUNG IM RAHMEN DES RISIKOMANAGEMENTVERFAHRENS ZUR TABLET-NUTZUNG IM TFZ- FÜHRERRAUM .....	105
TABELLE 8: RISIKOABSCHÄTZUNG DURCH IDENTIFIZIERTE GEFÄHRDUNGEN UND ABLEITUNG VON SICHERHEITSMÄßNAHMEN .....	106
TABELLE 9: GRUNDSÄTZE DER DIALOGGESTALTUNG NACH DIN EN ISO 9241-110 .....	129
TABELLE 10: GENERELLE VOR- UND NACHTEILE VON FÜHRERRAUMANZEIGEN.....	134
TABELLE 11: GENERELLE VOR- UND NACHTEILE VON MOBILEN ENDGERÄTEN .....	136
TABELLE 12: RELEVANTE BESTIMMUNGEN GEMÄß ALLGEMEINES EISENBAHNGESETZ (AEG) FÜR DIE QUALIFIZIERUNG DES TF .....	140
TABELLE 13: RELEVANTE BESTIMMUNGEN GEMÄß EISENBAHN-BAU- UND BETRIEBSORDNUNG (EBO) MIT DEM FOKUS AUF DAS TÄTIGKEITSPROFIL DES TF.....	141
TABELLE 14: VORSCHLÄGE FÜR EINE INHALTLICHE KONKRETISIERUNG DER ANLAGEN 5-7 TRIEBFahrzeugführerscheinverordnung (TFV) HINSICHTLICH DES EINSATZES DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL FÜR DEN TF .....	144
TABELLE 15: AUSBILDUNGSMETHODEN DES TRIEBFAHRZEUGFÜHRERS GEMÄß ANLAGE 8 TFV.....	145
TABELLE 16: MÖGLICHE ANGRIFFSPUNKTE FÜR CYBERKRIMINALITÄT UND SICHERHEITSMÄßNAHMEN .....	152
TABELLE 17: AUF DEM TFZ MITZUFÜHRENDE VORDRUCKE .....	190
TABELLE 18: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DES EISENBAHNBETRIEBS.....	191
TABELLE 19: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DES ÖSPV .....	201
TABELLE 20: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DER SEE- UND BINNENSCHIFFFAHRT .....	204
TABELLE 21: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DES LUFTVERKEHRS.....	207

TABELLE 22: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DER ENERGIEWIRTSCHAFT .....	209
TABELLE 23: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG IN DER TELEKOMMUNIKATION .....	211
TABELLE 24: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH WERKZEUGMASCHINENBAU .....	213
TABELLE 25: RELEVANTE BESTIMMUNGEN GEMÄß TSI „VERKEHRSBETRIEB UND VERKEHRSTEUERUNG“ (VERORDNUNG (EU) 2015/995) MIT DEM FOKUS AUF DAS TÄTIGKEITSPROFIL DES TRIEBFAHRZEUGFÜHRERS (TF) .....	214
TABELLE 26: REGELUNG DES EINSATZES DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL DES TF GEMÄß VDV-BETRIEBSREGELWERK (BRW) .....	216
TABELLE 27: REGELUNG DES EINSATZES DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL DES TF GEMÄß TRIEBFAHRZEUGFÜHRERHEFT (TF-HEFT) DER DEUTSCHEN BAHN AG (RIL 418) .....	218
TABELLE 28: SCHULUNG DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL DES TF AM BEISPIEL DES LOKFÜHRERHANDBUCHS FÜR DAS TFZ SIEMENS VECTRON .....	221

# 11 Quellenverzeichnis

- [1] DB AG (2017): Triebfahrzeugführerheft der DB Fernverkehr AG und der DB Regio AG.
- [2] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (Hrsg) (2016): VDV-Schrift Betriebsregelwerk EVU. Komplettfassung.
- [3] DB AG (2010): Triebfahrzeugführerheft für Triebfahrzeugführer der EFF-Klassen 2 und 3.
- [4] Pacht, J Dr.-Ing. (2017): Betriebliche Randbedingungen für autonomes Fahren auf der Schiene. *Deine Bahn*, (9):11–19.
- [5] Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2018): Busfahrer/in - Berufliche Einsatzmöglichkeit. Tätigkeitsinhalte. <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index?path=null/kurzbeschreibung/taetigkeitsinhalte&dkz=7169&such=Busfahrer%2Fin>. Abgerufen am 25.04.2018.
- [6] Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2018): Schienenfahrzeugführer/in - Berufliche Einsatzmöglichkeit. Tätigkeitsinhalte. <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index?path=null/kurzbeschreibung/taetigkeitsinhalte&dkz=7106&such=Schienenfahrzeugf%C3%BChrer%2Fin>. Abgerufen am 25.04.2018.
- [7] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [Hrsg.] (2015): Seearbeitsgesetz (SeeArbG). <http://www.gesetze-im-internet.de/seearbg/SeeArbG.pdf>. Abgerufen am 17.04.2018.
- [8] Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2007): Tätigkeitsbeschreibung von Schiffsbetriebsoffizier/Schiffsbetriebsoffizierin (FH). Nautik/Technik. <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/archiv/7249.pdf>. Abgerufen am 18.04.2018.
- [9] Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2007): Tätigkeitsbeschreibung von Kapitän/Kapitänin. Binnenschiffer. <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/archiv/7295.pdf>. Abgerufen am 18.04.2018.
- [10] Lüers, K (2011): Maritime Technologien der nächsten Generation.
- [11] Brandt, C (2016): Digitalisierung der Schifffahrt. Chancen und Herausforderungen für deutsche Reeder.
- [12] Hauptfleisch, K (2018): Smart Shipping - Wie die Digitalisierung die Schifffahrt verändert. *Cancom.Info*.
- [13] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [Hrsg.] (1989): Verordnung über Luftfahrtpersonal. *LuftPersV*.
- [14] Bundesagentur für Arbeit [Hrsg.] (2018): Verkehrsflugzeugführer/in (ATPL (A)). Tätigkeitsinhalte. <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index?path=null/kurzbeschreibung/taetigkeitsinhalte&dkz=7340>. Abgerufen am 26.04.2018.
- [15] Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. [Hrsg.] (2016): Technologiestrategie der deutschen Luftfahrtindustrie, Berlin.

- [16] Freund, R Dr., Haustein, T Dr., Kasparick, M Dr., Mahler, K Dr., Schulz-Zander, J Dr., Thiele, L Dr., Wiegand, T Dr., Weiler, R Dr. (Hrsg) (2018): 5G-Datentransport mit Höchstgeschwindigkeit. Mehr Daten, mehr Tempo, mehr Sicherheit.
- [17] Die Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI) [Hrsg.] (2017): Datenschutz und Telekommunikation (Broschüre). 8. Auflage, Bonn.
- [18] Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik [Hrsg.] (2017): Industrial Communication for Factories. Leuchtturmprojekt IC4F - Sichere, robuste und echtzeitfähige Kommunikationslösungen für die verarbeitende Industrie. <https://www.ic4f.de/>. Abgerufen am 29.06.2018.
- [19] Gründl, M, Nelles, J (2015): Benutzerzentrierte Gestaltung von Entscheidungsunterstützungssystemen in der Produktionsplanung. In: Schuh, G, Fuß, C (Hrsg), *ProSense. Ergebnisbericht des BMBF-Verbundprojektes ; hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik*. Apprimus Verl., Aachen.
- [20] Schuh, G, Fuß, C (Hrsg) (2015): ProSense. Ergebnisbericht des BMBF-Verbundprojektes ; hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik. 1. Auflage. Apprimus Verl., Aachen.
- [21] Czerniak-Wilmes, JN, Hellig, T, Brandl, C, Mertens, AW, Schlick, C (2016): Mobile Interaction Concepts for the Future Technician. In: Weidner, R (Hrsg), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Zweite Transdisziplinäre Konferenz : Hamburg 2016*. Laboratorium Fertigungstechnik smartASSIST Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg.
- [22] Abele, E (2016): Digitale Transformation. Big Data im Maschinenbau. Maschinenbau und Metallbearbeitung, (August):8.
- [23] Herden, M-O, Friesen, U (2012): COMORAN - Ausgefeiltes Condition Monitoring für Schienenverkehrs-anwendungen. Eisenbahntechnische Rundschau, (Nr. 9):74–79.
- [24] Padinger, H (2017): Digitalisierung - Siemens Mobility Services. Vortrag vor der Deutschen Maschinentechnischen Gesellschaft (DMG) am 31.05.2017, Hamburg.
- [25] Siemens AG [Hrsg.] (2017): Siemens vernetzt Lokomotiven der Deutschen Bahn. Pressemitteilung vom 24. Juli 2017, München.
- [26] Ackermann, H Dr. (2017): Instandhaltungs-Management-Systeme DB AG, Hamburg.
- [27] Bobsien, S, Niggemann, H, Schulze, H (2018): Digitale Instandhaltungsstrategie für produktiven Güterverkehr. Eisenbahntechnische Rundschau, (5):54–59.
- [28] Mergenthaler, W, Jaroszewski, D, Feller, S, Laumann, L (2016): A joint renewal process used to model event based data. *Decision Analytics*, 3(1):671.
- [29] Schulte Werning, B Dr., Linke, P, Möskén, H, Hokscho, V, Uebel, L, Wolter, KU Dr. (2015): Monitoring und Zustandsorientierte Instandhaltung von Schienenfahrzeugen und -fahrweg mittels Mustererkennung in Ereignisdaten, Graz.
- [30] Stockmann, M (2011): Neue Rangierlok BR 261 vom Typ Gravita 10 BB bei DB Schenker Rail Deutschland AG im Einsatz. Eisenbahntechnische Rundschau, (Nr. 4):34–38.
- [31] IT-Informatik GmbH & Voith IT-Solutions GmbH [Hrsg.] (2016): Whitepaper OPRA® (Broschüre). Management aller Informationen im Rahmen der Instandhaltung und des Lebenszyklus

- von Anlagen, Geräten oder Fahrzeugen aus Betriebs- und Servicesicht in SAP (Asset Lifecycle Management).
- [32] Hörstel, J (2018): Projekt "Innovativer Güterwagen". *Deine Bahn*, (7):50–53.
- [33] Klocksin, J Dr., Turge, R, Eckel, A, Frenzel, J (2018): BMVI-Projekt "Innovativer Güterwagen" liefert erste Ergebnisse und startet Betriebserprobung. *Eisenbahntechnische Rundschau*, 6:47–53.
- [34] Bobsien, S, Schmidt, H Dr., Koch to Krax, G (2018): Mit intelligenten Güterwagen in die Verkehrswende starten. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (9):128–135.
- [35] SBB Cargo [Hrsg.] (2017): 5L-Zug: Der Traum vom Zukunfts-Güterwagen wird wahr. Blog-Eintrag vom 10.05.2017. <https://blog.sbbcargo.com/28624/5l-zug-der-traum-vom-zukunfts-gueterwagen-wird-wahr/>. Abgerufen am 11.07.2018.
- [36] Müller-Hildebrand, B (2017): Automatisierung und Digitalisierung im Schienengüterverkehr. *ZEVrail*, 141(8):301-303.
- [37] Mues, J (2017): Die Güterbahn der Zukunft - automatisiert und digitalisiert. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 7+8):71–73.
- [38] Höller, H (2016): Automatisierung für Schienenverkehrssysteme - Der Weg zum Güterwagen 4.0. Zustandssensorik und Sensorvernetzung im Güterwagen. Vortrag im Rahmen des VDI-Expertenforums "Automatisierung von Schienenverkehrssystemen", Aachen.
- [39] Tröger, L Dr. (2014): Keeping the goods on track. Continuous monitoring is an essential input to condition-based maintenance strategies, which are helping to improve the availability and reliability of freight rolling stock. *Railway Gazette International*, (9):89–90.
- [40] Windolf, W, Tadge, R (2018): Controlguide CTmobile - Energieautarke Positionsübermittlung und Zustandsüberwachung im Güterverkehr. *Signal + Draht*, 110(4):37–47.
- [41] Lenord + Bauer [Hrsg.] (2012): Elektronischer Kilometerzähler für Schienenfahrzeuge. GEL 2510 (Produktinformationsblatt), Oberhausen.
- [42] Bruckmann, D Prof. Dr.-Ing. (2016): Prozessoptimierung für den Schienengüterverkehr. Vortrag im Rahmen des VDI-Expertenforums "Automatisierung von Schienenverkehrssystemen", Aachen.
- [43] Hüllen, J, Hagenlocher, S, Fregion, G (2016): Auf dem Weg zur Güterbahn 4.0 – Leise, digital und wirtschaftlich. *Deine Bahn*, (9):30–33.
- [44] Aipperspach, G (2016): Integriertes Netzwerk und Güterwagen 4.0. Vortrag im Rahmen des VDI-Expertenforums "Automatisierung von Schienenverkehrssystemen", Aachen.
- [45] Enning, M Prof. Dr.-Ing. (2016): Güterwagen 4.0 - Konzept und Funktion. Vortrag im Rahmen des VDI-Expertenforums "Automatisierung von Schienenverkehrssystemen", Aachen.
- [46] Kuhlmann, M, Schmidt, BD Prof. Dr.-Ing. (2016): Vom Güterwagen 4.0 zum angetriebenen Güterwagen - Ein kleiner Schritt. Vortrag im Rahmen des VDI-Expertenforums "Automatisierung von Schienenverkehrssystemen", Aachen.

- [47] Pfaff, R Prof. Dr. (2016): Aktive, mitdenkende Güterwagenbremse. Von der Bremse zum "Motion Enabler". Vortrag im Rahmen des VDI-Expertenforums "Automatisierung von Schienenverkehrssystemen", Aachen.
- [48] Wagner, L (2017): VDV fordert "Fair Play" für den Schienengüterverkehr. VDV-Presseinformation vom 25. Januar 2017, Berlin.
- [49] Klein, W Dipl.-Ing. (2017): Weiterentwicklung DB MAS sowie der HOA/FBOA. Vortrag im Rahmen der Jahrestagung der Eisenbahn-Sachverständigen 2017, Fulda.
- [50] Wolf, M, Lentz, H (2018): Anwendung von "Wayside Acoustic Monitoring" bei der DB AG. Signal + Draht, 110(4):27–32.
- [51] Mäkitupa, S (2018): Zu den Auswirkungen der automatischen streckenseitigen Zugüberwachung. Signal + Draht, 110(4):6–11.
- [52] Aksenijevic, J, Meister, C (2018): Realisierung von Checkpoint-Lösungen bei der ÖBB-Infrastruktur AG. Signal + Draht, 110(4):12–26.
- [53] Salander, C, Strebel, T, Tavakoli, H (2018): Projekt Zustandsüberwachung des Gleisumfeldes (ZuG). Deine Bahn, (1):6–11.
- [54] Halme, I (2017): Instandhaltungsmaßnahmen mithilfe der Signalerkennung durch computerunterstütztes Erkennen. Signal + Draht, 109(10):40–44.
- [55] Manz, H (2018): Aspekte des Zulassungsprozesses der satellitenbasierten Ortung für sichere Nutzung im Schienenverkehr. Signal + Draht, 110(1+2):23-29.
- [56] Manz, H (2018): Strukturierte Entwicklung einer satellitenbasierten Ortungseinheit. Zulassung der satellitenbasierten Ortung im Schienenverkehr als industrielle Komponente basierend auf konsistenten und strukturierten Anforderungen. Der Eisenbahningenieur, (2):34–38.
- [57] Zweigel, R, Gehrt, J, Abel, D (2017): Entwicklung eines hochgenauen, satellitenbasierten Navigationsempfängers mit integrierter Kommunikationslösung speziell für Bahnanwendungen. Konferenz-Paper im Rahmen des 1. Internationalen Railway Symposium Aachen (IRSA).
- [58] Bennett, P (2016): Digital Railway Programme. Präsentation vom 10.11.2016 im Rahmen der "Supplier Conference", London.
- [59] Calvert, S (2017): Vorstellung Technikbausteine Digital Railway Programme. Präsentation vom 12.01.2017, London.
- [60] Digital Railway [Hrsg.] (2018): Digital Railway Strategy (Broschüre). April 2018, London.
- [61] Railway Gazette [Hrsg.] (2018): Thameslink first with ATO over ETCS. <https://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/thameslink-first-with-ato-over-etcs.html>. Abgerufen am 09.01.2019.
- [62] Messerli, M (2017): SmartRail 4.0. Das ETCS-Stellwerk. Vortrag im Rahmen des Scientific Railway Signalling Symposiums 2017, Darmstadt.
- [63] Messerli, M (10.11.2017): Digitalisierung bei SBB. SmartRail 4.0. Vortrag im Rahmen des Signal und Draht Kongresses 2017, Fulda.
- [64] Wipfli, A (2018): LEA: Der elektronische Lokführer-Assistent der SBB. Deine Bahn, (10):50–51.

- [65] Zöll, D (2015): Tablets für Triebfahrzeugführer im Fernverkehr. *Deine Bahn*, (7):6–11.
- [66] DB Systel [Hrsg.] (2017): Tschüs Papier, hier hat jetzt digital Vorfahrt. <https://digitalspirit.dbsystel.de/tschues-papier-hier-hat-jetzt-digital-vorfahrt/>. Abgerufen am 16.03.2018.
- [67] DB Systel [Hrsg.] (2017): Wagenreihung einfach mit dem Tablet übermitteln. <https://digitalspirit.dbsystel.de/wagenreihungen-einfach-mit-dem-tablet-uebermitteln/>. Abgerufen am 16.03.2018.
- [68] EI-Eisenbahningenieur [Hrsg.] (2016): CN-Consult: Echtzeit-Fahrgastinformation im Fahrzeug. *EI-Eisenbahningenieur*, (09):17.
- [69] CN-Consult [Hrsg.] (2017): CN-Consult gewinnt Ausschreibung der Deutschen Bahn AG. *Presseinformation im Februar 2017, Mittenaar*.
- [70] Neumann, C, Haas, D (2010): Intelligente Disposition unter Einsatz mobiler Kommunikationsgeräte. *Informationsmanagement als Herausforderung für Eisenbahnverkehrsunternehmen. EI-Eisenbahningenieur*, (08):50–52.
- [71] Bobsien, S, Hilb, I, Schlummer, E (2017): Mit der digitalen Transformation Zukunft für die Güterbahn schaffen. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 5):60–66.
- [72] Krüger, C, Schaffert, M (2017): Mit dem Tablet zum digitalen Bahnunternehmen - von der Planung bis zum Fahrer. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 7+8):28–31.
- [73] Dittmann, G (2017): Transportlogistik 2.0. Und warum die Schiene hierfür nicht neu erfunden werden muss. *Der Eisenbahningenieur*, (3):10-13.
- [74] Sanftleben, D, Sonntag, H, Weber, K (2001): Verfahren "Energiesparende Fahrweise" - ESF. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 9):510–517.
- [75] Netz, M Dr. (2005): Technische Assistenzsysteme der Deutschen Bahn unterstützen Energie sparendes Fahren. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 10):595–598.
- [76] MRK Management Consultants GmbH [Hrsg.] (2017): Marktüberblick Fahrerassistenzsysteme. *Projekt Fahr umweltbewusst! Energieverbrauch im Schienenverkehr durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen reduzieren. Zwischenbericht der MRK Management Consultants GmbH im Auftrag der Allianz pro Schiene e. V., Dresden*.
- [77] Krimmling, J, Steinbrink, G, Reiher, P, Kerwien, D (2017): Innovative und energieoptimale Zugsteuerung mit DatNet und smarttrains. *EI-Eisenbahningenieur*, (11):49–52.
- [78] Norfolk Southern [Hrsg.] (2015): Sustainability Report. Fuel Efficiency. *Pressemitteilung, Norfolk*.
- [79] Walter, M Dr., Schmidt, S, Heine, C Dr.-Ing., Nock, M Dr.-Ing. (2008): Innovative Brems- und Assistenzsysteme im Schienengüterverkehr. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 5):268–272.
- [80] Bobsien, S (2017): Wir lernen sehr viel. Interview mit Steffen Bobsien, Senior-Vice President European Assetmanagement & Technology DB Cargo. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 5):68–69.
- [81] Weigelt, N, Hasse, S (2018): Fahrassistenzsystem LEADER im Einsatz bei DB Cargo. *Deine Bahn*, (10):46–49.

