

Deutsches Zentrum für  
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

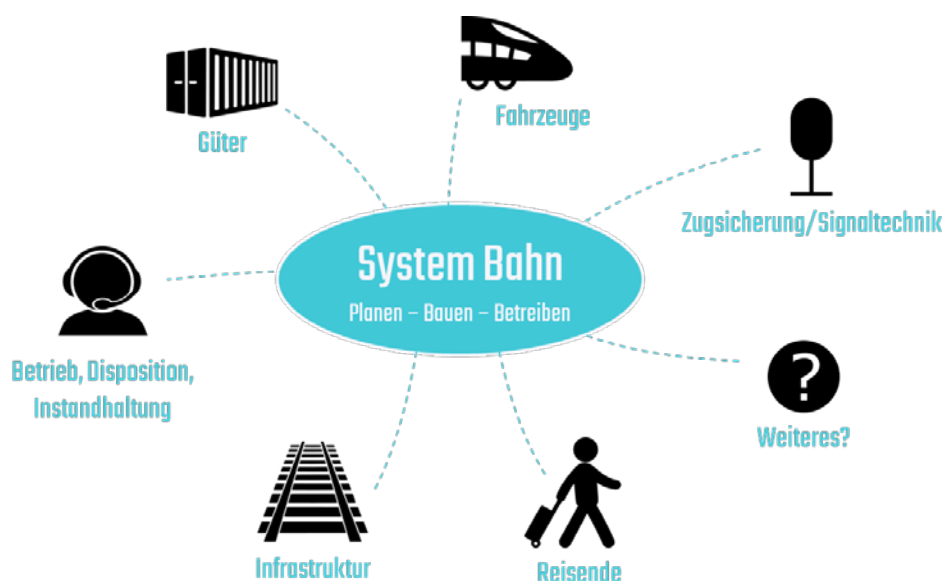
Berichte  
des Deutschen Zentrums  
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 20 (2022)

# Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzept

Teil 1: Technologieprognose





Berichte des Deutschen Zentrums  
für Schienenverkehrsforschung, Nr. 20 (2022)  
Projektnummer 2020-22-S-1202

# Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte

## Teil 1: Technologieprognose

von

Dr. Michael Leining  
NEXTRAIL GmbH, Berlin

Max Schubert, Dr.-Ing. Markus Heinrich  
INCYDE industrial cyber defense GmbH, Berlin

Prof. Dr. Stefan Katzenbeisser, Simon Unger  
Lehrstuhl für Technische Informatik, Universität Passau, Passau

Prof. Dr. Christoph Krauß, Dr. Dirk Scheuermann  
Cyberphysical Systems Security and Automotive Security, Fraunhofer-Institut für Sichere Informations-  
technologie, Darmstadt

Im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

# Impressum

## HERAUSGEBER

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10  
01219 Dresden

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

## DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

NEXTRAIL GmbH  
Unter den Linden 21  
10117 Berlin

INCYDE industrial cyber defense GmbH  
Unter den Linden 21  
10629 Berlin

Lehrstuhl für Technische Informatik  
Universität Passau  
Innstraße 43  
94032 Passau

Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie (SIT)  
Bereich Cyberphysical Systems Security and Automotive Security (CSS)  
Rheinstr. 75  
64295 Darmstadt

ABSCHLUSS DER STUDIE  
voraussichtlich November 2023

## REDAKTION

DZSF

Dr. Lukas Iffländer, Dr. Thomas Buder, Forschungsbereich Sicherheit

PUBLIKATION ALS PDF

<https://www.dzsf.bund.de/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte>

ISSN 2629-7973

[doi: 10.48755/dzsf.220008.06](https://doi.org/10.48755/dzsf.220008.06)