- [82] Hoffmann, MT, Böttcher, J (2018): Vernetzte Fahrerassistenzsysteme. Entwicklung und Einführung der Zuglaufregelung. *Deine Bahn*, (10):6–13.
- [83] Studer, T, Graffagnino, T, Schäfer, R (2017): Fahrempfehlungen im S-Bahn-Betrieb: Pünktlich und energiesparend am Ziel. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (10):75–80.
- [84] Hunscha, U (2018): Projekt "Fahr umweltbewusst!" bringt Licht in den Markt der Fahrerassistenzsysteme. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 3):44–46.
- [85] Pachl, J (2011): Systemtechnik des Schienenverkehrs. *Bahnbetrieb planen, steuern und sichern*. 6. Auflage. SpringerVieweg.
- [86] Rentzsch, M, Liesemeier, B, Seliger, D, Gelbert, L, Wessner, C, Meissner, T, Steinicke, W, Weigel, T (2006): Ergonomische Aspekte eines Führerstandes für den grenzüberschreitenden Verkehr. *Analyse, Bewertung und Gestaltung. EI-Eisenbahningenieur*, (3):32–39.
- [87] Wessner, C (2006): Modtrain EUCAB - Harmonisierung europäischer Fahrerstände. Vortrag am Institut für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme (IFS) am 12.12.2006, Aachen.
- [88] Wessner, C (2007): EUCAB - ungehindert durch Europa. *ZEVrail Glasers Annalen*, 131(Nr. 6-7):228–238.
- [89] Steinicke, WH, Meissner, T, Schober, M, Gelbert, L (2006): Future European-wide harmonised train driver's cab EUCAB - an essential result of Integrated Project Modular Train. Projektbeschreibung. <https://uic.org/cdrom/2006/wcrr2006/pdf/529.pdf>. Abgerufen am 03.05.2018.
- [90] Hübner, L, Miglianico, D, Karsten, C, Barta, M, Zubillaga, X (2010): EUDDplus - Realisierung eines europäischen Lokführerstandskonzeptes. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (Nr. 9):532–538.
- [91] Meissner, T (2010): EUDDplus: European Driver's Desk Advanced Concept Implementation - Contribution to Foster Interoperability. Publishable Final Activity Report 2006-2010.
- [92] Internationaler Eisenbahnverband (UIC) (2009): Schnittstelle Triebfahrzeugführer-Maschine für Elektro- und Dieseltriebwagen, Lokomotiven und Steuerwagen - Funktions- und Systemanforderungen für eine harmonisierte Schnittstelle Triebfahrzeugführer-Maschine, (UIC 612-0).
- [93] Deutsches Institut für Normung e.V. (2016): *Bahnanwendungen - Führerraum - Teil 3: Gestaltung von Führerraumanzeigen*, (DIN EN 16186-3).
- [94] Schaltbau GmbH [Hrsg.] (2018): IntelliDesk. Das smarte Fahrpultkonzept für Schienenfahrzeuge. Broschüre. [https://www.schaltbau-gmbh.com/files/f400\\_de.pdf](https://www.schaltbau-gmbh.com/files/f400_de.pdf). Abgerufen am 26.09.2018.
- [95] Europäische Kommission (2012): Beschluss der Kommission vom 25. Januar 2012 über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme "Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung" des transeuropäischen Eisenbahnsystems. 2012/88/EU.
- [96] Stadlbauer, R (2016): Effizientes Ausrüsten von Schienenfahrzeugen mit ETCS am Beispiel Slowakei. *Signal + Draht*, 108:29–37.
- [97] Europäische Kommission (2016): Verordnung (EU) 2016/919 der Kommission vom 27. Mai 2016 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme "Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung" des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union. TSI ZSS.

- [98] Deutscher Bundestag 18. Wahlperiode (2016): Zugfunksystem GSM-R auf den Schienenwegen des Bundes. Drucksache 18/8054.
- [99] Deutscher Bundestag 18. Wahlperiode (2016): Zuverlässigkeit des digitalen Bahn-Funknetzes GSM-R und Rolle der Bundesnetzagentur. Drucksache 18/8869.
- [100] Sebayang, A (2014): Ersatz für GSM-R: Huawei und Nokia wollen Eisenbahnprobleme mit LTE lösen. <https://www.golem.de/news/ersatz-fuer-gsm-r-huawei-und-nokia-wollen-eisenbahnprobleme-mit-lte-loesen-1409-109428.html>. Abgerufen am 04.05.2018.
- [101] Smith, K: DB selects Siemens-Huawei for GSM-R upgrade. <https://www.railjournal.com/index.php/telecoms/db-selects-siemens-huawei-for-german-gsm-r-upgrade.html>. Abgerufen am 16.04.2018.
- [102] Rees, D (2017): Das Ziel: Ein Netz für alle Anwendungen. Eisenbahntechnische Rundschau, (Nr. 3):22–25.
- [103] Europäische Kommission [Hrsg.] (2016): Mistral - Communication Systems for Next-generation Railways. Projekthomepage. <https://shift2rail.org/projects/mistral/>. Abgerufen am 16.04.2018.
- [104] Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) [Hrsg.] (2014): Funkfernsteuerung bei Eisenbahnen. Sicherheit für Lokrangierführer (Broschüre), Hamburg.
- [105] Handler, O, Heres, G (2015): Allein arbeitende Lokrangierführer. BahnPraxis B, (9):3–5.
- [106] Enning, M, Fratscher, R (2017): Funk-Kommunikation für Güterwagen - Prinzipien und Anwendungsbeispiel. Vortrag im Rahmen des 1. Internationalen Railway Symposiums Aachen (IRSA).
- [107] Hagenlocher, S (2015): Automatische Kupplungssysteme im Schienengüterverkehr - eine Übersicht. Gutachten der hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH im Auftrag der SBB Cargo AG, Basel, Karlsruhe.
- [108] DVV Media Group (Hrsg) (2017): Rail Business Spezial. Güterbahnen 4.0, Hamburg.
- [109] Bieker, T Dr. (2017 Oktober): Abnehmbare Tankcontainer beschleunigen Logistikprozesse auf der ersten und letzten Meile. Eisenbahntechnische Rundschau, (Nr. 10):62–64.
- [110] Pfaff, R Prof. Dr., Enning, M Prof. Dr.-Ing. (2017): Güterwagen 4.0 - Der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 2: Ausgewählte technische Aspekte und Prozesse. Eisenbahntechnische Rundschau, (Nr. 5):74–77.
- [111] Franzen, J, Pinders, U, Stecken, J, Kühlenkötter, B (2017): Automatisiertes Rangieren mit Schienenfahrzeugen – welchen Beitrag können fahrzeugseitige Assistenzsysteme leisten? Vortrag im Rahmen des 1. Internationalen Railway Symposiums Aachen (IRSA).
- [112] Pelz, M Dr.-Ing.: Autonomes Fahren im Schienenfernverkehr. Vortrag im Rahmen des Signal und Draht Kongresses 2016, Fulda.
- [113] Ristic-Durrant, D, Haseeb, MA, Emami, D, Gräser, A, Ciric, I, Simonovic, M, Nikolic, V, Nikolic, D, Eßer, F, Schindler, C (2017): Reliable Obstacle Detection for Smart Automation of Rail Transport. Vortrag im Rahmen des 1. Internationalen Railway Symposiums Aachen (IRSA).

- [114] Jäger, T (2016): Automated Rail Cargo Consortium (ARC). R&I Programme Shift2Rail (Projektbeschreibung). [http://projects.shift2rail.org/s2r\\_ip5\\_n.aspx?p=ARCC](http://projects.shift2rail.org/s2r_ip5_n.aspx?p=ARCC). Abgerufen am 13.04.2018.
- [115] Kleespies, F (2017): Recent developments in driver assistance systems for railways and train operations control systems for conflict recognition and resolution. Vortrag im Rahmen des 1. Internationalen Railway Symposiums Aachen (IRSA).
- [116] Nießen, N Prof., Schindler, C Prof., Vallée, D Prof. (2017): Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb - Potentiale für den Schienenverkehr. Eisenbahntechnische Rundschau, (Nr. 4):32–37.
- [117] International Association of Public Transport (UITP) [Hrsg.] (2012): Press Kit - Metro Automation Facts, Figures and Trends. A global bid for automation: UITP Observatory of Automated Metros confirms sustained growth rates for the coming years.
- [118] Eisenbahn-Revue International [Hrsg.] (2018): SBB-Zug beschleunigt und bremst automatisch. Eisenbahn-Revue International, (2):78.
- [119] Der Eisenbahningenieur [Hrsg.] (2017): Testumgebung für selbstfahrende Züge. EI-Eisenbahningenieur, (09):65.
- [120] bahn manager Magazin [Hrsg.] (2017): Niederlande: ProRail testet 2018 autonomes Fahren. <https://www.bahn-manager.de/niederlande-prorail-testet-2018-autonomes-fahren/>. Abgerufen am 17.04.2018.
- [121] Vosman, Q (2016): Dutch plan "driverless" freight train trial. <http://www.railjournal.com/index.php/freight/dutch-plan-driverless-freight-train-trial.html>. Abgerufen am 17.04.2018.
- [122] Europäische Kommission [Hrsg.] (2018): Shift2Rail - System Approach. Projektinformation. <https://shift2rail.org/research-development/systems-approach/>. Abgerufen am 17.04.2018.
- [123] Europäische Kommission [Hrsg.] (2015): Shift2Rail Project X2Rail-1. Projektinformation. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/205698\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/205698_en.html). Abgerufen am 17.04.2018.
- [124] Europäische Kommission [Hrsg.] (2017): Shift2Rail Project X2Rail-2. Projektinformation. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/211966\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/211966_en.html). Abgerufen am 17.04.2018.
- [125] Scopigno, R (2018): ASTRAIL - Project details. Projektinformation. <https://shift2rail.org/projects/astrail/>. Abgerufen am 13.04.2018.
- [126] Europäische Kommission [Hrsg.] (2017): Etalon. Projektinformation. <https://shift2rail.org/projects/etalon/>. Abgerufen am 16.04.2018.
- [127] Ruffer, M (2017): Fahrzeuginstandhaltung im Wandel. Deine Bahn, (8):26–29.
- [128] Lucke, S (2013): Neue Bahnen für Stuttgart. Technische Konzeption des Stuttgarter Stadtbahnwagens S-DT 8.12. Der Nahverkehr, (12):10–17.
- [129] Korek, R (2014): Schadstoffreduktion in der Praxis. Die Umsetzung der Euro-6-Abgastechnologie bei Stadtbussen von MAN. Der Nahverkehr, (3):26–27.
- [130] Vorburg, V (2015): Kompletter Durchblick mit dem BMS. Überblick und Transparenz für die Fahrzeugdisposition. Der Nahverkehr, (11):61–65.

- [131] Conrads, B, Ruffer, M, lang, M, Berger, T (2015): Mehr Sicherheit im Straßenverkehr. Fahrerassistenzsystem in Straßenbahnen warnt vor Kollisionen. Der Nahverkehr, (6):22–24.
- [132] Kuss, I (2016): Fahrerassistenzsysteme: Elektronischer Beifahrer für Straßenbahnen. Online-Artikel. <https://www.elektroniknet.de/elektronik-automotive/assistenzsysteme/elektronischer-beifahrer-fuer-strassenbahnen-130005.html>. Abgerufen am 24.01.2019.
- [133] Bombardier Transportation [Hrsg.] (2015): Bombardiers Fahrerassistenzsystem für Straßenbahnen erhält Zulassung. Pressemitteilung vom 21.07.2015. <https://de.bombardier.com/de/media/newsList/details.bt-20150721--bombardiers-drivers-assistance-system-for-trams-rec.bombardiercom.html>? Abgerufen am 30.04.2018.
- [134] Köhler, P (2009): Kameras ersetzen Spiegel. Der Nahverkehr, (7+8):56–57.
- [135] Heimbrock, P (2014): Neue Buslenkung erhöht Sicherheit. Der Nahverkehr, (9):36–37.
- [136] in der Beek, M, Raue, P Dr. (2014): ITCS: Vorteile und Risiken. Software der Intermodal Transport Control Systeme standardisieren. Der Nahverkehr, (1+2):22–23.
- [137] IVU Traffic Technologies AG [Hrsg.] (2018): IVU.Cockpit. Die Bordrechnersoftware der IVU. <https://www.ivu.de/produkte-und-loesungen/ivusuite/betriebslenkung/ivucockpit.html>. Abgerufen am 20.04.2018.
- [138] Walter, C (2011): Flexibel reagieren bei Umleitungen. Der Nahverkehr, (3):28–32.
- [139] Seiffert, L (15.03.2018): Das rechnergestützte Betriebsleitsystem (RBL) der Dresdner Verkehrsbetriebe AG - Die Vision für ein intelligentes, intermodales Verkehrsmanagementsystem aus Sicht eines ÖPNV-Unternehmens, Dresden.
- [140] Rebske, R, Soffel, C (2016): Betriebsleitung 2.0 - Vom schwarzen Brett zur Cloud-Lösung. Der Nahverkehr, (12):52–56.
- [141] Gassel, C, Schönherr, B, Matschek, T, Krimmling, J Prof. Dr.-Ing. (2014): Steigerung der ÖPNV-Qualität durch kooperative Ampelanlagen. Erfolgreiches Modellprojekt in Dresden mit den ersten Fahrerassistenzsystemen für Straßenbahnen. Der Nahverkehr, (5):20-25.
- [142] Binder, A, Albrecht, T Dr.-Ing., Bergner, U (2013): Energieeffiziente Fahrweise bei der Hamburger U-Bahn. Dynamische Fahrzeitenregelung optimiert Fahrerassistenzsystem. Der Nahverkehr, (9):25–29.
- [143] Arndt, M, Geske, H, Otto, W (2012): Aufzeichnungssystem optimiert Fahrstil von Busfahrern. Der Nahverkehr, (10):56–61.
- [144] Figl, H (2010): Postbus testet Treibstoffkosten-Reduktion durch Eco-Fahrsystem von Traffilog. Der Nahverkehr, (7+8):61–62.
- [145] Striebich, M (10.11.2016): Automatisierte U-Bahn Nürnberg - Erfahrungen aus Sicht des Betriebs und der Instandhaltung. Vortrag im Rahmen des 16. Signal und Draht Kongress 2016, Fulda.
- [146] Dombrowsky, H, Müller, R Dr., May, A, Seitzinger, E (2008): Premiere für Deutschlands erste automatisierte U-Bahn. VAG Nürnberg: Sicherheit bis ins Detail als Prinzip. Der Nahverkehr, (5):8-16.

- [147] Szepanski, AP (2004): Das Upgrade für die Zugtür. Intelligentes Türspaltsicherungssystem auch für automatischen U-Bahn-Verkehr geeignet. *Der Nahverkehr*, (1+2):64–65.
- [148] Sée, E (07.09.2017): Automatisation par étapes sur les lignes de la RATP. Vortrag im Rahmen der Konferenz nextRail 17, Lausanne.
- [149] Hennigfeld, S (2018): Siemens: Erste autonome Tram in Potsdam. Online-Artikel. <http://www.zughalt.de/2018/09/siemens-erste-autonome-tram-in-potsdam/>. Abgerufen am 25.09.2018.
- [150] Deuring, S (2017): Wie autonome Fahrzeuge in den ÖPNV eingebunden werden. *Der Nahverkehr*, (5):60–62.
- [151] Magenheimer, T (2017): Im Roboterbus ins neue Verkehrszeitalter. Deutsche Bahn setzt auf autonomes Fahren. *Stuttgarter Nachrichten*. <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.bahn-bus-fahrerlos-unterwegs-robo-busse-rollen-ins-neue-verkehrszeitalter.8b72eabd-913c-4d28-96b3-2e6e90354e2d.html>. Abgerufen am 24.04.2018.
- [152] Hunsicker, F, Scherf, C (2017): Autonomes Fahren. Fahrerlose Shuttles für den öffentlichen Personennahverkehr. *Deine Bahn*, (10):16–21.
- [153] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [Hrsg.] (2018): Hamburg Electric Autonomous Transportation (HEAT). Projektinformation. <https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/heat>. Abgerufen am 03.07.2018.
- [154] International Maritime Organisation (IMO) [Hrsg.] (2014): Strategy for the development and implementation of e-navigation. Annex 20 MSC 85/26/Add.1.
- [155] Engler, E, Gewies, S, Born, A, Zibold, R, Heymann, F, Noack, T (2014): Projekt Maritime Verkehrstechnik: E-Navigation Integrität. Abschlussbericht.
- [156] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2018): Automated Aids for safe and efficient Vessel Traffic Processes (A++Set). Projektinformation. [http://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4305/6933\\_read-43983/admin-1/](http://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4305/6933_read-43983/admin-1/). Abgerufen am 18.04.2018.
- [157] Heidrich, A, Richter, R, Albrecht, T, Petermann, J, Zimmermann, J (2014): Projekt "Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inland Water Traffic" (PiLoNav). Endbericht.
- [158] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2018): Abschlussdemonstration des Verbundprojekts LAESSI. LAESSI demonstriert Basistechnologien für autonome Binnenschifffahrt. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-26534/#/gallery/30051](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-26534/#/gallery/30051). Abgerufen am 30.04.2018.
- [159] Kerner, O (2015): Kamerasystem MODAR erhöht Schiffssicherheit. *Schiff & Hafen*, (08):55.
- [160] Schiff & Hafen [Hrsg.] (2017): Energieautarkes Condition-Monitoring-System für Schiffsgetriebe. Online-Artikel. <https://www.schiffundhafen.de/maritim-40/newsfachartikel/single-view-maritim-40/view/energieautarkes-condition-monitoring-system-fuer-schiffsgetriebe.html>. Abgerufen am 24.01.2019.
- [161] Port of Hamburg [Hrsg.] (2018): Neue Binnenschifffahrtskonzepte in Hamburg. Intelligentes Transport System (ITS) für die Binnenschifffahrt. <https://www.hafen-hamburg.de/de/neue-binnenschifffahrtskonzepte-in-hamburg>. Abgerufen am 18.04.2018.

- [162] Hamburger Abendblatt [Hrsg.] (2012): Das Hafengeld wird künftig elektronisch abgerechnet. <https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article108235689/Das-Hafengeld-wird-kuenftig-elektro-nisch-abgerechnet.html>. Abgerufen am 18.04.2018.
- [163] WPS Workplace Solutions [Hrsg.] (2018): Leitstandentwicklung für die Hamburg Port Authority. Der Port Monitor und der Mobile Port Monitor. Produktinformation. [https://files.wps.de/pdf/wps-loesung-portmonitor-vom\\_forschungsprojekt\\_zur\\_leitstandsplattform.pdf](https://files.wps.de/pdf/wps-loesung-portmonitor-vom_forschungsprojekt_zur_leitstandsplattform.pdf). Abgerufen am 18.04.2018.
- [164] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) [Hrsg.] (2017): Donau River Information Services (RIS) in Österreich. Presseinformation. <http://www.doris.bmvit.gv.at/services/river-information-services/ris-in-oesterreich/>. Abgerufen am 18.04.2018.
- [165] Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB) [Hrsg.] (2017): Meldepflicht durch Schleusenpilotprojekt auf der Donau. Blog-Artikel. <https://www.binnenschiff.de/content/meldepflicht-durch-schleusenpilotprojekt-auf-der-donau/>. Abgerufen am 18.04.2018.
- [166] viadonau [Hrsg.] (2014): Donau River Information Services (DoRIS) mobile. Youtube-Imagevideo. <https://www.youtube.com/watch?v=cpQzEyEucAY>. Abgerufen am 30.04.2019.
- [167] Rausch, M (2018): Das CEF-Vorhaben "Verkehrsmanagement-Plattform". Projektinformation TEN-T "Upper Rhine, a connected corridor". <http://www.upper-rhine-ports.eu/de/home-de/9-page-de-contenu-simple/180-das-vorhaben-oberrhein-verkehrsmanagement-plattform.html>. Abgerufen am 18.04.2018.
- [168] Johnson, H, Andersson, K (2016): Barriers to energy efficiency in shipping. *WMU Journal of Maritime Affairs*, (15):79–96.
- [169] Europäische Kommission [Hrsg.] (2015): ULYSSES (Ultra Slow Ships) Report Summary. Projektbeschreibung. [https://cordis.europa.eu/result/rcn/156322\\_en.html](https://cordis.europa.eu/result/rcn/156322_en.html). Abgerufen am 19.04.2018.
- [170] Europäische Kommission [Hrsg.] (2016): REFRESH - Green Retrofitting of Existing Ships. Projektinformation. [https://www.cordis.europa.eu/project/rcn/102394\\_en.html](https://www.cordis.europa.eu/project/rcn/102394_en.html). Abgerufen am 19.04.2018.
- [171] V.Delta [Hrsg.] (2015): REFRESH - Ship Energy Efficiency Management Plan. Projektinformation. <http://www.vdelta.net/media/1319/vdelta-refresh-ship-energy-efficiency-management-plan.pdf>. Abgerufen am 19.04.2018.
- [172] Port of Rotterdam [Hrsg.] (2018): Port Call Optimisation. An efficient port starts with reliable information. Projektinformation. <https://www.portofrotterdam.com/en/shipping/port-call-optimisation>. Abgerufen am 19.04.2018.
- [173] Schiff & Hafen [Hrsg.] (2018): IoT-Technologien sollen Hafenbetrieb optimieren. Online-Artikel. <https://www.schiffundhafen.de/maritim-40/newsfachartikel/single-view-maritim-40/view/rotterdam-iot-technologien-sollen-hafenbetrieb-optimieren.html>. Abgerufen am 24.01.2019.
- [174] Port of Rotterdam [Hrsg.] (2017): Pronto Factsheet Port of Rotterdam. Broschüre. [https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/pronto\\_factsheet\\_port\\_of\\_rotterdam.pdf?token=hgQ6L4Hu](https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/pronto_factsheet_port_of_rotterdam.pdf?token=hgQ6L4Hu). Abgerufen am 24.01.2019.

- [175] Lind, M, Hägg, M, Siwe, U, Haraldson, S (2016): Sea traffic management - beneficial for all maritime stakeholders. *Transportation Research Procedia*, 14:183–192.
- [176] International Harbour Masters Association (IHMA) [Hrsg.], United Kingdom Hydrographic Office (UKHO) [Hrsg.] (2018): IHMA and UKHO Port Information Project. Functional definitions for nautical port information. Broschüre, Rotterdam.
- [177] Blue Rocket [Hrsg.] (2017): 2020 werden Schiffe ferngesteuert. Online-Artikel. <http://blue-rocket.de/2020-werden-schiffe-ferngesteuert/>. Abgerufen am 04.05.2018.
- [178] Laurinen, M (2015): Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative (AAWA). Vortrag im Rahmen des AAWA Seminars Helsinki, Finnland, Helsinki.
- [179] Sietz, H (2018): Autonom fahrende Schiffe. Allein auf hoher See. <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/ferngesteuerte-und-autonom-fahrende-schiffe-15410398.html>. Abgerufen am 19.04.2018.
- [180] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2016): DLR untersucht Extremsituation für Piloten im Flugsimulator. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-17306/#/gallery/22552](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-17306/#/gallery/22552). Abgerufen am 26.04.2018.
- [181] National Aerospace Laboratory (NLR) [Hrsg.] (2015): Manual Operations of 4th Generation Airliners (Man4Gen). A research overview. Projektinformation. <https://reports.nlr.nl/xmlui/bitstream/handle/10921/992/TP-2014-415.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Abgerufen am 24.01.2019.
- [182] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2012): Don't blame it on the weatherman - DLR-Wissenschaftler verringern Wettereinflüsse auf den Luftverkehr. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296\\_read-2911/year-all/#/gallery/5206](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296_read-2911/year-all/#/gallery/5206). Abgerufen am 26.04.2018.
- [183] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.]: Wetter & Fliegen - Sicheres Fliegen im Grenzbereich. [http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1364/1937\\_read-17195/](http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1364/1937_read-17195/). Abgerufen am 26.04.2018.
- [184] Arthur, JJ, Shelton, KJ, Princl, LJ, Nicholas, SN, Ellis, KE, Jones, DR, Bailey, RE, Harrison, SJ (2017): Evaluation of a Head-Worn Display System as an Equivalent Head-Up Display for Low Visibility Commercial Operations. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170007195.pdf>. Abgerufen am 27.04.2018.
- [185] Europäische Kommission [Hrsg.] (2017): AEROGLOSS Report Summary. Periodic Reporting for period 2 - AEROGLOSS (Augmented reality aerial navigation for a safer and more effective aviation). [https://cordis.europa.eu/result/rcn/190388\\_en.html](https://cordis.europa.eu/result/rcn/190388_en.html). Abgerufen am 27.04.2018.
- [186] Aeroglass [Hrsg.] (2018): Augmented Reality Aerial Navigation. <http://allthingsaero.com/general-aviation/article-future-meet-aero-glass>. Abgerufen am 13.07.2018.
- [187] Klingauf, U, Anger, C, Kählert, A (2017): Prädiktive Instandhaltung in der Luftfahrt. *Ingenieurspiegel*, 1:22–23.
- [188] Kählert, A, Giljohann, S, Klingauf, U (2014): Cost-Benefit Analysis and Specification of Component-level PHM Systems in Aircrafts. Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2014:1–12.

- [189] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2014): OMAHA: Overall Management Architecture for Health Analysis. [http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1360/1856\\_read-39645](http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1360/1856_read-39645). Abgerufen am 27.04.2018.
- [190] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2016): Projekte für leiseres Landen: DLR stellt erste Ergebnisse vor. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-20201/#/gallery/24437](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-20201/#/gallery/24437). Abgerufen am 26.04.2018.
- [191] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2016): Klappen-Ballett: Lärmarme Anflüge auf Frankfurt im Simulator getestet. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151\\_read-19314/#/gallery/24321](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-19314/#/gallery/24321). Abgerufen am 26.04.2018.
- [192] Park, K (2017): Airbus is looking towards a future of pilotless planes. Planes manufacturers are racing to develop artificial intelligence that will one day enable computers to fly planes without human beings at the controls. <https://www.independent.co.uk/news/business/news/airbus-pilotless-planes-self-flying-aircraft-passenger-flights-cto-paul-eremenko-a8068956.html>. Abgerufen am 27.04.2018.
- [193] Europäische Kommission [Hrsg.] (2016): Corvid. AI-based autonomous flight control for the electric passenger aircraft of the nearest future. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/211585\\_de.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/211585_de.html). Abgerufen am 27.04.2018.
- [194] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2018): ALAADy (Automated Low Altitude Air Delivery). [http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-12803/22375\\_read-49762/](http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-12803/22375_read-49762/). Abgerufen am 27.04.2018.
- [195] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) [Hrsg.] (2017): UFO - Phase 1 (Unmanned Freight Operations - Phase 1). [http://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1149/1737\\_read-47231/](http://www.dlr.de/fl/desktopdefault.aspx/tabid-1149/1737_read-47231/). Abgerufen am 27.04.2018.
- [196] ZAE Bayern - Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. [Hrsg.] (2017): Tätigkeitsbericht 2016 der ZAE Bayern, Würzburg.
- [197] Schüller, K, Fritsch, S (Hrsg) (2017): Wie man Wert aus Smart Data schöpft. Erfahrungen aus dem BayInvent-Projekt "PV Smart: Automatisierte Fehlererkennung in Solaranlagen". Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- [198] Coronado, DA, Fischer, K (2015): Condition Monitoring of Wind Turbines: State of the art, user experience and recommendation. Technical Report, Bremerhaven.
- [199] Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Technology (IWES) [Hrsg.] (2017): BeLeb. Entwicklung einer Methode zur Bestimmung der Lebensdauer von Rotorblatt-Beschichtungen. <https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/beleb.html>. Abgerufen am 04.05.2018.
- [200] Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Technology (IWES) [Hrsg.] (2015): MOD-CMS. Modellbasiertes und sensorgestütztes Condition Monitoring System für Windenergieanlagen. <https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/mod-cms.html>. Abgerufen am 04.05.2018.

- [201] Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Technology (IWES) [Hrsg.] (2017): MultiMonitor RB. Multivariates Schadensmonitoring von Rotorblättern. <https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/multimonitor.html>. Abgerufen am 04.05.2018.
- [202] Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Technology (IWES) [Hrsg.] (2017): Thermoflight. Konzeptstudie für die Entwicklung eines optimierten Wartungs- und Inspektionskonzepts von Offshore Windenergieanlagen unter Zuhilfenahme von Thermografie und SHM-Technologien als zerstörungsfreie Prüftechnik in Kombination mit unbemannten Fluggeräteträgern. <https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/thermoflight.html>. Abgerufen am 04.05.2018.
- [203] Hochschule Ostwestfalen-Lippe [Hrsg.] (2015): PrognoseBrain. Entwicklung eines Systems zur Nutzung lernender, korrelativ und prognostisch interpretierender Algorithmen für das Condition Monitoring im produzierenden Mittelstand. <https://www.hs-owl.de/init/forschung/projekte/b/filteroff/289/single.html>. Abgerufen am 04.05.2018.
- [204] Niggemann, O (2015): Selbstlernende Systeme zur Anlagenüberwachung.
- [205] TÜV Rheinland [Hrsg.] (2016): Mobiles Schwingungsmesssystem zum temporären Einsatz auf der Windkraftanlage. Produktinformation. [http://condition-monitoring.online/sites/comos/files/media/cms\\_mobil\\_wka\\_cc8\\_tuev\\_rheinland\\_istec\\_de\\_bj.pdf](http://condition-monitoring.online/sites/comos/files/media/cms_mobil_wka_cc8_tuev_rheinland_istec_de_bj.pdf). Abgerufen am 04.05.2018.
- [206] Europäische Kommission [Hrsg.] (2017): Wishful. Wireless Software and Hardware platforms for Flexible and Unified radio and network control. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/194304\\_de.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/194304_de.html).
- [207] Kaminski, N, et al. (2017): Wireless Software and Hardware Platforms for Flexible and Unified Radio and Network Control (WISHFUL). In: Serrano, M, Isaris, N, Schaffers, H, Domingue, J, Boniface, M, Korakis, T (Hrsg), *Building the Future Internet through FIRE. A Research and Experimentation based Approach*. River Publishers, Aalborg.
- [208] Europäische Kommission [Hrsg.] (2017): elastic Wireless Networking Experimentation. eWINE. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/199488\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/199488_en.html). Abgerufen am 29.06.2018.
- [209] Kulin, M, Kazaz, T, Moerman, I, Poorter, E de (2018): End-to-End Learning From Spectrum Data. A Deep Learning Approach for Wireless Signal Identification in Spectrum Monitoring Applications. *IEEE Access*, 6:18484–18501.
- [210] Europäische Kommission [Hrsg.] (2017): Building an Intelligent System of Insights and Action for 5G Network Management. CogNet. [https://cordis.europa.eu/project/rcn/197345\\_en.html](https://cordis.europa.eu/project/rcn/197345_en.html). Abgerufen am 29.06.2018.
- [211] Sullivan, K (2017): Smarter networks through machine learning. Results of 5G-PPP project CogNet. <https://www.eurescom.eu/news-and-events/eurescommmessage/eurescom-message-summer-2017/smarter-networks-through-machine-learning.html>. Abgerufen am 29.06.2018.
- [212] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) [Hrsg.] (2017): PAiCE - Digitale Technologien für die Wirtschaft. Förderprogramm für digitale Innovationen in industriellen Wertschöpfungsprozessen, Berlin.
- [213] CELTIC-NEXT Office [Hrsg.] (2018): Secure Networking for a data center cloud in Europe. SENDATE. <https://www.celticplus.eu/project-sendate/>. Abgerufen am 02.07.2018.

- [214] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) [Hrsg.] (2011): Kompetenz- und Forschungszentren für IT-Sicherheit. <https://kompetenz-it-sicherheit.de/>. Abgerufen am 02.07.2018.
- [215] Helmholtz Center for Information Security [Hrsg.] (2018): Forschungsgebiete des CISA - Helmholtz Zentrums. <https://www.cispa.saarland/de/research/>. Abgerufen am 02.07.2018.
- [216] Nationales Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit [Hrsg.] (2018): Forschungsgebiete des CRISP. Center for Research in Security and Privacy. <https://www.crisp-da.de/forschung/forschungsgebiete/>. Abgerufen am 02.07.2018.
- [217] Karlsruher Institut für Technologie (KIT) [Hrsg.] (2018): Sicherheit und Privatheit für die Stromnetze der Zukunft. <https://www.kastel.kit.edu/energie.php>. Abgerufen am 02.07.2018.
- [218] Karlsruher Institut für Technologie (KIT) [Hrsg.] (2018): Sicherheit und Datenschutz für die zukünftige Lebens- und Arbeitswelt. <https://www.kastel.kit.edu/energie.php>. Abgerufen am 02.07.2018.
- [219] Nelles, J, Kuz, S, Mertens, A, Schlick, CM (2016): Human-centered design of assistance systems for production planning and control. The role of the human in Industry 4.0. In: , *2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. IEEE.
- [220] Deutsches Institut für Normung e.V. [Hrsg.] (2006): DIN EN ISO 9241-110 Ergonomie der Mensch-System,-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung; Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2006.
- [221] Bhavsar, P, Srinivasan, B, Srinivasan, R (2016): Pupillometry Based Real-Time Monitoring of Operator's Cognitive Workload To Prevent Human Error during Abnormal Situations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(12):3372–3382.
- [222] Nelles, J, Kuz, S, Schlick, C (2015): Untersuchung der Polarität der Informationsvisualisierung zur Entscheidungsunterstützung des Menschen im Kontext von Industrie 4.0. In: , *Verantwortung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress, 25. - 27.02.2015, Karlsruhe*. GfA-Press, Dortmund.
- [223] Bundesrepublik Deutschland (1967): Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung. EBO.
- [224] Hausmann, A, Enders, DH (2007): Grundlagen des Bahnbetriebs. 2. Auflage. Bahn Fachverlag, Heidelberg, Mainz.
- [225] Simon, J (2009): Zugbeeinflussungssysteme. *Deine Bahn*, (3):12–17.
- [226] Stodtmeister, B (2009): Linienförmige Zugbeeinflussung bedienen; LZB 80-Fahrzeugeinrichtungen. Ril 483.0202.
- [227] Janicki, J (2011): Sicheren und zuverlässigen Zugbetrieb gewährleisten. *Deine Bahn*, (6):26–31.
- [228] Eisenbahn-Bundesamt [Hrsg.] (2017): Nationaler Umsetzungsplan ETCS. Version 1.11.
- [229] Arend, L, Pott, L, Hoffmann, N, Schanck, R (2018): ETCS Level 2 ohne GSM-R. *Signal + Draht*, 110(10):18–28.
- [230] Speiser, N (2013): Schrittweise Einführung von ETCS. *BahnPraxis*, (1):3–8.
- [231] DB AG (2015): Ril 483.0701 ETCS-Fahrzeugeinrichtungen bedienen.

- [232] Bahn Fachverlag GmbH (2003): GSM-R – weitere Fortschritte auf dem Weg zur digitalen Kommunikation. *Deine Bahn*, (11):673–676.
- [233] Münkkel, C (2017): Betriebliche Rückfalllösung zur Kompensation von GSM-R-Zugfunk-Versorgungsausfällen. *BahnPraxis*, (7+8):3–6.
- [234] Legler, H (2005): Triebfahrzeuge bedienen - Baureihe 146.1/.2. Ril 493.1146.
- [235] Kamin, S (2015): DB Schenker Rail setzt auf intelligente Lokomotiven. *Deine Bahn*, (5):24–25.
- [236] DB Regio AG [Hrsg.] (1999): EBUla Schulungsunterlage. Nachdruck der unveränderten Schulungsunterlage 02.09.1999. 2. Auflage, Nürnberg.
- [237] Friedrich, W, Schöneich, W (2006): EBUla-Funk. Datenversorgung von EBUla über GSM-R. *Deine Bahn*, (8):54–57.
- [238] Döpping, M (2003): Elektronischer Buchfahrplan und La (EbuLa). Praktische Hinweise von Lokführer zu Lokführer für den Regelbetrieb. *BahnPraxis B*, (12):155–158.
- [239] DB AG (2017): Triebfahrzeuge bedienen. Fahrerassistenzsystem LEADER. Ril 493.0100Z01.
- [240] DB Cargo AG [Hrsg.] (2018): Schulungsunterlage Mobile Kommunikation. 7. Auflage, Mainz.
- [241] Europäische Kommission (2013): Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 der Kommission vom 30. April 2013. Verordnung (EU) Nr. 402/2013.
- [242] Bundesrepublik Deutschland (1993): Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG).
- [243] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2016): Richtlinie (EU) 2016/798 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Mai 2016 über Eisenbahnsicherheit (Neufassung). Richtlinie (EU) 2016/798.
- [244] Deutsche Bahn AG (2013): Rahmenrichtlinie 451.0200 Betriebliches, organisatorisches und technisches Risikomanagement im System Bahn - Teil 2: Bewertungsstellen. Ril 451.0200.
- [245] Deutsche Bahn AG (2015): Rahmenrichtlinie 451.0100 Betriebliches, organisatorisches und technisches Risikomanagement im System Bahn - Teil 1: Handbuch RM. Ril 451.0100.
- [246] Deutsches Institut für Normung e.V. (12.02.2016): Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) - Teil 1: Generischer RAMS Prozess.
- [247] DB Netz AG [Hrsg.] (2011): Elektronischer Buchfahrplan und La. Ril 497.
- [248] Mousiol, S (2015): Nutzung elektronischer Arbeitsmittel Win-win – für wen? *GDL Magazin VORAUS*.
- [249] Roth-Ebner, C (2013): Fit für mediatisierte Arbeitswelten. Ein Kompetenzprofil für Heranwachsende. *Medien Und Erziehung*, 57(1):31–37.
- [250] Gottschall, K, Voß, GG (2005): Entgrenzung von Arbeit und Leben. Zum Wandel der Beziehung von Erwerbstätigkeit und Privatsphäre im Alltag. 2. Auflage. Hampp, München.
- [251] Schulz, A (2017): Medienbildung für "digital natives"?!
- [252] Welling, S, Brüggemann, M, Breiter, A (2015): Zugangs- und Nutzungsbedingungen als substanzielle Voraussetzungen zur Wahrnehmung von Bildungschancen.

- [253] Rövekamp, M (25.04.2017): Wir schauen nicht auf Schulnoten. Chef-Recruiterin der Deutsche Bahn. Der Tagesspiegel.
- [254] Schulte, S, Schulz, J (2008): Lebenslanges Lernen im Prozess der Arbeit Evaluation eines Transfermodells für die betriebliche Weiterbildung. *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis - BWP*, 37(2):26–30.
- [255] Gottmann, W (2017): Triebfahrzeugführer der DB Fernverkehr AG. *BahnPraxis Aktuell*, (B6):5–7.
- [256] Platt, A (2018): Regelmäßige Fortbildung für Triebfahrzeugführer der DB Regio AG. *BahnPraxis Aktuell*, (B1):12–13.
- [257] Schöberl, H (2015): Bereitstellung von Technischen Informationen. *BahnPraxis*, (1):3–9.
- [258] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz [Hrsg.] (2018): Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG).
- [259] Rosandic, I (2017): Digital lernen: Tablets für unsere Fahrdienstleiter-Azubis. *BahnPraxis Spezial*, (B9):6–7.
- [260] Bode, C: Unterweisungen mit Medien unterstützen. *BahnPraxis Aktuell*, 2018(B3):10–11.
- [261] Beutgen, C (2018): Die Zukunft des digitalen Lebens beginnt jetzt. *DB Training, DeineBahn*, (7).
- [262] SpringerGabler (Hrsg) (2019): Gabler Wirtschaftslexikon. Stichwort "Avatar".
- [263] Hammermann, A, Stettes, O: Qualifikationsbedarf und Qualifizierung: Anforderungen im Zeichen der Digitalisierung. In: , *IW policy paper*.
- [264] Reimann, G, Frenzel, T (2009): Moderne Eignungsbeurteilung mit der DIN 33430. Mit einer Software zur computergestützten Konformitätsprüfung und einem Originalabdruck der DIN 33430. 1. Auflage. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden.
- [265] Kaber, DB, Endsley, MR (1997): Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety. *Process Safety Progress*, (16(3)):126–131.
- [266] Hobmair, H (1997): *Psychologie*. 2. Auflage. Stam, Köln.
- [267] Hagendorf, H., Krummenacher, J., Müller, H.-J., & Schubert, T. (2011): *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [268] Luczak, H (1975): *Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen*. VDI-Verl., Düsseldorf.
- [269] Bear, MF, Connors, BW, Paradiso, MA (2018): *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. 4. Auflage. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [270] Stangl, W: Stichwort: 'Unterschiedsschwelle'. In: , *Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik*.

- [271] Shelton, J, Kumar, GP (2010): Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times. *Neuroscience and Medicine*, 01(01):30–32.
- [272] Bundesen, C (1990): A theory of visual attention. *Psychological review*, 97(4):523–547.
- [273] Luck, SJ, Vogel, EK (1997): The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657):279–281.
- [274] Schlick, C, Luczak, H, Bruder, R (2010): *Arbeitswissenschaft*. Springer, Heidelberg.
- [275] Verein deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg) (1980): *Handbuch der Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation*. VDI-Verl., Düsseldorf.
- [276] Kremser, F, Lorenz, D, Remlinger, W, Bengler, K (2012): Nutzerzentrierte Fahrerplatzauslegung des Elektrofahrzeugs MUTE mit dem digitalen Menschmodell RAMSIS. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66(2):104–114.
- [277] Schmid, M, Maier, T (2012): Ergonomie versus Ästhetik? Die funktionale und formale Integration im Fahrzeugcockpit. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66(2):129–139.
- [278] Göbel, M, Treugut, F (2012): Leistungsbeeinträchtigung durch visuelle Doppelbelastung bei der Fahrzeugführung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66(2):183–193.
- [279] Yerkes, RM, Dodson, JD (1908): The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5):459–482.
- [280] Wickens, C, Hollands, S, Banury, S, Parasuraman, R (2013): *Engineering Psychology*. Pearson Education Inc., Boston (u.a.).
- [281] Pfromm, M, Cieler, S, Bruder, R (2015): Auslegung und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für ein umfassendes Fahrerassistenzkonzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 69(2):71–80.
- [282] Stein, T, Seeger, M, Borys, Bernd-Burkhard, Schmidt, Ludger (2015): Untersuchung des Nutzungsverhaltens bezüglich haptischer Rückmeldung bei mobilen Endgeräten mit Touchscreens. *Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*, 61.
- [283] Kim, JH, Aulck, L, Bartha, MC, Harper, CA, Johnson, PW (2014): Differences in typing forces, muscle activity, comfort, and typing performance among virtual, notebook, and desktop keyboards. *Applied Ergonomics*, 45(6):1406–1413.
- [284] Seeger, M, Stein, T, Borys, Bernd-Burkhard, Schmidt, Ludger (2016): Untersuchung der typischen Fingerkräfte bei der Eingabe auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche. *Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*, 62.
- [285] Stein, T, Seeger, M, Schmidt, L (2016): Die vibrotaktile Wahrnehmung des Menschen an einer ebenen Oberfläche. *Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*, 62.
- [286] Davis, FD, Bagozzi, RP, Warshaw, PR (1989): User Acceptance of Computer Technology. A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8):982–1003.
- [287] Popova-Dlugosch, S, Wenz, A, Bengler, K (2014): Einfluss der Touchscreen-Größe von mobilen Geräten auf die Größe auszuführender Gesten und auf die subjektive Bewertung. *Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*, 60:534–536.

- [288] Breuninger, J, Popova-Dlugosch, S, Bengler, K (2014): Design and Evaluation of an Ergonomic Virtual Thumb Keyboard for Tablet Computers. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 60:427–429.
- [289] Chen, J, Proctor, RW (2013): Response-effect compatibility defines the natural scrolling direction. *Human factors*, 55(6):1112–1129.
- [290] Bröhl, C, Mertens, A (2017): Task Dependent Analysis of Handheld Positions on Touchscreen Devices. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 63.
- [291] Tegtmeier, P, Wischniewski, S (2017): Smartphones und Tablets in der Arbeit – Ein Review zu physischer Beanspruchung durch Smart Devices. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 63.
- [292] Bretschneider-Hagemes, M (2015): Etablierung einer Fahrsimulation zur Beurteilung multidimensionaler Aufgabenlasten durch mobile IKT an Fahrerarbeitsplätzen – objective fidelity beats equipment fidelity? Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 61.
- [293] Breuninger, J, Popova-Dlugosch, S, Bengler, K (2012): Einsatz von modernen innovativen Touch- Interaktionskonzepten in Produktivsystemen. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 58:261–264.
- [294] Kockrow, R, Hoppe, A (2016): Visualisierungsmitteldichte in Kraftwerksleitwarten – Gestaltungsempfehlungen als Ableitung aus Blickverlaufsstudien. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70(3):142–150.
- [295] Herzberg, F, Mausner, B, Snyderman, BB (1959): The motivation to work.
- [296] Schmitz, B, Wiese, BS (2006): New perspectives for the evaluation of training sessions in self-regulated learning. Time-series analyses of diary data. *Contemporary Educational Psychology*, 31(1):64–96.
- [297] Pereira, A, Miller, T, Huang, Y-M, Odell, D, Rempel, D (2013): Holding a tablet computer with one hand: effect of tablet design features on biomechanics and subjective usability among users with small hands. *Ergonomics*, 56(9):1363–1375.
- [298] Coppola, SM, Lin, MYC, Schilkowsky, J, Arezes, PM, Dennerlein, JT (2018): Tablet form factors and swipe gesture designs affect thumb biomechanics and performance during two-handed use. *Applied Ergonomics*, 69:40–46.
- [299] Wu, F-G, Luo, S (2006): Performance study on touch-pens size in three screen tasks. *Applied Ergonomics*, 37(2):149–158.
- [300] Helfferich, C (2014): Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N, Blasius, J (Hrsg), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- [301] Blöbaum, B., Nölleke, D., & Scheu, A. M: Das Experteninterview in der Kommunikationswissenschaft. In: Averbek-Lietz, S, Meyen, M (Hrsg), *Handbuch nicht standardisierte Methoden in der Kommunikationswissenschaft*. Springer, Wiesbaden.

- [302] Fadden, S, Ververs, PM, Wickens, CD (2016): Costs and Benefits of Head-Up Display Use. A Meta-Analytic Approach. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 42(1):16–20.
- [303] Automotive-Technology (2017): BMW Head-Up-Display. <http://automotive-technology.de/bmw-head-up-display/>. Abgerufen am 29.11.2018.
- [304] Kim, H, Gabbard, JL (2018): Quantifying Distraction Potential of Augmented Reality Head-Up Displays for Vehicle Drivers. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 62(1):1923.
- [305] Liu, Y-C, Wen, M-H (2004): Comparison of head-up display (HUD) vs. head-down display (HDD). Driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan. International Journal of Human-Computer Studies, 61(5):679–697.
- [306] Donkor, G. E. Burnett R. A. (2012): Evaluating the impact of Head-Up Display complexity on peripheral detection performance: a driving simulator study. Advances in Transportation Studies, (28):5–16.
- [307] Beile, J, Hadwiger, F (2018): Die Digitalisierung gemeinsam gestalten. Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich für die Beschäftigten des DB-Konzerns?
- [308] Eisenbahn-Bundesamt [Hrsg.] (2018): Eisenbahnrecht des Bundes. Gesetze zum Download. [https://www.eba.bund.de/DE/RechtRegelwerk/GesetzeVerordnungen/Eisenbahnrecht/eisenbahnrecht\\_node.html](https://www.eba.bund.de/DE/RechtRegelwerk/GesetzeVerordnungen/Eisenbahnrecht/eisenbahnrecht_node.html). Abgerufen am 23.10.2018.
- [309] Bundesrepublik Deutschland (1987): Verordnung über den Bau- und Betrieb der Straßenbahnen. BOStrab.
- [310] Europäische Kommission (2015): Verordnung (EU) 2015/995 der Kommission vom 8. Juni 2015 zur Änderung der Beschlusses 2012/757/EU über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung" des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union. Verordnung (EU) 2015/995.
- [311] Heinz, A (2018): DB Regio AG setzt zukünftig auf das Betriebsregelwerk EVU (BRW). Bahn-Praxis B, (4):8–9.
- [312] DB AG (2017): Richtlinien 408.01-06 und 408.48 Fahrdienstvorschrift.
- [313] Bundesrepublik Deutschland (2017): Bundesdatenschutzgesetz (BDSG).
- [314] N.N. (24.11.2010): Konzernbetriebsvereinbarung Beschäftigtendatenschutz im DB Konzern (Arbeitstitel: KBV BDS), Berlin, Frankfurt a. M.
- [315] Kiesche, E (2016): Datenschutz im Konzern der Deutschen Bahn AG. Reihe Praxiswissen Betriebsvereinbarungen, Düsseldorf.
- [316] Gordeychik, S (2017): Cybersicherheitsrisiken bei kommunikationsbasierten Steuerungssystemen. Bewertung und Bekämpfung im Bereich der Eisenbahn. Der Eisenbahningenieur, (3):30–33.
- [317] Arbeitgeber- und Wirtschaftsverband der Mobilitäts- und Verkehrsdienstleister e. V. (Agv MoVe) [Hrsg.], Eisenbahn- und Verkehrsgewerkschaft (EVG) [Hrsg.] (2016): Tarifvertrag zur Zukunft der Arbeit im Rahmen der Digitalisierung im DB-Konzern (TV Arbeit 4.0 EVG 2016).

# 12 Anhänge

## 12.1 Mitzuführende Vordrucke im Tzf

TABELLE 17: AUF DEM TFZ MITZUFÜHRENDE VORDRUCKE  
(EIGENE DARSTELLUNG IN ANLEHNUNG AN RIL 418.2112A02 [3])

### Vordruck (mit zugehöriger Vordrucknummer)

X\* = NUR BEI BEDARF

	LOKOMOTIVEN IM GÜTERVERKEHR	LOKOMOTIVEN IM REISEVERKEHR	TRIEBZÜGE/ TRIEBWAGEN IM FERNVERKEHR	TRIEBZÜGE/ TRIEBWAGEN IM NAHVERKEHR	STEUERWAGEN IM NAH- UND FERN- VERKEHR
BEFEHL (408.0412V01)	x	x	x	x	x
WAGENLISTE A 5 (408.0311V12)		x			x
BREMSZETTEL (408.0312V01)		x			x
FAHRPLAN-MITTEILUNG (408.0415V01)	x	x	x	x	x
MELDEZETTEL ÜBER ZUGVORBEREITUNG (435.0002V05)	x	x			x
FERNSPRECHBUCH FÜR DEN ZUGLEITBETRIEB (436.0001V02)	x*	x*	x*	x*	x*
ZLB-BEFEHL (436.0001V04)	x*	x*	x*	x*	x*
FERNSPRECHBUCH FÜR DEN SIGNALISIERTEN ZUGLEITBETRIEB (437.0001V01)	x*	x*	x*	x*	x*
SZB-BEFEHL (437.0001V02)	x*	x*	x*	x*	x*
ÜBERGABEBUCH (492.0001V01 UND V02)	x	x		x	x
AUFTRAGSSCHEIN/FAHRZEUGSTÖRUNGSMELDUNG (492.0001V03)	x	x		x	x
MUSTER R1 „BREMSE UNBRAUCHBAR“ (936.1102V06)	x				
STÖRUNGSMELDEZETTEL FÜR TF (936.1102V36)	x				
MELDEZETTEL GRAFFITI (099.70-73; JE NACH FZG)	x	x		x	x
FESTSTELLUNGEN ZU SCHADENSFÄLLEN DURCH ZUB/TF (101.0002V03)		x		x	
BEKLEBEZETTEL MUSTER S „TÜR UNBENUTZBAR“ (983.0145V06)			x	x	x*

## 12.2 Verzeichnis der Forschungs- und Entwicklungsprojekte

Auflistung genannter Forschungs- und Entwicklungsprojekte entsprechend der Reihenfolge der Nennung im Fließtext.

### 12.2.1 Bereich Digitalisierung des Eisenbahnbetriebs

TABELLE 18: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DES EISENBAHNBETRIEBS

Projektname	Laufzeit	AG/Finanzierungs-träger	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierter Bahnbetrieb</b>					
<b>CONDITION MONITORING FOR RAILWAY APPLICATIONS (COMORAN)</b>	vorgestellt 2010	Eigenentwicklung	Knorr-Bremse; Spezialist für Industrielles Condition Monitoring	Technical & Diagnostic Display (TDD); Überwachung und Diagnose für Radsatzlager und Laufflächen von Rädern	<a href="http://www.knorr-bremse.de/de/railvehicles/einleitung.jsp">http://www.knorr-bremse.de/de/railvehicles/einleitung.jsp</a>
<b>SIEMENS MOBILITY SERVICES (SIMOS)</b>	vorgestellt 2015	Eigenentwicklung	Siemens AG	Sichere Datenübertragung, Fehlererkennung und –vorhersage sowie weitere smarte Technologien für Schienenfahrzeuge	<a href="https://www.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/master/product-and-services/mobility/rail-solutions/services/simos-portfolioflyer-de-final.pdf">https://www.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/master/product-and-services/mobility/rail-solutions/services/simos-portfolioflyer-de-final.pdf</a>
<b>VERNETZUNG VON LOKOMOTIVEN („LOK 4.0“ UND „TECHLOK“)</b>	vorgestellt 2017	DB Cargo	Siemens AG	Zustandsbasierte und prädiktive Instandhaltung von Tzf des Schienengüterverkehrs	<a href="https://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=de/pressemitteilungen/2017/mobility/pr2017070366mode.htm&amp;content[]=MO">https://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=de/pressemitteilungen/2017/mobility/pr2017070366mode.htm&amp;content[]=MO</a>
<b>INSTANDHALTUNGS- MANAGEMENT-SYSTEME</b>	vorgestellt 2017	Eigenentwicklung	DB Systemtechnik	Automatisierte Voraussagen über drohende Schäden	<a href="https://www.db-systemtechnik.de/dbstde/start">https://www.db-systemtechnik.de/dbstde/start</a>
<b>ZUSTANDSORIENTIERTE INSTANDHALTUNG BZW. CONDITIONED BASED MAINTENANCE (CBM)</b>	seit 2013	DB Mobility Networks Logistics	DB Regio DB Cargo Schienenfahrzeugindustrie	Automatisierte Zustandsüberwachung von Bauteilen unterschiedlicher Schienenfahrzeuge	<a href="http://www.schienenfahrzeugtaugung.at/download/PDF2016/MiV01_Schulte-Werning.pdf">http://www.schienenfahrzeugtaugung.at/download/PDF2016/MiV01_Schulte-Werning.pdf</a>

<b>OPTIMIZED PRO ACTIVE LIFE CYCLE APPROACH (OPRA)</b>	seit 2010	DB Schenker	Voith IT Solutions; Kooperationspartner IT-Informatik GmbH	Sammeln von Leistungs- und Diagnosedaten sowie Störungen und Senden an DB-eigenes Integriertes System der Instandhaltung (ISI)	<a href="https://docplayer.org/1039321-Whitepaper-opra-it-informatik-gmbh-voith-it-solutions-gmbh.html">https://docplayer.org/1039321-Whitepaper-opra-it-informatik-gmbh-voith-it-solutions-gmbh.html</a>
<b>AUFBAU UND ERPROBUNG VON INNOVATIVEN GÜTERWAGEN</b>	2016-2018	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	DB Cargo, VTG AG und Unterauftragnehmer (u. a. ASTO Telematics GmbH, DB Systemtechnik GmbH, Knorr-Bremse, Nexiot AG, RWTH Aachen, Siemens AG, TU Berlin)	Anwendung und Betriebserprobung prototypischer Güterwagentechnologien zur Lärmreduktion und Energieverbrauchssenkung	<a href="https://www.innovativer-gueterwagen.de">https://www.innovativer-gueterwagen.de</a>
<b>LEISE, LEICHT, LAUFSTARK, LOGISTIKFÄHIG UND LIFE-CYCLE-KOSTENORIENTIERT (5L)</b>	2015 – 2017	SBB Cargo, Bundesamt für Umwelt (BAFU)	Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS); Rail Cargo Group (RCG); PJ Messtechnik (PJM) und Waggonhersteller	Teilautomatisierung der Zugvorbereitung, Sensorik zur Zustandsinformation von Ladung und Waggon, GPS-Lokalisierung und weitere digitale Technologien	<a href="https://blog.sbbcargo.com/28624/5l-zugder-traum-vom-zukunfts-gueterwagen-wird-wahr/">https://blog.sbbcargo.com/28624/5l-zugder-traum-vom-zukunfts-gueterwagen-wird-wahr/</a>
<b>ZUSTANDSENSORIK UND SENSORVERNETZUNG IM GÜTERWAGEN</b>	vorgestellt 2016	Eigenentwicklung	Lenord, Bauer & Co. GmbH	Vibrationssensoren zur Detektion von Flachstellen und drohender Lagerschäden. Drahtlos-Datenkommunikation an punktuell vorhandenen, verschlüsselten WLAN-Schnittstellen sowie per Radio-frequency identification (RFID)	<a href="https://www.lenord.de/lenord-bauer/">https://www.lenord.de/lenord-bauer/</a>
<b>CARGO CONDITION-BASED MONITORING (CARGOCBM)</b>	2011 – 2013	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)	Technische Universität Berlin; Industriepartner (u. a. Lenord, Bauer & Co. GmbH)	Diagnosealgorithmen, On-Board-Diagnosehardware und On-Board-Energieversorgung an Güterwaggons	<a href="http://harting-com.harting.biz/fileadmin/harting/documents/lg/hartingtechnologygroup/news/fachpublikationen/fachpublikationen2014/2014_09_Railway_Gazette_Keeping_the_goods_on_track.pdf">http://harting-com.harting.biz/fileadmin/harting/documents/lg/hartingtechnologygroup/news/fachpublikationen/fachpublikationen2014/2014_09_Railway_Gazette_Keeping_the_goods_on_track.pdf</a>
<b>PROZESSOPTIMIERUNG FÜR DEN SCHIENENGÜTERVERKEHR</b>	vorgestellt 2016	Verein Deutscher Ingenieure (VDI)	Hochschule Rhein-Waal	Evaluierung technischer Möglichkeiten des permanenten Austauschs von Zustandsmeldungen zwischen Waggons und Tfz (Intrazugkommunikation)	
<b>INFORMATIONSPLATTFORM TECHNISCHER INNOVATIONSKREIS SCHIENENGÜTERVERKEHR (TIS)</b>	vorgestellt 2016	Eigenentwicklung	Fahrzeughersteller, Waggonvermieter und Verkehrsunternehmen (u. a. Knorr-Bremse, Waggonbau Niesky GmbH, Waggonbau Graaff GmbH, GATX Rail, VTG AG, DB Cargo, SBB Cargo); Technische Universität Berlin und Dresden	Identifizierung und Förderung von Basis-Innovationen für Eisenbahngüterwagen, um die Funktionalitäten leise, leicht, laufstark, logistikfähig und life-cycle-kostenorientiert (5L) zu erfüllen	<a href="https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-referent-innovative-gueterwagen-huellen.pdf?__blob=publicationFile">https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-referent-innovative-gueterwagen-huellen.pdf?__blob=publicationFile</a>
<b>INTEGRIERTES NETZWERK UND GÜTERWAGEN 4.0</b>	vorgestellt 2016	Eigenentwicklung	DB Cargo	Fernüberwachung von Wagen- und Ladungszuständen	

<b>AUTOMATISIERUNG FÜR SCHIENENVERKEHRSSYSTEME – DER WEG ZUM GÜTERWAGEN 4.0</b>	vorgestellt 2016	Eigenentwicklung	Fachhochschule (FH) Aachen; VDI	Expertenforum zur Automatisierung von Güterverkehrsprozessen	<a href="https://www.fh-aachen.de/fachbereiche/maschinenbau-und-mechatronik/forschung-projekte/industrie-40-projekte/gueterwagen-40">https://www.fh-aachen.de/fachbereiche/maschinenbau-und-mechatronik/forschung-projekte/industrie-40-projekte/gueterwagen-40</a>
<b>PRODUKTIVITÄTSSTÄIGERUNG IM SGV</b>	vorgestellt 2017	Eigenentwicklung	Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)	Unterstützung von Mitgliedsunternehmen u. a. bei der Digitalisierung von Güterwagen	<a href="https://busse-und-bahnen.nrw.de/news-downloads/aktuelles/detail/2017-02-07-vdv-fordert-fair-play-fuer-den-schiene-gueterverkehr">https://busse-und-bahnen.nrw.de/news-downloads/aktuelles/detail/2017-02-07-vdv-fordert-fair-play-fuer-den-schiene-gueterverkehr</a>
<b>WEITERENTWICKLUNG DB MAS SOWIE DER HOA/FBOA</b>	2016 – 2017	DB Netz AG	DB Netz AG, voestalpine	Automatisierter Meldeweg bei Heißläufern und festen Bremsen an den Tf via GSM-R	
<b>TRACKSIDE ACOUSTIC DETECTION SYSTEM DER DEUTSCHEN BAHN AG</b>	seit 2015	DB Fernverkehr AG	voestalpine SIGNALING Siershahn GmbH	Akustische Radlagermessung an drei Standorten zur Überwachung der gesamten ICE 3-Flotte der DB Fernverkehr AG	
<b>AUTOMATIC PANTOGRAPH MONITORING SYSTEM (APMS)</b>	2011-2017	Finnish Transport Agency Liikennevirasto	Sensys Traffic	Streckenseitig verbaute automatische Stromabnehmer-Überwachungsanlage	<a href="https://www.railway-technology.com/news/newssensys-to-equip-finnish-rail-network-with-pantograph-monitoring-systems-4265366/">https://www.railway-technology.com/news/newssensys-to-equip-finnish-rail-network-with-pantograph-monitoring-systems-4265366/</a>
<b>CHECKPOINT-LÖSUNG BEI DER ÖBB-INFRASTRUKTUR AG</b>	seit 2003	ÖBB-Infrastruktur AG	voestalpine SIGNALING Siershahn GmbH	Diagnose- und Monitoring-System zur Detektion von Heißläufern, festen Bremsen, Flachstellen an den Radlaufflächen, einer Überschreitung zulässiger Achslasten, Lademaßüberschreitungen sowie Entgleisungen mithilfe einer modularen Sensortechnologie	<a href="http://www.voestalpine.com/signaling/de/produkte/Modulares-Diagnose-system-PHOENIX-MDS/">http://www.voestalpine.com/signaling/de/produkte/Modulares-Diagnose-system-PHOENIX-MDS/</a>
<b>ZUSTANDSÜBERWACHUNG DES GLEISUMFELDES (ZUG)</b>	2017 – 2020	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme (IAIS); Lehrstuhl für Schienenfahrzeugtechnik der Universität Stuttgart; Kooperation mit der DB Regio Netz GmbH	Detektion sich abzeichnender Gefährdungen aus dem Gleisumfeld durch Kameraerfassung und automatisierte Auswertung	<a href="https://www.system-bahn.net/aktuell/projekt-zustandsueberwachung-des-gleisumfeldes-zug">https://www.system-bahn.net/aktuell/projekt-zustandsueberwachung-des-gleisumfeldes-zug</a>
<b>COMPUTERGESTÜTZTES ERKENNEN VON EISENBahnSIGNALEN UND GESCHWINDIGKEITSTAFELN</b>	seit 2015	Finnish Transport Agency Liikennevirasto	VR Track Oy	Kamera- bzw. computergestütztes Erkennen der Beschilderung und Signalausstattung während der Zugfahrt zur Verbesserung der Instandhaltungsqualität	
<b>GALILEO ONLINE: GO!</b>	2015 – 2018	BMW i	DLR; Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen; Institut für Regelungstechnik an der RWTH Aachen; IMST GmbH;	Technisch sichere Lösung für die gleisgenaue Lokalisierung von Eisenbahnfahrzeugen sowie die permanente Zugvollständigkeitskontrolle mithilfe Satellitenrohdaten des europäischen	<a href="http://go-galileo-online.de">http://go-galileo-online.de</a>

			SCISYS Deutschland GmbH, Vodafone GmbH; Chair of Electrical Engineering and Computer Systems an der RWTH Aachen; Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH (InnoZ)	Satellitennavigationssysteme Galileo sowie des US-amerikanischen Pendant NAVSTAR GPS in Kombination mit fahrzeugseitig gewonnenen Sensordaten	
<b>GALILEO LOCALISATION FOR RAILWAY OPERATION INNOVATION (GALOROI)</b>	2012 – 2014	EU	Institute for Quality Safety and Transportation; Septentrio NV; Baudis Bergmann Rosch Verkehrstechnik GmbH (BBR); Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité; Technische Universität Braunschweig; Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Ähnlich „Galileo Online: Go!“	<a href="http://www.galoroi.eu">http://www.galoroi.eu</a>
<b>TRAIN INTEGRATED SAFETY SATELLITE SYSTEM (3INSAT)</b>	2012 – 2014	European Space Agency (esa)	Ansaldo STS; DLR; TriaGnoSys; Rete Ferroviaria Italiana (RFI); Radiolabs; TUDC; Italcertifier	Ähnlich „Galileo Online: Go!“	<a href="https://business.esa.int/projects/3insat">https://business.esa.int/projects/3insat</a>
<b>ERTMS ON SATELLITE (ERSAT)</b>	2015 – 2017	EU (Horizon 2020)	DLR; European Satellite Services Provider (SAS); Universita Commerciale Luigi Bocconi; Sogei-Societa Generale d'Informatica; Asociacion Centro Tecnologico CEIT-IK4; DB Netz AG; Rete Ferroviaria Italiana (RFI); Telespazio; Trenitalia	Ähnlich „Galileo Online: Go!“	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/193746_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/193746_en.html</a>
<b>RAILWAY HIGH INTEGRITY NAVIGATION OVERLAY SYSTEM (RHINOS)</b>	2016 – 2017	EU (Horizon 2020)	Consorzio Universita Industria, Laboratori di Radiocomunicazioni; Ansaldo STS; Sogei-Societa Generale d'Informatica; The University of Nottingham; Univerzita Pardubice; DLR	Ähnlich „Galileo Online: Go!“	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/199612_de.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/199612_de.html</a>
<b>NEXT GENERATION TRAIN CONTROL (NGTC)</b>	2013 – 2017	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	UNIFE; Rina Consulting; Dimetronic; Thales Transportation Systems GmbH; Alstom Belgium; Bombardier Transportation Sweden; Union Internationale des Transports Publics; Ferrocarril Metropolitana de	Ähnlich „Galileo Online: Go!“	<a href="http://www.ngtc.eu/">http://www.ngtc.eu/</a> ; <a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/110543_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/110543_en.html</a>

			Barcelona; Siemens AG; Ansaldo STS; Regie Autonome des Transports Parisiens (RATP); Geie des Utilisateurs d'ERTMS; London Underground Limited; CAF Signalling; AZD Praha; Technische Universität Dresden; Navecom; Ingenieria y Economia del Transporte SME; Thales Communications & Security; Thales Canada; SNCF		
<b>DIGITAL RAILWAY</b>	seit 2016	Network Rail	EVU Stagecoach Group; Crossrail; Keolis; Arriva; Siemens	Umfassende Digitalisierungsoffensive im britischen Schienenverkehr durch Einführung von ERTMS bzw. ETCS Level 2, Level 3 und ATO	<a href="http://digitalrailway.co.uk/">http://digitalrailway.co.uk/</a>
<b>SMARTRAIL 4.0</b>	2017-2040	Eigenentwicklung	Schweizerische Bundesbahnen (SBB); Kooperation EIU Bern-Lötschberg-Simplon (BLS)	Einführung von ETCS Level 3 in Verbindung mit ATO	<a href="https://smartrail40.ch/">https://smartrail40.ch/</a>
<b>Papierloser Bahnbetrieb</b>					
<b>TABLETS FÜR TRIEBFAHRZEUGFÜHRER</b>	seit 2015	Eigenentwicklung	DB Fernverkehr AG	Papierschnittstellen schrittweise durch digital vorliegende Dokumente ersetzen mit dem Fokus auf digitale La-Anzeigen	<a href="https://docplayer.org/2981620-Tablets-fuer-triebfahrzeugfuehrer-im-fernverkehr.html">https://docplayer.org/2981620-Tablets-fuer-triebfahrzeugfuehrer-im-fernverkehr.html</a>
<b>RAIL IN MOTION (RIM)</b>	vorgestellt 2015	DB Cargo; DB Fernverkehr; DB Regio	DB-Tochtergesellschaft Systel	Digitale Anzeige von Tages-La; zusätzlich auch personen- und fahrtspezifische Informationen abrufbar	<a href="https://digitalspirit.dbsystel.de/tschuespapier-hier-hat-jetzt-digital-vorfahrt/">https://digitalspirit.dbsystel.de/tschuespapier-hier-hat-jetzt-digital-vorfahrt/</a>
<b>PRODUKTPLATTFORM „DILOC“</b>	seit 2010	Eigenentwicklung	CN-Consult	„DiLoc Sync“: Dokumente über einen Dokumentenserver synchron an mobile Endgeräte der Tf verteilen und dort lokal ablegen	<a href="https://cn-consult.eu/">https://cn-consult.eu/</a>
<b>„LOKPERSONAL ELECTRONIC ASSISTANT“ (LEA) DER SBB AG</b>	seit 2002	Eigenentwicklung	SBB AG	Back-End-System und Tablet-Applikation zur digitalen Vorhaltung u. a. von Fahrplänen, Langsamfahrstellen, Regelwerken u. v. m. Unterstützung des energiesparenden Fahrens.	<a href="https://www.system-bahn.net/archiv/leader-elektronische-lokfuehrer-assistent-der-sbb/">https://www.system-bahn.net/archiv/leader-elektronische-lokfuehrer-assistent-der-sbb/</a>
<b>Energie- und kapazitätsoptimierter Bahnbetrieb</b>					
<b>VERFAHREN „ENERGIESPARENDE FAHRWEISE“ ESF</b>	vorgestellt 2006	DB AG	Universität Hannover; TLC GmbH und Eigenleistung DB AG	Entwicklung des Verfahrens „Energiesparende Fahrweise“ (ESF) und prototypische Anwendung in ICE-Fahrzeugen	

<b>SMARTTRAIN.DAS</b>	vorgestellt 2017	Eigenentwicklung	ETC; Inavet in Kooperation mit den EVU cantus, nordbahn und agilis	FAS für die Anwendung auf mobilen Endgeräten (Tablets/Smartphones), das auf ein RBL zugreift	<a href="https://www.inavet.de/highlights/smart-trainsdas-projekte/">https://www.inavet.de/highlights/smart-trainsdas-projekte/</a>
<b>FAHREMPFEHLUNGEN IM S-BAHN-BETRIEB</b>	vorgestellt 2018	SBB AG, BLS AG	SBB AG; BLS AG; TTG; Cubris	Praxistest von zwei FAS „Energymiser“ (TTG) und „GreenSpeed“ (Cubris) zur Analyse der Reduktion des Energieverbrauchs und der Anwendbarkeit im S-Bahn-Betrieb	
<b>LOCOMOTIVE ENGINEER ASSIST DISPLAY AND EVENT RECORDER (LEADER)</b>	vorgestellt in Deutschland 2016	DB Cargo	Knorr-Bremse AG (ehemals New York Air Brake) und Eigenleistung DB Cargo AG	Strecken- und zugbezogene Informationen auf zusätzlicher Anzeige im Führerraum; Energieeinsparungen von bis zu 12 Prozent	<a href="http://www.knorr-bremse.com/media/documents/railvehicles/en/p_1220_en_01_leader.pdf">http://www.knorr-bremse.com/media/documents/railvehicles/en/p_1220_en_01_leader.pdf</a>
<b>ZUGLAUFREGELUNG (ZLR)</b>	vorgestellt 2018	DB Netz AG	Einzelne EVU, z. B. DB Cargo, DB Fernverkehr	Vernetzung der FAS im Führerraum mit der dispositiven Ebene in den Betriebszentralen, vollständige Umsetzung nicht vor 2022	
<b>Technisch harmonisierter Bahnbetrieb</b>					
<b>EUROPEAN DRIVER'S DESK (EUDD)</b>	1999 – 2003	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Kooperation zwischen Tfz-Herstellern, Forschungseinrichtungen und Bahnbetreibern	Standardisierung unterschiedlicher Führertische in Tfz, damit Interoperabilitätsbarrieren im grenzüberschreitenden Schienenverkehr verringert und die Sicherheit des Bahnbetriebs und des Bedienkomforts erhöht werden	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/54545_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/54545_en.html</a>
<b>INNOVATIVE MODULAR VEHICLE CONCEPTS FOR AN INTEGRATED EUROPEAN RAILWAY SYSTEM (MODTRAIN/EUCAB)</b>	2004 – 2008	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Bahnindustrie (u. a. Bombardier); Bahnbetreiber; Forschungseinrichtungen (u. a. Institut für Schienenfahrzeuge (IFS) der RWTH Aachen); UNIFE und weitere	Fortsetzung des EUDD-Projektes mit Entwicklung einer weiteren Führerraumkabine	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/74302_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/74302_en.html</a>
<b>EUDDPLUS</b>	2009	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Bahnindustrie (u. a. Bombardier, Siemens); Bahnbetreiber (u. a. ÖBB, CD); Forschungseinrichtungen (u. a. Technische Universität Wien); UNIFE und weitere	Folgeprojekt nach EUDD, beinhaltet die Integration eines ergonomisch optimierten Führertisches in das Mehrsystem-Tfz Alstom PRIMA II	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/81308_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/81308_en.html</a>
<b>ETCS-BORDGERÄTE-ENTWICKLUNG (BEISPIEL)</b>	2009 – 2010	Eigenentwicklung	Thales; Kooperation mit Škoda und der Slowakischen Eisenbahn (ZSSK)	Rasche und kostengünstige Integration von Specific Transmission Modules (STM) in Bestandsfahrzeuge	<a href="https://www.globalrailwayreview.com/news/3763/thales-supplies-etcson-board-systems-for-slovakian-railways/">https://www.globalrailwayreview.com/news/3763/thales-supplies-etcson-board-systems-for-slovakian-railways/</a>

<b>UPGRADE DES GSM-R-NETZES AUF LTE-STANDARD</b>	seit 2015	DB AG	Siemens Convergence Creators; Huawei	Upgrade des GSM-R-Netzes auf LTE-Standard	<a href="https://www.railjournal.com/index.php/telecoms/db-selects-siemens-huawei-for-german-gsm-r-upgrade.html">https://www.railjournal.com/index.php/telecoms/db-selects-siemens-huawei-for-german-gsm-r-upgrade.html</a>
<b>FUTURE RAILWAY MOBILE COMMUNICATION SYSTEM-PROJECT (FRMCS)</b>	vorgestellt 2016	Eigenentwicklung	Eisenbahnverband UIC	Der neue Standard soll die Anforderungen des gesamten Eisenbahnbetriebs abdecken und GSM-R ablösen	<a href="https://uic.org/frmcs">https://uic.org/frmcs</a>
<b>MISTRAL – COMMUNICATION SYSTEMS FOR NEXT-GENERATION RAILWAYS</b>	2016 – 2018	EU (Horizon 2020)	ISMB; Sirti; Technische Universität Dresden; Ardanuy Ingeniería	Erarbeitung einer Spezifikation für ein zukünftiges Breitband-Eisenbahn-Kommunikationssystem	<a href="https://shift2rail.org/projects/mistral/">https://shift2rail.org/projects/mistral/</a>
<b>Personal- und kostenoptimierter Bahnbetrieb</b>					
<b>WILLENSUNABHÄNGIGER PERSONENNOTRUF (GSM-R–HANDSPRECH-FUNKGERÄTE)</b>	vorgestellt 2015	Eigenentwicklung	DB Schenker Rail AG	Digitale Sprachkommunikation mittels GSM-R, GPS-Empfänger und zusätzlichem Neigungssensor	<a href="https://www.uv-bund-bahn.de/fileadmin/Dokumente/Publikationen/BahnPraxis_B/BahnPraxisB-2015_09.pdf">https://www.uv-bund-bahn.de/fileadmin/Dokumente/Publikationen/BahnPraxis_B/BahnPraxisB-2015_09.pdf</a>
<b>RANGIEREN MIT TECHNISCH ÜBERWACHTER SPITZE (RTUS)</b>	vorgestellt 2017	Konzeptstudie	Fachhochschule (FH) Aachen	Ausstattung des letzten Wagens mit Sensorik zur Umfelderkennung und einer Videokamera; scheiterte bisher am Aufwand bzw. ungewissen Erfolgsaussichten	<a href="http://wagon40.com/wp-content/uploads/2017/12/Enning_Fratscher_Funk.pdf">http://wagon40.com/wp-content/uploads/2017/12/Enning_Fratscher_Funk.pdf</a>
<b>TESTVERSUCH AUTOMATISIERTES RANGIEREN MIT HILFE EINES MODIFIZIERTEN ZWEIWEGEFAHRZEUGES „ROTRAC E2“</b>	2016	DB AG	Systel GmbH; Kooperation RWTH Aachen	Testversuche zum automatisierten Umsetzen einzelner Güterwagen mithilfe eines modifizierten Zweiwegefahrzeug	
<b>AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)</b>	vorgestellt 2017	Eigenentwicklung	BASF; Fahrzeughersteller VDL	Straßengebundene automatische Zustellung von Tankcontainern	<a href="https://www.dvz.de/rubriken/logistik/detail/news/basf-macht-rail-40.html">https://www.dvz.de/rubriken/logistik/detail/news/basf-macht-rail-40.html</a>
<b>GÜTERWAGEN 4.0 (GW40)</b>	vorgestellt 2016	Konzeptstudie	Fachhochschule (FH) Aachen	Konzept zur Automatisierung des mechanischen und pneumatischen Kuppelns und Entkuppelns sowie der technischen Wagenbehandlung (TWb)	
<b>RANGIERASSISTENT</b>	vorgestellt 2017	Eigenentwicklung	Ruhr-Universität Bochum; Kooperation Westfälische Lokomotiv-Fabrik Reuschling GmbH & Co. KG	Grundlagenforschung für ein prototypisches fahrzeugseitiges Assistenzsystem als Voraussetzung für autonom stattfindende Rangierprozesse; bislang nur autonomes Fahren „auf Sicht“	<a href="https://www.researchgate.net/publication/321491018_Automatisiertes_Rangieren_mit_Schienenfahrzeugen_-_welchen_Beitrag_können_fahrzeugseitige_Assistenzsysteme_leisten">https://www.researchgate.net/publication/321491018_Automatisiertes_Rangieren_mit_Schienenfahrzeugen_-_welchen_Beitrag_können_fahrzeugseitige_Assistenzsysteme_leisten</a>

<b>AUTONOMES FAHREN IM SCHIENENFERNVERKEHR</b>	seit 2016	Eigenentwicklung	Siemens AG; DB Cargo AG	Hindernis-Erkennung auf der Strecke und die prototypische Ausstattung eines Tfz mit einem ATO-System; Tests automatisiertes Anfahren an eine Wagengruppe zum Kuppeln, automatisiertes Bremsen und Anfahren nach Streckenvorgabe, automatisierte Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit sowie Abfahren einer Langsamfahrstelle; Steuerung des Zuges per Tablet	
<b>SMART AUTOMATION OF RAIL TRANSPORT (SMART)</b>	2016 – 2019	EU (Horizon 2020); Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Universität Bremen; Universität U Nisu, Harder Digital Sova D.O.O. NIS, Technical University of Sofia; RWTH Aachen	Hindernis-Erkennungssystem u. a. für den autonomen Rangierbetrieb mit Güterwaggons mithilfe von Wärmebildkameras und Bildverstärkern, Kamera- und Laserscanner-Systemen	<a href="http://www.smartrail-automation-project.net/">http://www.smartrail-automation-project.net/</a> ; <a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/205952_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/205952_en.html</a>
<b>AUTOMATED RAIL CARGO CONSORTIUM (ARCC)</b>	2016 – 2019	EU (Horizon 2020); Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	DB AG; Bombardier Transportation GmbH; Trafikverket; Ansaldo; Slovenske Zeleznice Doo	Entwicklung eines Demonstrators mit ATO-Funktion; im Fokus steht die automatische Hindernisdetektion	<a href="http://projects.shift2rail.org/s2r_ip5_n.aspx?p=ARCC">http://projects.shift2rail.org/s2r_ip5_n.aspx?p=ARCC</a> ; <a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/207495_de.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/207495_de.html</a>
<b>OPEN.RAIL.LAB</b>	vorgelegt 2017	Entwicklungsumgebung; Bereitstellung durch das BMVIT Österreich und das Land Burgenland	Forschungseinrichtung (u. a. TU Graz); Bahnhersteller (Bombardier, Transportation Austria, Kapsch CarrierCom, Thales Austria)	Teststrecke für selbstfahrende Züge nordöstlich von Graz	<a href="https://www.openraillab.at/">https://www.openraillab.at/</a>
<b>AUTOMATISIERTER ZUGBETRIEB</b>	vorgelegt 2017	Eigenentwicklung	Niederländisches EIU ProRail; Alstom	automatisierten Testbetrieb mit Güterzügen auf der niederländischen Betuwe-Strecke	<a href="https://www.bahn-manager.de/niederlande-prorail-testet-2018-autonomes-fahren/">https://www.bahn-manager.de/niederlande-prorail-testet-2018-autonomes-fahren/</a>
<b>X2RAIL-1</b>	2016 – 2019	EU (Horizon 2020); Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Bahnindustrie (u. a. Alstom, Ansaldo, Bombardier, Siemens, Thales); Bahnkonzerne (u. a. DB AG, SBB AG, SNCF); weitere Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bewältigung technischer Restriktionen von GSM-R</li> <li>▪ Erhöhung der nutzbaren Gleiskapazitäten durch die Einführung von ATO und von Moving Block Systemen</li> <li>▪ Dezentralisierung und Kostensenkung der LST, u. a. durch „Smart Wayside Objects“</li> <li>▪ Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Pünktlichkeit von Zügen durch ATO-Systeme</li> </ul>	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/205698_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/205698_en.html</a>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entwicklung neuer Testumgebungen/Labore für Zugsteuerungs-, Zugsicherungs- und Kommunikationssysteme zur Reduzierung der Entwicklungskosten</li> <li>▪ Entwicklung neuer Cyber Security Systeme</li> <li>▪ Gewährleistung der Abwärtskompatibilität von ETCS</li> </ul>	
<b>X2RAIL-2</b>	2017 – 2020	EU (Horizon 2020); Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Bahnindustrie (u. a. Alstom, Ansaldo, Bombardier, Siemens, Thales); Bahnkonzerne (u. a. DB AG, SBB AG, SNCF); weitere Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausfallsichere Zugortung: Entwicklung eines sicheren Zugortungssystems auf der Basis eines Multi-Sensor-Konzepts mit GNSS als bevorzugter Technologie</li> <li>▪ Fahrzeugseitige Zugintegritätsprüfung: Entwicklung einer Selbstortungsfunktion von Zügen als Voraussetzung für die Einführung des Moving Block oder Virtual Block</li> <li>▪ Standardisierte Signaltechnik: Ausarbeitung formaler Methoden zur Standardisierung von Prozessen bei der LST-Entwicklung (u. a. Design, Herstellung, Testung, Instandhaltung) zur Reduzierung von Entwicklungskosten</li> <li>▪ Standardisierung von Traffic Management Systemen (TMS): Verbesserung der Flexibilität und Skalierbarkeit von TMS</li> </ul>	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/211966_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/211966_en.html</a>
<b>SATELLITE-BASED SIGNALING AND AUTOMATION SYSTEMS ON RAILWAYS ALONG WITH FORMAL METHOD AND MOVING BLOCK VALIDATION (ASTRAIL)</b>	2017 – 2019	EU (Horizon 2020); Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	SIRTI – Societa per Azioni; Ardanuy Ingeniería; Ecole Nationale de l’Aviation Civile; Consiglio Nazionale delle Ricerche; Verband der europäischen Eisenbahnindustrie (UNIFE)	Übertragbarkeit technischer Automatisierungslösungen der Luftfahrt- und Automobilindustrie mit dem Ziel eines automatisierten Bahnbetriebs	<a href="https://shift2rail.org/projects/astrail/">https://shift2rail.org/projects/astrail/</a> ; <a href="http://www.astrail.eu/">http://www.astrail.eu/</a>
<b>ENERGY HARVESTING FOR SIGNALING AND COMMUNICATION SYSTEMS (ETALON)</b>	2017 – 2020	EU (Horizon 2020); Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	SIRTI – Societa per Azioni; Ardanuy Ingeniería; Rina Consulting; Erga OSE; Istituto Superiore Mario Bella; Perpetuum	Untersuchung wichtiger Voraussetzungen des automatisierten Bahnbetriebs; Entwicklung fahrzeugseitiger Systeme der Zugintegritätsprüfung sowie infrastrukturseitig installierter Wegpunkte (waypoints)	<a href="https://shift2rail.org/projects/etalon/">https://shift2rail.org/projects/etalon/</a> ; <a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/212010_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/212010_en.html</a>

	Limited; University of Newcastle; Vysoke Uceni Technicke V Brne; Verband der europäischen Eisenbahnindustrie (UNIFE)
--	--

## 12.2.2 Bereich Digitalisierung des ÖSPV

TABELLE 19: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DES ÖSPV

Projektname	Laufzeit	AG/Finanzierungs-träger	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierter ÖSPV</b>					
<b>ON-BOARD-DIAGNOSE (OBD) FÜR LINIENBUSSE</b>	vorgestellt 2014	Eigenentwicklung	MAN Truck & Bus AG	Bereitstellung von Diagnosedaten über On-Board-Diagnose (OBD), z. B. zum Abgasverhalten in Folge der Euro 6–Gesetzgebung	<a href="https://www.bus.man.eu/de/de/man-welt/man-stories/Euro-6_-Sauber-und-kraftstoffsparend-_dank-innovativer-Technologien--267911.html">https://www.bus.man.eu/de/de/man-welt/man-stories/Euro-6_-Sauber-und-kraftstoffsparend-_dank-innovativer-Technologien--267911.html</a>
<b>BETRIEBSHOFMANAGEMENTSYSTEM (BMS)</b>	seit 2008	Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB)	PSI Transcom GmbH	Weiterentwicklung einer Softwareplattform zur Ortung und Wegeoptimierung von Fahrzeugen sowie zur statistischen Erfassung von Fahrzeugdaten	<a href="https://www.psitrans.de/de/loesungen/betriebshof-management/">https://www.psitrans.de/de/loesungen/betriebshof-management/</a>
<b>FAS ZUR KOLLISIONSWARNUNG</b>	seit 2013	Eigenentwicklung	Bombardier Transportation; Kooperation mit Institute of Technology (AIT) und Bosch Engineering	Kollisionswarnung mithilfe von drei hinter der Frontscheibe angebrachten Kameras; automatische Bremsung im Gefahrenfall	<a href="https://www.vgf-ffm.de/de/aktuell-presse/news/einzelansicht/news/weltweit-erstes-fahrerassistenzsystem-im-strassenbahn-betrieb/">https://www.vgf-ffm.de/de/aktuell-presse/news/einzelansicht/news/weltweit-erstes-fahrerassistenzsystem-im-strassenbahn-betrieb/</a>
<b>ELEKTRONISCHES AUßEN-SPIEGEL-SYSTEM</b>	vorgestellt 2006	Stadtbahn Saar	DKS GmbH Köln	Einsatz von Außenkameras zur Beobachtung der Türen und des Bahnsteigs; Bildübertragung im Sichtbereich des Fahrers mit TFT-Displays	<a href="http://www.dks-koeln.de/German/Website%20DKS-Koeln/produkte-loesungen/tuerueberwachung.html">http://www.dks-koeln.de/German/Website%20DKS-Koeln/produkte-loesungen/tuerueberwachung.html</a>
<b>ELEKTRONISCHE LENKUNTERSTÜTZUNG FÜR BUSSE</b>	vorgestellt 2014	Eigenentwicklung	tedrive Steering Systems GmbH (seit 2016 Knorr-Bremse AG)	Umsetzung von Assistenzfunktionen für Busse wie Spurhalteassistenten und Seitenwindkompensation mithilfe elektromechanisch unterstützten Lenkungen. Integration eines aktiv unterstützenden Lenksystems für Linien- und Fernbusse.	<a href="http://www.knorr-bremse.de/de/press/pressreleases/press_detail_33536.jsp">http://www.knorr-bremse.de/de/press/pressreleases/press_detail_33536.jsp</a>
<b>Papierloser ÖSPV</b>					
<b>INTERMODAL TRANSPORT CONTROL SYSTEMS (ITCS)</b>	seit Ende 1990er Jahre	Eigenentwicklungen	private IT-Unternehmen, z. B. IVU, INIT, Trapeze oder T-Systems	Ablösung der Papierunterlagen wie Fahr- und Dienstpläne, Wageneinsatzkarten und Fahr-anweisungen	<a href="https://www.ivu.de">https://www.ivu.de</a> ; <a href="https://www.initse.com">https://www.initse.com</a> ; <a href="https://www.trapezgroup.de">https://www.trapezgroup.de</a> ; <a href="https://www.t-systems.com">https://www.t-systems.com</a>

<b>MAßNAHME „ONLINEUMLEITUNG“ ALS BESTANDTEIL DES ITCS „MOBILE ITCS“</b>	vorgestellt 2011	Eigenentwicklung	INIT GmbH	Automatisierung der Umleitungsplanung im Busverkehr (Onlineumleitung), etwa infolge kurzfristiger Straßensperrungen	<a href="https://www.virtualmarket.innotrans.de/de/Intermodal-Transport-Control-System-MOBILE-ITCS,p1022849">https://www.virtualmarket.innotrans.de/de/Intermodal-Transport-Control-System-MOBILE-ITCS,p1022849</a>
<b>IVU.PAD</b>	seit 2016	Eigenentwicklung	IVU Traffic Technologies; Kooperation mit dem Schweizer Verkehrsunternehmen AAR bus+bahn	Tablet-Lösung, um Papieraustausch abzulösen; digitaler Informationsaustausch zwischen Disposition und Fahrpersonal	<a href="https://www.ivu.de/produkte-und-oesungen/ivusuite/disposition/ivupad.html">https://www.ivu.de/produkte-und-oesungen/ivusuite/disposition/ivupad.html</a>
<b>ELEKTRONISCHES FAHRERHANDBUCH</b>	seit 2015	Eigenentwicklung	Aktiv Bus Flensburg GmbH; Kooperation IT-Haus Pure Vision Systems	Übersichtliche Bereitstellung von PDF-Dokumenten (u. a. Dienstpläne und -anweisungen, Tarifinformationen, Baustellen-Umleitungen)	<a href="https://www.pure-vision-systems.de/produkte/fahrerinfo/">https://www.pure-vision-systems.de/produkte/fahrerinfo/</a>

### Energie- und kapazitätsoptimierter ÖPSV

<b>COMPUTER-OPTIMISED SPEED CONTROL FOR ENERGY-EFFICIENT LIGHT-RAILS“ (COSEL)</b>	seit 2005	Eigenentwicklung	Technische Universität Dresden; Kooperation mit den Dresdner Verkehrsbetrieben (DVB)	Energieeffizienter bzw. kapazitätsoptimierter Fahrbetrieb durch optimale Fahrgeschwindigkeit vor der Überquerung einer LSA-geregelten Kreuzung	<a href="https://tu-dresden.de/bu/verkehr/vis/vlp/forschung/forschungsprojekte/optimierung-oeprv">https://tu-dresden.de/bu/verkehr/vis/vlp/forschung/forschungsprojekte/optimierung-oeprv</a>
<b>ASSISTENZSYSTEM FÜR EINE ENERGIESPARENDE FAHRWEISE IN U-BAHNEN</b>	vorgestellt 2013	Eigenentwicklung	Hamburger Hochbahn AG; Kooperation mit der Technischen Universität Dresden	Energieeinsparungen von 5 bis 15 Prozent durch maximale Beschleunigung auf eine „Abschaltgeschwindigkeit“ mit darauffolgender Ausrollphase	
<b>SAFERECORDER</b>	entwickelt in den 1990er Jahren	Eigenentwicklung	Datatec Co., Ltd.	Analyse der Fahrweise von Busfahrern durch Aufzeichnung von Richtungswechseln, Kurvenfahrten, Beschleunigungs- und Bremsvorgängen	
<b>ECO-FAHRSYSTEM</b>	seit 2010	Eigenentwicklung	Traffilog	Echtzeit-Information über effizientes Fahrverhalten im Busbetrieb	<a href="https://www.traffilog.com/technology/?lang=de">https://www.traffilog.com/technology/?lang=de</a>

### Personal- und kostenoptimierter ÖSPV

<b>REALISIERUNG EINER AUTOMATISIERTEN U-BAHN IN NÜRNBERG (RUBIN)</b>	2001-2008	Bund, Freistaat Bayern; Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (VAG)	Siemens AG und weitere Unterauftragnehmer	Entwicklung von Systemen zur Bahnsteiggleisüberwachung (BGÜ) unter Beteiligung des Unternehmens Honeywell; Entwicklung zur Automatisierung der Zugsteuerung (Automatic Train Control, ATC); Entwicklung zur Türspaltensicherung (Optical Safety Edge, OSE) unter Siemens-Beteiligung. Verzicht auf die Neuanstellung von etwa 100 FiF und 45 Kunden-/Systembetreuern infolge der Vollautomatisierung	<a href="https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/rail-solutions/metros/slideshow/metro-nuernberg-de.pdf">https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/rail-solutions/metros/slideshow/metro-nuernberg-de.pdf</a>
--	-----------	--	---	--	---

<b>AUF EINZELNEN LINIEN AUTOMATISIERTES PARI-SER METRO-NETZ</b>	vorgestellt 2011	Régie autonome des transports Parisiens (RATP)	Siemens; Alstom	Zum Einsatz kommen u. a. ein von Siemens entwickeltes „Communication Based Train Control System“ (CBC) sowie das unter der Federführung von Alstom entstandene ATO-System „Système d’aide à la conduite, à l’exploitation et à la maintenance“ (SACEM)	<a href="http://www.fr.de/wirtschaft/vollautomatische-u-bahn-mit-der-fahrerlosen-metro-durch-paris-a-896636">http://www.fr.de/wirtschaft/vollautomatische-u-bahn-mit-der-fahrerlosen-metro-durch-paris-a-896636</a>
<b>AUTONOME STRAßEN-BAHN POTSDAM</b>	vorgestellt 2018	Siemens Mobility GmbH	Eigenentwicklung	Erste Testfahrten einer Combino-Straßenbahn auf einem 6 km langen Teilabschnitt der ViP Verkehrsbetriebe Potsdam GmbH	
<b>SMARTSHUTTLE</b>	seit 2016	Schweizer Postauto AG	Forschungskoope-ration „Mobi-ility Lab Sion“: Schweizer Post-auto AG; Navya und Start-Up BestMile	Entwicklung autonomer Shuttle-Kleinbusse die u. a. über GPS-, Kamera-, RADAR- und LI-DAR-Technik verfügen	<a href="https://www.postauto.ch/de/projekt-%C2%ABsmartshuttle%C2%BB">https://www.postauto.ch/de/projekt-%C2%ABsmartshuttle%C2%BB</a>
<b>VERSUCHE MIT AUTONO-MEN SHUTTLE-BUSSEN</b>	seit 2018	Eigenentwicklung	DB AG	Getestet wird u. a. die Akzeptanz der Nutzer und die Funktionalität der Steuerungselektronik bei verkehrlichen Behinderungen mithilfe eines autonomen Bus-Shuttles von Easy Mile, u. a. in Bad Birnbach	
<b>TESTFAHRTEN MIT AUTO-NOMEN BUS-SHUTTLES</b>	2016 - 2017	Eigenentwicklung	Local Motors Berlin GmbH; Deutsche Bahn AG; Berliner Agentur für Elektromobilität (EMO); Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe; EUREF AG; inno2grid GmbH; InnoZ GmbH	Umfangreiche Testfahrten mit einem autonomen Shuttle-Bus des US-amerikanischen Herstellers Local Motors im Berliner Stadtquartier „Europäisches Energieforum“ (EUREF). Praktische Erprobung und Information der Fachöffentlichkeit	<a href="https://www.euref.de/de/aktuelles-infothek/aktuelles/deutsche-bahn-stellt-ersten-autonom-fahrenden-busverkehr-deutschland-vor/">https://www.euref.de/de/aktuelles-infothek/aktuelles/deutsche-bahn-stellt-ersten-autonom-fahrenden-busverkehr-deutschland-vor/</a>
<b>HAMBURG ELECTRIC AU-TONOMOUS TRANSPOR-TATION (HEAT)</b>	2018 – 2021	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)	Siemens AG; Ingenieurgesell-schaft Auto und Verkehr GmbH (IAV); Hamburger Hochbahn AG	Integration von autonomen Kleinbussen im städtischen Verkehr	<a href="https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/heat">https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/heat</a>

## 12.2.3 Bereich Digitalisierung der See- und Binnenschifffahrt

TABELLE 20: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DER SEE- UND BINNENSCHIFFFAHRT

Projektname	Laufzeit	AG	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierte See- und Binnenschifffahrt</b>					
<b>E-NAVIGATION</b>	seit 2006	Eigenentwicklung	International Maritime Organisation (IMO)	Digitalisierungsstrategie im weltweiten Schiffsverkehr mit dem übergeordneten Ziel einer Verringerung des Unfallrisikos in der Seeschifffahrt. Erstellung eines Implementierungsplans für ein digitales On-Board sowie ein landseitiges Ashore-Verkehrssystem für maritime Anwendungen	<a href="http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Documents/enavigation/MSC%2085%20-%20annex%2020%20-%20Strategy%20for%20the%20development%20and%20implementation%20of%20e-nav.pdf">http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Documents/enavigation/MSC%2085%20-%20annex%2020%20-%20Strategy%20for%20the%20development%20and%20implementation%20of%20e-nav.pdf</a>
<b>MARITIME VERKEHRS-TECHNIK (MVT)-ENAV-I</b>	2011 – 2014	IMO	DLR	Konzept für ein maritimes Positions-, Navigations- und Zeitsystem (PNT) sowie ein System zur Verkehrslageerfassung und –evaluierung (TSA)	<a href="https://www.dlr.de/kn/Portaldata/27/Resources/dokumente/04_abteilung_nas/MVT-Final-Report(Final)_deutsch.pdf">https://www.dlr.de/kn/Portaldata/27/Resources/dokumente/04_abteilung_nas/MVT-Final-Report(Final)_deutsch.pdf</a>
<b>AUTOMATED AIDS FOR SAFE AND EFFICIENT VESSEL PROCESSES (A++SET)</b>	2016 – 2018	IMO; Eigenentwicklung	DLR	Weiterentwicklung des PNT- und TSA-Moduls	<a href="https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4305/6933_read-43983/admin-1/">https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4305/6933_read-43983/admin-1/</a>
<b>PRECISE AND INTEGER LOCALISATION AND NAVIGATION IN RAIL AND INLAND WATER TRAFFIC (PILONAV)</b>	2012 – 2014	BMWi	Technische Universität Dresden; DLR	Konzept einer PNT-Unit für den Binnenschiffsverkehr sowie einer Train Location Unit (TLU) für den Bahnverkehr	<a href="https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4309/3222_read-29574/admin-1/">https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4309/3222_read-29574/admin-1/</a>
<b>LEIT- UND ASSISTENZSYSTEME ZUR ERHÖHUNG DER SICHERHEIT DER SCHIFFFAHRT AUF INLANDWASSERSTRÄßEN (LAESSI)</b>	2015 - 2017	BMWi	DLR; Kooperation mit der in-innovative navigation GmbH; Alberding GmbH sowie der Fachstelle der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung für Verkehrstechniken	System zur Warnung vor niedrigen Brückendurchfahrten, Autopilot zur automatischen Schiffssteuerung, Informationssysteme u. a. zur Ruderlage und Drehzahl der Schiffschraube und Assistenzsystem zum präzisen Anlegen an Kaimauern und an anderen Schiffen	<a href="https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4307/6939_read-45318/admin-1/">https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-4307/6939_read-45318/admin-1/</a>

<b>CONDITION MONITORING OF MARINE GEARBOXES (COMOGEAR)</b>	2016 – 2018	BMW i	Institut für Integrierte Produktion Hannover GmbH (IPH) in Kooperation mit Reintjes GmbH; Bachmann Monitoring GmbH; Microsensys GmbH sowie Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.	Digitalisierung der Zustandsüberwachung von Schiffsbauteilen (v. a. Motorbauteile, Getriebe, Generatoren)	<a href="http://www.comogear.iph-hannover.de">www.comogear.iph-hannover.de</a>
--	-------------	-------	--	---	--

<b>Papierlose See- und Binnenschifffahrt</b>					
<b>SMARTPORT LOGISTICS</b>	seit 2013	Eigenentwicklung	Hamburger Port Authority (HPA)	IT-Lösungen mit dem Ziel eines vernetzten und effizienteren Hafensbetriebs	<a href="https://www.hafen-hamburg.de/de/neue-binnenschifffahrtskonzepte-in-hamburg">https://www.hafen-hamburg.de/de/neue-binnenschifffahrtskonzepte-in-hamburg</a>
<b>ELEKTRONISCHES MELDEVERFAHREN FÜR BINNENSCHIFFE (ELBA)</b>	vorgestellt 2018	HPA	Externer IT-Dienstleister	Entwicklung eines Webportals „ELBA“ als elektronisches Meldeverfahren für Binnenschiffe bei der Nutzung der Hamburger Hafeninfrastuktur	<a href="https://www.hafen-hamburg.de/de/neue-binnenschifffahrtskonzepte-in-hamburg">https://www.hafen-hamburg.de/de/neue-binnenschifffahrtskonzepte-in-hamburg</a>
<b>MARITIME USER SERVICE TOOL FOR HAMBURG VESSEL CALLS (MUST-HAVE)</b>	seit 2012	HPA	Externer IT-Dienstleister	Elektronisches Meldesystem zur Abrechnung von Dienstleistungen für Seeschiffe im Hamburger Hafen	<a href="https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article108235689/Das-Hafengeld-wird-kuenftig-elektronisch-abgerechnet.html">https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article108235689/Das-Hafengeld-wird-kuenftig-elektronisch-abgerechnet.html</a>
<b>GENERISCHE ARCHITEKTUREN FÜR LEITSTÄNDE (GENEAL)</b>	seit 2012	HPA	Universität Hamburg	Entwicklung eines Leitsystems im Hamburger Hafen, genannt „Port Monitor“; Übermittlung von Echtzeit-Informationen z. B. über Pegelstände, Brückenmaße und Baustellen	<a href="https://files.wps.de/pdf/wps-loesung-port-monitor-vom_forschungsprojekt_zur_leitstandsplattform.pdf">https://files.wps.de/pdf/wps-loesung-port-monitor-vom_forschungsprojekt_zur_leitstandsplattform.pdf</a>
<b>DONAU RIVER INFORMATION SERVICES (DORIS)</b>	vorgestellt 2006	EU (TEN-Förderung); BMVIT	BMVIT	Informations- und Managementsystem; Bereitstellung u. a. von elektronischen Wasserstraßenkarten und Informationen zu Wasserpegeln per Smartphone-/Tablet-Applikation. Elektronische Meldepflicht bei der Einfahrt in die Bundeswasserstraße Donau	<a href="http://www.doris.bmvit.gv.at/services/river-information-services/ris-in-oesterreich/">http://www.doris.bmvit.gv.at/services/river-information-services/ris-in-oesterreich/</a>
<b>VERKEHRSMANAGEMENT-PLATTFORM</b>	2014 – 2017	Europäischer CEF-Fonds; RheinPorts Bâle-Mulhouse-Weil am Rhein	Sieben Hafenbetriebe, u. a. RheinPorts Bâle-Mulhouse-Weil am Rhein; Karlsruher Versorgungs-, Verkehrs- und Hafen GmbH (KV VH); Port autonome de Strasbourg	Entwicklung einer IT-Plattform für eine effizientere Abwicklung des Binnenschiffbetriebs auf dem Oberrhein; elektronische Reservierung von Liegeplatzzeiten, elektronische Übertragung von Lösch- und Ladelisten, Generierung elektronischer Zollformulare und Vermarktung freier Transportkapazitäten	<a href="http://www.upper-rhine-ports.eu/de/home-de/9-page-de-content-simple/180-das-vorhaben-oberrhein-verkehrsmanagement-plattform.html">http://www.upper-rhine-ports.eu/de/home-de/9-page-de-content-simple/180-das-vorhaben-oberrhein-verkehrsmanagement-plattform.html</a>

<b>Energie- und kapazitätsoptimierte See- und Binnenschifffahrt</b>					
<b>ULTRA SLOW SHIPS (ULYSSES)</b>	2011 – 2013	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	14 Kooperationspartner, darunter Unternehmen der Schiffsindustrie, Reeder und Forschungsinstitutionen	Technologisch kostenneutraler Lösungsansatz zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs und von CO <sub>2</sub> -Emissionen	<a href="https://cordis.europa.eu/result/rcn/156322_en.html">https://cordis.europa.eu/result/rcn/156322_en.html</a>
<b>GREEN RETROFITTING OF EXISTING SHIPS (REFRESH)</b>	2012 – 2015	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	19 Kooperationspartner, darunter Reeder, Werftbetreiber und Forschungsinstitutionen	Entwicklung eines prototypischen „Ship Energy Efficiency Management Plan“ (SEEMP); effizientes Live-Monitoring u. a. von Energieverbräuchen und Emissionen	<a href="http://www.vdelta.net/media/1319/vdelta-refresh-ship-energy-efficiency-management-plan.pdf">http://www.vdelta.net/media/1319/vdelta-refresh-ship-energy-efficiency-management-plan.pdf</a> ; <a href="https://www.cordis.europa.eu/project/rcn/102394_en.html">https://www.cordis.europa.eu/project/rcn/102394_en.html</a>
<b>DIGITALISIERUNG IM PORT OF ROTTERDAM</b>	seit 2000er Jahre	Port of Rotterdam	Verschiedene externe IT-Dienstleister	Anwendung neuer Systeme (u. a. Port Call Optimisation; Pronto; Shiptracker), etwa zur automatisierten Prognose der voraussichtlichen Schiffs-Ankunftszeit (ETA) sowie zum Tracking aller Hafenaktivitäten	<a href="https://www.portofrotterdam.com/en/shipping/sea-shipping/other/port-call-optimisation">https://www.portofrotterdam.com/en/shipping/sea-shipping/other/port-call-optimisation</a>
<b>MONALISA 1.0/2.0</b>	2010 – 2015	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	Kooperatives Projekt, u. a. mit Danish Maritime Authority, Swedish Maritime Administration und Saab	Standardisierung des Datenaustauschs zwischen Schiffen und Häfen	<a href="http://www.sjofartsverket.se/en/Monalisa/MONALISA-20/">http://www.sjofartsverket.se/en/Monalisa/MONALISA-20/</a>
<b>ACCESS TO VALIDATED, NAUTICAL INFORMATION (AVANTI)</b>	vorgestellt 2006	Eigenentwicklung	United Kingdom Hydrographic Office (UHKO); International Harbour Master's Association (IHMA); Lloyds Marine Intelligence Unit; verschiedene Reeder und Hafenbetreiber	Standardisierung des Datenaustauschs zwischen Schiffen und Häfen	<a href="https://www.portofrotterdam.com/en/file/22515/download?token=mTV-RnBG">https://www.portofrotterdam.com/en/file/22515/download?token=mTV-RnBG</a>
<b>PORT RENDEZVOUS OF NAUTICAL AND TERMINAL OPERATIONS (PRONTO)</b>	vorgestellt 2006	Eigenentwicklung	United Kingdom Hydrographic Office (UHKO); International Harbour Master's Association (IHMA); Lloyds Marine Intelligence Unit; verschiedene Reeder und Hafenbetreiber	Standardisierung des Datenaustauschs zwischen Schiffen und Häfen	<a href="https://www.portofrotterdam.com/en/file/22515/download?token=mTV-RnBG">https://www.portofrotterdam.com/en/file/22515/download?token=mTV-RnBG</a>
<b>Personal und kostenoptimierte See- und Binnenschifffahrt</b>					
<b>ADVANCED AUTONOMOUS WATERBORNE APPLICATIONS INITIATIVE (AAWA)</b>	2015 – 2017	Rolls-Royce	Industriepartner, Universitäten, Forschungsinstitute	Umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsbemühungen zur Fernsteuerung von Schiffen; u. a. Entwicklung von Kontroll-Algorithmen; in den Bereichen Sensor-Fusion und Risikomanagement	<a href="https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/12%20-%20AAWA%20Coordinator.pdf">https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/12%20-%20AAWA%20Coordinator.pdf</a>

## 12.2.4 Bereich Digitalisierung des Luftverkehrs

TABELLE 21: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DES LUFTVERKEHRS

Projektname	Laufzeit	AG	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>Sicherheits- und Instandhaltungsoptimierter Luftverkehr</b>					
<b>MANUAL OPERATION FOR 4TH GENERATION AIRLINERS (MAN4GEN)</b>	2012 – 2016	EU; Kooperative Finanzierung durch Industriepartner	DLR; International Development of Technology; Airbus Operations; Boeing Research & Technology Europe; Universität Wien; Linkopings Universität und weitere	Evaluierung des Verhaltens von Piloten in Extremsituationen innerhalb einer Simulationsumgebung; prototypische Anwendung eines „Risk Information Systems“ als Displayanwendung im Cockpit; Nachweis einer sinkenden Arbeitsbelastung des Piloten	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/104513_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/104513_en.html</a>
<b>WETTER UND FLIEGEN</b>	2009 – 2012	Eigenentwicklung	Forschungsverbund mehrerer DLR-Institutionen	Integration von Zusatzinformationen über Windböen, -scherungen und -schleppen in Cockpit-Displays; Automatisches Gegensteuern bei bestimmten Wetterphänomenen durch eine Weiterentwicklung der Flugsteuerung	<a href="http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296_read-2911/year-all/#/gallery/5206">http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296_read-2911/year-all/#/gallery/5206</a> ; <a href="http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1364/1937_read-17195/">http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1364/1937_read-17195/</a>
<b>AUGMENTED REALITY AERIAL NAVIGATION FOR A SAFER AND MORE EFFECTIVE AVIATION (AEROGLOSS)</b>	2015 – 2017	EU (Horizon 2020)	Aeroglass	Head-mounted-Displays (HMD); Flugrelevante Informationen werden in das Sichtfeld des Piloten projiziert	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/198099_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/198099_en.html</a>
<b>WEITERENTWICKLUNG DER INSTANDHALTUNGSVERFAHREN</b>	seit 2014	Eigenentwicklung	Lufthansa Technik; Kooperation mit der Technischen Universität Darmstadt	Prognosealgorithmen zur Simulation und Bewertung einer möglichen zukünftigen Instandhaltungsstrategie	

<b>OVERALL MANAGEMENT ARCHITECTURE FOR HEALTH ANALYSIS (OMAHA)</b>	2014 – 2017	BMW i	u. a. Airbus, Lufthansa, DLR	Entwicklung von Simulationsumgebungen zur Modifizierung von Hard- und Softwarekomponenten einzelner Flugzeuge	<a href="http://www.dlr.de/ft/desk-topdefault.aspx/tabid-1360/1856_read-39645">http://www.dlr.de/ft/desk-topdefault.aspx/tabid-1360/1856_read-39645</a>
<b>Lärm- und energieoptimierter Luftverkehr</b>					
<b>LOW NOISE AUGMENTATION SYSTEM (LNAS)</b>	vorgelegt 2016	Eigenentwicklung	DLR	Evaluierung von lärm- und emissionsarmen Landeanflugverfahren im Rahmen eines Pilotenassistenzsystems; „Electronic Flight Bag“ (EFB) visualisiert den optimalen Zeitpunkt für Handlungen während des Landeanflugs; Prototypischer Einsatz des Systems in Verkehrsflugzeugen	<a href="http://www.dlr.de/dlr/desk-topdefault.aspx/tabid-10081/151_read-20201/#/gallery/24437">http://www.dlr.de/dlr/desk-topdefault.aspx/tabid-10081/151_read-20201/#/gallery/24437</a>
<b>Personal- und kostenoptimierter Luftverkehr</b>					
<b>AL-BASED AUTONOMOUS FLIGHT CONTROL FOR THE ELECTRIC PASSENGER AIRCRAFT OF THE NEAREST FUTURES (CORVID)</b>	2016 – 2017	EU (Horizon 2020)	Daedalean AG; Google; SpaceX; ETH Zürich	Evaluierung rechtlicher Barrieren und sonstiger Markteintrittsbarrieren eines bestehenden, mit künstlicher Intelligenz ausgestatteten Autopilot-Systems für den kommerziellen Luftverkehr	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/211585_de.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/211585_de.html</a>
<b>AUTOMATED LOW ALTITUDE AIR DELIVERY (ALAADY)</b>	2016 – 2018	Eigenentwicklung	DLR	Automatisierung des Flugbetriebs auf niedrigen Höhen mithilfe großer Drohnen	<a href="http://www.dlr.de/ft/desk-topdefault.aspx/tabid-12803/22375_read-49762/">http://www.dlr.de/ft/desk-topdefault.aspx/tabid-12803/22375_read-49762/</a>
<b>UNMANNED FREIGHT OPERATIONS (UFO)</b>	2014 – 2017	Eigenentwicklung	DLR	Erforschung des autonomen Flugbetriebs großer Frachtflugzeuge auf Langstrecken mit dem Fokus auf technischen Anforderungen an die Kommunikation, Navigation und Überwachung	<a href="http://www.dlr.de/fl/desk-topdefault.aspx/tabid-1149/1737_read-47231/">http://www.dlr.de/fl/desk-topdefault.aspx/tabid-1149/1737_read-47231/</a>

## 12.2.5 Bereich Energiewirtschaft

TABELLE 22: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG DER ENERGIEWIRTSCHAFT

Projektname	Laufzeit	AG	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>PHOTOVOLTAIK-MODULE AUTOMATISIERTE ÜBERWA- CHEN</b>	vorgestellt 2016	Bund; Freistaat Bayern	Zentrum für Angewandte Ener- gieforschung e. V. (ZAE Bayern); TU München; FAU Erlangen und weitere	Automatisierte Überwachung von Photovol- taik-Modulen; u. a. mithilfe bildgebender Verfahren zur Detektion von Defekten	<a href="https://www.zae-bayern.de/downloads/TBs/ZAE-BAYERN_TB_2016.pdf">https://www.zae-bayern.de/down- loads/TBs/ZAE-BAYERN_TB_2016.pdf</a>
<b>PHOTOVOLTAIK (PV) SMART</b>	2012 – 2015	Bund; Freistaat Bayern	Zentrum für Angewandte Ener- gieforschung e. V. (ZAE Bayern)	Algorithmen zur Fehlererkennung und zur Er- tragsprognose von Solaranlagen	
<b>BELEB</b>	2017 – 2020	BMWi	Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Tech- nology (IWES); Balde Care; DWT; FreiLacke; Jadewind; Nordex; Ocean Breeze; Senvion	Entwicklung von laser- und kamerabasierten Inspektionssystemen zur Dokumentation von Schäden in Mikrometerbereich	<a href="https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/beleb.html">https://www.iwes.fraunhofer.de/de/for- schungsprojekte/aktuelle-projekte/be- leb.html</a>
<b>MOD-CMS</b>	2015 – 2019	BMWi	Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Tech- nology (IWES); Northrop Grum- man LITEF GmbH	Sensorsystem an Windkraftanlagen für die präventive Instandhaltung und Ausfall-Ursa- chenforschung	<a href="https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/mod-cms.html">https://www.iwes.fraunhofer.de/de/for- schungsprojekte/aktuelle-projekte/mod- cms.html</a>
<b>MULTIMONITOR RB</b>	2017 – 2020	BMBF	Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Tech- nology (IWES); Leibnitz Universi- tät Hannover; Wölfel Beratende Ingenieure GmbH + Co. KG; WindMW GmbH; Sennheiser electronic GmbH + Co. KG	Optimierung bestehender Überwachungssys- teme der Strukturintegrität	<a href="https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/multimonitor.html">https://www.iwes.fraunhofer.de/de/for- schungsprojekte/aktuelle-projekte/multi- monitor.html</a>

<b>THERMOFLIGHT</b>	2017 – 2018	EU-Programm zur Förderung anwendungsnaher Umwelttechniken (PFAU)	Fraunhofer Institute for Wind Energy und Energy System Technology (IWES); WindMW Service GmbH; Bremer Institut für Messtechnik, Automatisierung und Qualitätswissenschaft	Wartung und Inspektion unter dem Einsatz unbemannter Fluggeräte	<a href="https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/thermoflight.html">https://www.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/aktuelle-projekte/thermoflight.html</a>
<b>PROGNOSEBRAIN</b>	2014 – 2015	BMW i	Fraunhofer-Institut für Optoelektronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB); Resolto Informatik GmbH; Deutsche Windtechnik Service GmbH & Co. KG	Softwarelösung, die anhand von Echtzeit-Diagnosedaten Normabweichungen im Betrieb von Windkraftanlagen erkennt und entsprechende Meldungen versendet	<a href="https://www.hs-owl.de/init/forschung/projekte/b/filteroff/289/single.html">https://www.hs-owl.de/init/forschung/projekte/b/filteroff/289/single.html</a>
<b>CONDITION MONITORING SYSTEM FÜR WINDKRAFTANLAGEN, ZUR ÜBERWACHUNG UND ERKENNUNG VON ZUSTANDSÄNDERUNGEN AN RELEVANTEN KOMPONENTEN UND BAUTEILEN (WKA CC8)</b>	seit 2015	Produktvermarktung	TÜV Rheinland	Vertrieb von Schwingungsmessungen mittels mobiler Messinstrumente, die eine Schnittstelle für die Laptop- oder Tablet-gestützte Auswertung besitzen	<a href="http://condition-monitoring.online/sites/comos/files/media/cms_mobil_wka_cc8_tuev_rheinland_istec_de_bj.pdf">http://condition-monitoring.online/sites/comos/files/media/cms_mobil_wka_cc8_tuev_rheinland_istec_de_bj.pdf</a>

## 12.2.6 Bereich Telekommunikation

TABELLE 23: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH DIGITALISIERUNG IN DER TELEKOMMUNIKATION

Projektname	Laufzeit	AG	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>WIRELESS SOFTWARE AND HARDWARE PLATFORMS FOR FLEXIBLE AND UNIFIED RADIO AND NETWORK CONTROL (WISHFUL)</b>	2015 – 2017	EU (Horizon 2020)	Technische Universität Berlin; NCentric Europe; State University of New Jersey, Seoul National University; Universidade Federal Rio de Janeiro und weitere Partner	Entwicklung einer Testumgebung für zukünftige Wireless-Lösungen; Vereinheitlichung der Funkfernbedienung und standardisierte Protokollerstellung für die Datenübermittlung	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/194304_de.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/194304_de.html</a>
<b>ELASTIC WIRELESS NETWORKING EXPERIMENTATION (EWINE)</b>	2016 – 2017	EU (Horizon 2020)	Technische Universität Bremen; Technische Universität Dresden; Thales Communications & Security; Martel GmbH; Sigfox Wireless; Spacetime Networks und weitere Partner	Generierung einer Lösung für die effiziente Nutzung des Signalspektrums für Wireless-Anwendungen auf der Basis neuer Algorithmen	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/199488_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/199488_en.html</a>
<b>BUILDING AN INTELLIGENT SYSTEM OF INSIGHTS AND ACTION FOR 5G NETWORK MANAGEMENT (COGNET)</b>	2015 – 2017	EU (Horizon 2020)	Waterford Institute of Technology; IBM Ireland Limited; Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.; Technische Universität Berlin; Universidaad Politecnica de Madrid; Alcatel-Lucent Israel; Universita Trento; Orange und weitere Partner	Anwendung von Möglichkeiten des maschinellen Lernens (Machine Learning) auf eine projektierte 5G-Netzwerktechnologie	<a href="https://cordis.europa.eu/project/rcn/197345_en.html">https://cordis.europa.eu/project/rcn/197345_en.html</a>

<b>INDUSTRIAL COMMUNICATION FOR FACTORIES (IC4F)</b>	2017 – 2020	BMW	Deutsches Forschungskonsortium; u. a. mit Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.; Robert Bosch GmbH; Deutsche Telekom AG; Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG; Siemens AG; Technische Universitäten Berlin, Kaiserslautern und Stuttgart sowie weitere Partner	Kombination der 5G-Technologie mit Multi-Access-Edge-Computing (MEC) und Cloud-Computing	<a href="https://www.ic4f.de/">https://www.ic4f.de/</a>
<b>SECURE NETWORKING FOR A DATA CENTER CLOUD IN EUROPE (SENDATE)</b>	2016 – 2019	BMBF	Nokia; Airbus; Fraunhofer; Infineon Technologies AG; KIT; Technische Universitäten Braunschweig, Darmstadt, München und zahlreiche weitere Partner	Analyse von Verfahren zur effizienteren Glasfaserübertragung und Errichtung dezentral gelegener Datenzentren	<a href="https://www.celticplus.eu/project-sen-date/">https://www.celticplus.eu/project-sen-date/</a>
<b>CISPA, CRISP UND KASTEL</b>	2011 – 2021	BMBF	Kompetenz- und Forschungszentren für IT-Sicherheit in Saarbrücken, Darmstadt und Karlsruhe	Forschungsgruppen zu mehreren Schwerpunktthemen: u. a. Weiterentwicklung der automatisierten Softwareanalyse sowie mathematischer Modelle zur Abwehr von Angriffen; Entwicklung von Verteidigungsmechanismen und sichere und zuverlässige Ausgestaltung von Computersystemen für sicherheitskritische Anwendungen; Prüfung der Vereinbarkeit einer Echtzeitverfügbarkeit von Energieverbrauchsdaten mit Aspekten des Datenschutzes; Schutz der Privatsphäre bei der Nutzung digitaler Arbeitsmittel	<a href="https://www.cispa.saarland/de/research/">https://www.cispa.saarland/de/research/;</a> <a href="https://www.crisp-da.de/">https://www.crisp-da.de/;</a> <a href="https://www.kastel.kit.edu/energie.php">https://www.kastel.kit.edu/energie.php</a>

## 12.2.7 Bereich Werkzeugmaschinenbau

TABELLE 24: FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM BEREICH WERKZEUGMASCHINENBAU

Projektname	Laufzeit	AG	AN/Projektpartner	Innovation/Ergebnisse	Projekthomepage o. Ä. (falls vorhanden)
<b>MULTIMODALE AUFGABENORIENTIERTE BEDIENSYSTEME ZUR FLEXIBEL NUTZERZENTRIERTEN MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION AN PRODUKTIONSMASCHINEN (MAXIMMI)</b>	2014-2017	BMBF	Chiron, Fecken Kirfel GmbH & Co. KG, Index-Werke, RWTH Aachen (IAW und WZL), ProCom GmbH, Siemens AG	Entwicklung und Anpassung von Steuerungskonzepten für Produktionsmaschinen unter der Berücksichtigung individueller kognitiver, kultureller und physischer Voraussetzungen des Bedieners	<a href="http://www.maximmi.de/de/default.html">http://www.maximmi.de/de/default.html</a>
<b>PRODUKTIONSPLANUNG UND –STEUERUNG MITTELS MOBILER ENDGERÄTE (PROSENSE)</b>	2012-2015	BMBF	DIN e. V., Ergoneers GmbH, etagis GmbH, FH Aachen, RWTH Aachen (FIR, IAW, WZL), MSR Technologies GmbH, Ortlinghaus-Werke GmbH, PSIPENTA Software Systems GmbH, SICK AG	Entwicklung eines Werkzeugs zur adaptiven Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik. Ableitung von Designempfehlungen an Tablet-Applikationen zur Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit dieser Endgeräte	<a href="http://www.prosense.info">http://www.prosense.info</a>

## 12.3 Detailanalyse ausgewählter Rechtsakte hinsichtlich digitaler Arbeits- und Hilfsmittel

TABELLE 25: RELEVANTE BESTIMMUNGEN GEMÄß TSI „VERKEHRSBETRIEB UND VERKEHRSTEUERUNG“ (VERORDNUNG (EU) 2015/995) MIT DEM FOKUS AUF DAS TÄTIGKEITSPROFIL DES TRIEBFAHRZEUGFÜHRERS (TF)  
(EIGENE DARSTELLUNG)

Teil-Spezifikationen (Auswahl gem. Verordnung (EU) 2015/995)	Regelungsinhalte (Auswahl; sinngemäße Wiedergabe)
Abschnitt 4.2.1.2 Unterlagen für Triebfahrzeugführer	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EVU muss alle zur Durchführung von Aufgaben erforderlichen Informationen und Unterlagen zur Verfügung stellen</li> <li>▪ Informationen müssen den Normalbetrieb, gestörten Betrieb und Notsituationen berücksichtigen</li> </ul>
Abschnitt 4.2.1.2.1 Regelbuch für Triebfahrzeugführer (Triebfahrzeugführerheft)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alle wesentlichen betrieblichen Anweisungen müssen in einem Dokument oder auf einem elektronischen Datenträger mit der Bezeichnung „Triebfahrzeugführerheft“ zusammengefasst werden</li> <li>▪ Regelbuch muss Anforderungen für alle befahrenen Strecken und die darauf eingesetzten Tfz im Normalbetrieb, gestörten Betrieb und in Notsituationen enthalten</li> </ul>
Abschnitt 4.2.1.2.2 Beschreibung der Strecke und der dieser zugeordneten streckenseitigen Ausrüstung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dem Tf ist eine Beschreibung der Strecken [...] bereitzustellen. Dies hat in Form einer einzigen Unterlage mit der Bezeichnung „Streckenbuch“ zu erfolgen (entweder als herkömmliches Dokument oder als elektronisches Medium)</li> <li>▪ Das Streckenbuch muss mindestens Angaben zu allgemeinen Betriebsmerkmalen (z. B. Signal-, Strom-, Zugfunksystem), Angaben der Steigungen und Gefälle sowie ein detailliertes Streckendiagramm (z. B. mit Namen der Bahnhöfe, zulässiger Höchstgeschwindigkeiten für jedes Gleis) enthalten</li> </ul>
Abschnitt 4.2.1.2.2.2 Änderungen von Informationen im Streckenbuch	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Änderungen müssen vom EVU in einem gedruckten Dokument oder auf elektronischem Medium zusammengefasst werden, dessen Format für alle Infrastrukturen, auf denen Züge des EVU verkehren, identisch ist</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das EIU muss sicherstellen, dass der Inhalt der Unterlagen, die den EVU bereitgestellt werden, vollständig und richtig ist</li> <li>▪ Das EVU muss sicherstellen, dass der Inhalt des Dokuments, in dem die Änderungen zusammengefasst sind, vollständig und richtig ist</li> </ul>
<p>Abschnitt 4.2.1.2.2.3 Informationen des Triebfahrzeugführers in Echtzeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das EIU muss die Tf über Änderungen auf der Strecke oder an streckenseitiger Ausrüstung abweichend zum Streckenbuch informieren</li> </ul>
<p>Abschnitt 4.2.1.2.3 Fahrpläne</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das EVU muss dem Tf die Informationen zur Verfügung stellen, die für die planmäßige Durchführung der Zugfahrt notwendig sind (z. B. Zugnummer/-kennzeichnung; Verkehrstage, Verkehrs- und Betriebshalte; Ankunfts-, Abfahrts- und Durchfahrtszeiten)</li> <li>▪ Die Zuglaufdaten auf Basis von Informationen des EIU können elektronisch oder in gedruckter Form mitgeteilt werden</li> <li>▪ Die formale Aufmachung der Zuglaufdaten muss für die Tf auf allen Strecken dieselbe sein, auf denen das EVU tätig ist</li> </ul>
<p>Abschnitt 4.2.1.2.4 Fahrzeuge</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Das EVU muss dem Tf alle relevanten Informationen über den Betrieb der Fahrzeuge bei gestörtem Betrieb zur Verfügung stellen</li> </ul>
<p>Abschnitt 4.6.3.2 Ermittlung und Aktualisierung des Schulungsbedarfs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EVU und EIU müssen den Schulungsbedarf für ihr jeweiliges Personal ermitteln und ein Verfahren zur Überarbeitung und Aktualisierung des individuellen Schulungsbedarfs erstellen</li> <li>▪ Die Ermittlung des Schulungsbedarfes muss den Umfang und die Komplexität beschreiben und Risiken in Verbindung mit dem Zugbetrieb, der Traktion und den Fahrzeugen Rechnung tragen</li> </ul>
<p>Kapitel 6 Schriftliche Befehle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schriftliche Befehle haben Vorrang vor einer streckenseitigen Signalisierung und/oder vor Driver-Machine-Interfaces (DMI) im Führerraum</li> <li>▪ Schriftliche Befehle können auf Papier, als mündliche Anweisungen, die vom Tf aufgeschrieben werden können, oder andere sichere Kommunikationsmethoden übertragen werden</li> </ul>

Kapitel 8  
Formularheft

- Das EIU muss Formularhefte und einzelne Formulare in Betriebsprache erstellen
- Formulare sind in Heftform oder elektronischer Form zusammenzustellen

TABELLE 26: REGELUNG DES EINSATZES DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL DES TF GEMÄß VDV-BETRIEBSREGELWERK (BRW)  
(EIGENE DARSTELLUNG)

Digitale Arbeits- und Hilfsmittel bzw. Technologien mit Anwendungsschwerpunkt beim Tf (Auswahl)	Status*	Regelung im BRW EVU des VDV (Auswahl; sinngemäße Wiedergabe)
▪ Automatisierte Fahr- und Bremssteuerung (AFB)	x	▪ BRW.6101: AFB in Verknüpfung mit LZB-geführtem Betrieb
▪ Automatische Bremsprobe	-	
▪ Automatische Kupplung	-	▪ BRW.6510: Für automatische Kupplungen sind Regelungen des EVU zu beachten
▪ Automatische Zugintegritätsprüfung	-	
▪ Automatische Detektion und Meldung von Schäden am Zugverband (z. B. Heißläufer)	(x)	▪ BRW.6103: Definition einer allgemeinen Vorgehensweise bei der Feststellung von Unregelmäßigkeiten am Tfz
▪ Diagnosesystem Tfz per Führerraum-Display (Maschinentechnisches Display – MTD)	(x)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BRW.6101: Betriebsanweisungen für Tfz sind zu beachten</li> <li>▪ BRW.6112: Handlungsablauf bei Ansprechen der Automatischen Stromabnehmer-Senkeinrichtung</li> </ul>
▪ Diagnosesystem Zugverband per Führerraum-Display	-	
▪ Digitale Fahrerassistenzsysteme	-	
▪ Digitale Fahrplananzeige im Führerraum	(x)	▪ BRW.1120: Die für den Zug und die befahrene Strecke geltenden Fahrplan-/La-Angaben müssen per Führerraumanzeige oder in anderer Form einsehbar zur Verfügung stehen
▪ Digitales Fahrzeugübergabebuch	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BRW.6001: Art und Weise der Dokumentation von Störungen und Mängeln (z. B. Übergabe-, Störungs-, Mängelbuch) ist vom EVU zu beschreiben</li> <li>▪ BRW.6101: In Regelungen des EVU kann vorgeschrieben sein, dass die</li> </ul>

		Übergabe des Tfz sowie Besonderheiten [...] zu dokumentieren sind
▪ Digitales Kommunikationssystem	(x)	▪ BRW.1211: Formulierung allgemeiner Grundsätze zur funkbasierten Kommunikation
▪ Dynamische (d. h. ortsabhängige) Anzeige der tagesaktuellen La	-	
▪ Elektronische Fahrtenregistrierung (EFR)	x	▪ BRW.6102: Eingabe der vom EVU-zugewiesenen PZB-Kennung in die EFR zur Nachweisführung von Betriebs- und Bedienvorgängen
▪ Elektronische Schadensmeldung (ESM)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BRW.6001: Art und Weise der Dokumentation von Störungen und Mängeln (z. B. Übergabe-, Störungs-, Mängelbuch) ist vom EVU zu beschreiben</li> <li>▪ BRW.6103: Dokumentation von Störungen und Mängeln ist in Regelungen des EVU vorgegeben</li> </ul>
▪ Elektronische Strecken- und Signalbeobachtung (u. a. mithilfe automatischer Bilderkennung)	-	
▪ Elektronisches Melden bei Dienstantritt und –ende sowie Melden von Schichtabweichungen	(x)	▪ BRW.1001A02: Unternehmer legt fest, ob und für welche Zwecke elektronische Endgeräte genutzt werden
▪ Prüfung des ordnungsgemäßen Abstellens der Waggons durch Sensorik	-	
▪ Tablet-gestützte Synchronisierung, Quittierung und Anzeige aktualisierter Regelwerke, Weisungen, Informationen	(x)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BRW.1001A02: Unternehmer legt fest, ob und für welche Zwecke elektronische Endgeräte genutzt werden</li> <li>▪ BRW.5401: In den Regelungen des EVU kann zugelassen sein, dass die örtliche Aufsicht auf die Bestätigung von Anordnungen über den Zugverkehr verzichten darf, wenn der Absender eine automatische elektronische Empfangsbestätigung erhält</li> </ul>
▪ Tablet-gestützte Anzeige der tagesaktuellen La	(x)	▪ BRW.1001A02: Unternehmer legt fest, ob und für welche Zwecke elektronische Endgeräte genutzt werden

\* x = implementiert      (x) = teilweise implementiert      - = nicht implementiert

TABELLE 27: REGELUNG DES EINSATZES DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL DES TF GEMÄß TRIEBFAHRZEUGFÜHRERHEFT (TF-HEFT) DER DEUTSCHEN BAHN AG (RIL 418)  
(EIGENE DARSTELLUNG)

Digitale Arbeits- und Hilfsmittel bzw. Technologien mit Anwendungsschwerpunkt beim Tf (Auswahl)	Status*	Regelung in Ril 418.10-90 (Tf-Heft) (Auswahl; sinngemäße Wiedergabe)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatisierte Fahr- und Bremssteuerung (AFB)</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.3114: AFB in Verknüpfung mit LZB-geführtem Betrieb</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatische Bremsprobe</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatische Kupplung</li> </ul>	(x)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.2118A02: Automatische Kupplung nur in Verknüpfung mit automatischer Rangierkupplung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatische Zugintegritätsprüfung</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatische Detektion und Meldung von Schäden am Zugverband (z. B. Heißläufer)</li> </ul>	(x)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.3343: Detektion von Heißläufern wird zunächst an Fdl gemeldet, der Halteauftrag an Tf weitergibt</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagnosesystem Tfz per Führerraum-Display (Maschinentechnisches Display – MTD)</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 481.1100: Verweis auf betriebliche Ursprungsregelwerke (diverse Richtlinien aus der Reihe 493 „Triebfahrzeuge bedienen“)</li> <li>▪ Ril 418.2143: Fernmündliche Meldung von Störungen, die [...] nicht von der Fahrzeugdiagnose oder durch manuelle Mängелеingabe am MTD erfasst werden</li> <li>▪ Ril 418.2146A01: Diagnosemeldung im Zusammenhang mit Zugbeeinflussungssystem PZB/LZB</li> <li>▪ Ril 418.2169: Ansprechen der Automatischen Stromabnehmer-Senkeinrichtung bei Stromabnehmerstörungen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagnosesystem Zugverband per Führerraum-Display</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitale Fahrerassistenzsysteme</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.3339: Nutzung Automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB) zur wirtschaftlicheren Fahrweise und LZB-Führung</li> <li>▪ Ril 418.8497A03: Nutzung der EBU-La-Funktionalität Energiesparende Fahrweise (ESF)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitale Fahrplananzeige im Führerraum</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.8497: Nutzung Elektronischer Buchfahrplan (EBU-La)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.8497A01: Nutzung eines Blattfahrplans in elektronischer Form (z. B. auf einem Tablet) bei Ausfall des EBU-La-Bordgerätes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitales Fahrzeugübergabebuch</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitales Kommunikationssystem</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.2164A50: Übermittlung der Ist-Reihung des Triebzuges per SMS</li> <li>▪ Ril 418.6330: Gespräche im GSM-R-Zugfunk führen</li> <li>▪ Ril 418.6420: Gespräche im GSM-R-Rangierfunk führen</li> <li>▪ Ril 418.9200: Übermittlung dringlicher Weisungen fernmündlich oder per SMS über Mobilfunk</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dynamische (d. h. ortsabhängige) Anzeige der tagesaktuellen La</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronische Fahrtenregistrierung (EFR)</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.2146: Elektronische Fahrtenregistrierung als PZB 90-Funktionalität zwecks Nachweis von Betriebs- und Bedienvorgängen</li> <li>▪ Ril 418.3248A02: Elektronische Fahrtenregistrierung als LZB 80-Funktionalität zwecks Nachweis von Betriebs- und Bedienvorgängen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronische Schadensmeldung (ESM)</li> </ul>	(x)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.3323: Meldung von Schäden und Mängeln an den Bremseinrichtungen u. a. durch Eingabe in ein Diagnosesystem</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronische Strecken- und Signalbeobachtung (u. a. mithilfe automatischer Bilderkennung)</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronisches Melden bei Dienstantritt und –ende sowie Melden von Schichtabweichungen</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.2111A50: Melden mit Tablet bei Schichtbeginn und –ende</li> <li>▪ Ril 418.2111A50: Erfassung des Schichtverlaufs und Eingabe von Abweichungen zum geplanten Schichtverlauf per Tablet</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prüfung des ordnungsgemäßen Abstellens der Waggons durch Sensorik</li> </ul>	-	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tablet-gestützte Synchronisierung, Quittierung und Anzeige aktualisierter Regelwerke, Weisungen, Informationen</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.3343A70: Durchführung einer Datensynchronisierung des Fahrplans vor einer Zugfahrt, um den Fahrplan als Rückfallebene auf dem Tablet vorzuhalten</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tablet-gestützte Anzeige der tagesaktuellen La</li> </ul>	<p>x</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ril 418.9200: Aktualisierungen bzw. Neuherausgaben elektronischer Regelwerke oder Angaben bzw. Zusätze zum Streckenbuch können auf dem Tf-Tablet bekannt gegeben werden</li> <li>▪ Ril 418.9200: Ad-hoc-Weisungen und deren Empfangsbestätigung können in elektronischer Form übermittelt werden.</li> <li>▪ Ril 418.2111A50: Ausführung persönlicher Teilarbeiten (u. a. Vorbereitung der Zugmappe durch Datensynchronisierung) per Tablet</li> </ul> <p>Ril 418.3312: Falls keine Führerraumanzeige der La verfügbar, kann diese in elektronischer Form, z. B. auf einem Tablet, angezeigt werden</p>
--	----------	--

\* x = implementiert

(x) = teilweise implementiert

- = nicht implementiert

TABELLE 28: SCHULUNG DIGITALER ARBEITS- UND HILFSMITTEL DES TF AM BEISPIEL DES LOKFÜHRER-HANDBUCHS FÜR DAS TFZ SIEMENS VECTRON (EIGENE DARSTELLUNG NACH SIEMENS AG 2017)

<b>Digitale Arbeits- und Hilfsmittel im Tfz Siemens Vectron (Auswahl)</b>	<b>Erläuterungen entsprechend Lokführerhandbuch (Auswahl; sinngemäße Wiedergabe)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Allgemeine Störungsmeldungen</li> </ul>	<p>Automatische Erkennung und Aufzeichnung von Störungen, Information des Tf bei Auftreten von Fehlern durch Diagnosemeldungen am TDD-Führerraumdisplay, Anzeige möglicher Maßnahmen zur Fehlerbehebung</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB)</li> </ul>	<p>Automatische Geschwindigkeitsregelung zur Unterstützung des Tf</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Brandmelde- und Brandbekämpfungsanlage</li> </ul>	<p>Automatische Erkennung von Bränden via Temperaturfühler und Brandbekämpfung; manuelle Auslösung durch Tf in den Führerräumen möglich</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control and Command Display (CCD)</li> </ul>	<p>Anzeige betriebsrelevanter Daten, u. a. zum Zugbeeinflussungssystem</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Datenfernübertragung</li> </ul>	<p>Verwendung der Übertragungstechnologien GSM, UMTS und GPS zur Übertragung des Standortes des Tfz sowie von Diagnose- und Betriebsdaten</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagnose von Störungen im Zusammenhang mit ETCS</li> </ul>	<p>Visualisierung von Störungen am CCD-Führerraumdisplay (u. a. bei Fehlern eines STM-Moduls, Störungen der CCD-Anzeige, gestörter Bremsansteuerung, gestörter Datenaufzeichnung, GSM-R-Störung etc.)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitaler Zugfunk</li> </ul>	<p>GSM-R-Funktionalität via Sende- und Empfangsanlage im Führertisch</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektronischer Buchfahrplan (EBuLa)</li> </ul>	<p>EBuLa-Funktionalität via EBuLa-Bordgerät im Führertisch</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ep-Prüfbox</li> </ul>	<p>Außenanzeige/Prüfbox zur Visualisierung des ordnungsgemäßen Tests der elektropneumatischen Bremse (ep-Bremse) via Prüftaster und Leuchtmelder</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fahrerassistenzsystem „Vectron Eco Cruise“</li> </ul>	<p>Berechnung einer idealen Fahrweise durch Vorgabe von Strecken-, Fahrplan- und Zugdaten und Ausgabe einer Sollgröße an die AFB. Umsetzung von Fahrempfehlungen u. a. in den Modi Beschleunigen, Geschwindigkeit halten, Bergabrollen, elektrisch Bremsen, kombiniertes Bremsen. Tf haben jederzeit Eingriffsmöglichkeiten analog zum AFB-Fahrbetrieb</p>

▪ Rückschaueinrichtungen	Installation von zwei Außen-Videokameras an jedem Führerhaus und Anzeige des Kamerabildes im TDD-Display am Führertisch
▪ Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa)	Sifa-Funktion zur Überwachung des Tf durch Aufleuchten des Leuchtmelders und akustisches Warnsignal, Bestätigung durch Sifa-Taster
▪ Technical and Diagnostic Display (TDD)	Diagnose von Störungen und Anzeige möglicher Maßnahmen zur Fehlerbehebung
▪ Zugbeeinflussungssystem	Visualisierung von ETCS-Anzeigen und länderspezifischer Zugbeeinflussungssysteme im CCD-Führerraumdisplay