Dresden, Januar 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzbeschreibung .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Methodik.....</b>	<b>10</b>
2.1 Projektpartner .....	10
2.1.1 Nextrail.....	10
2.1.2 INCYDE .....	10
2.1.3 Fraunhofer-Institut SIT.....	10
2.1.4 Universität Passau .....	11
2.2 Design Thinking .....	11
2.3 Recherche .....	12
2.3.1 Forschungsbegleitender Arbeitskreis (FbA) .....	13
2.3.2 Rechercheprozess.....	13
<b>3 Definition des Systems Bahn .....</b>	<b>16</b>
3.1 Übersichtsgrafik System Bahn.....	16
3.2 Beteiligte Personen des Systems .....	16
3.3 Beschreibung der Funktionen „Planen“ .....	18
3.3.1 Betrieb, Disposition, Instandhaltung .....	18
3.3.2 Infrastruktur.....	18
3.3.3 Streckensicherung/Signaltechnik.....	19
3.3.4 Fahrzeuge .....	19
3.3.5 Reisende.....	19
3.3.6 Güter .....	20
3.4 Beschreibung der Funktionen „Bauen“ .....	20
3.4.1 Betrieb, Disposition, Instandhaltung .....	20
3.4.2 Infrastruktur.....	20
3.4.3 Streckensicherung/Signaltechnik.....	21
3.4.4 Fahrzeuge .....	21
3.4.5 Reisende.....	22
3.4.6 Güter .....	22
3.5 Beschreibung der Funktionen „Betreiben“ .....	22
3.5.1 Betrieb, Disposition, Instandhaltung .....	22
3.5.2 Infrastruktur.....	23
3.5.3 Streckensicherung/Signaltechnik.....	24
3.5.4 Fahrzeuge .....	25

3.5.5	Reisende.....	26
3.5.6	Güter .....	28
<b>4</b>	<b>Technologietrends.....</b>	<b>30</b>
4.1	Bekannte Technologietrends für das System Bahn.....	31
4.2	Potenzielle Technologietrends für das System Bahn .....	37
4.3	Trends und Standards aus der Automotive-Industrie .....	46
<b>5</b>	<b>Anwendungsfälle .....</b>	<b>48</b>
5.1	Cloud-Stellwerk (Private Cloud) .....	49
5.2	Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren.....	51
5.3	Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz .....	53
5.4	Steuernder Durchgriff der Disposition .....	55
5.5	Intermodale Reisekette.....	58
5.6	Intermodale Güterabfertigung.....	61
5.7	Virtuelles Kuppeln für HGV und Güter.....	64
5.8	Automatisierte Planung und Planprüfung.....	66
5.9	Reise- und Lebensmanagement.....	68
5.10	Güterwegemanagement .....	70
5.11	Kontaktlose Fahrscheinkontrolle.....	73
5.12	Personenidentifizierung .....	75
5.13	Reisendenlenkung durch den Bahnhof .....	77
5.14	Optimierte Reise- und Preisgestaltung.....	80
5.15	Optimierung der Fahrgastwechselzeit .....	83
5.16	Vorort-Informationen am Bahnsteig.....	86
5.17	Emotions- und Absichtserkennung der Reisenden.....	89
5.18	Automatisierte Ablaufsteuerung.....	91
5.19	Intelligente Instandhaltung .....	93
5.20	Vollautomatisiertes Fahren .....	95
5.21	Zugsicherung mit ETCS.....	98
5.22	Allgemeine Trends.....	100
<b>6</b>	<b>Bewertung der Technologien .....</b>	<b>104</b>
<b>7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>107</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>109</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>111</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>112</b>
	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>113</b>

# Kurzbeschreibung

Die Digitalisierung im Verkehr ist ein Megatrend, der intermodalen Verkehr, höhere Effizienz und mehr Kapazität ermöglichen soll. Die damit verbundene immer stärkere Vernetzung im Fahrzeug – zwischen den Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeug und zentralen Systemen für digitale Customer Services und Verkehrssteuerung – birgt neue Gefahren für skalierbare Angriffe auf die Integrität und Verfügbarkeit der Transportmittel sowie auf die Vertraulichkeit (Persönlichkeitsrechte) der verwendeten Nutzerdaten.

Mit Einführung des IT-Sicherheitsgesetzes und der KRITIS-Verordnung 2017 erfolgte die Einstufung der Schiene als Kritische Infrastruktur. Vergleichbare Initiativen bestehen in den europäischen Staaten basierend auf der EU-Richtlinie 2016/1148. Daraus folgen weitreichende Anforderungen an die Betreiber zur dauerhaften Sicherstellung der kritischen Dienstleistung. Die parallel stattfindende Digitalisierung des Eisenbahnverkehrs führte die Infrastrukturbetreiber in gemeinsame Standardisierungsoffensiven, wie EULYNX<sup>1</sup> und RCA<sup>2</sup>, um einheitliche Standards für höhere Verfügbarkeit und IT-Sicherheit definieren zu können. Normative Grundlagen bilden die IEC 62443 und die prTS 50701. In gleicher Weise ist im Straßenverkehr die IT-Sicherheit ein entscheidender Faktor. Die 2020 verabschiedete Regulierung UN R.155, relevant u. a. für den europäischen Markt, erweitert beispielweise die Typzulassung von Straßenfahrzeugen um das Thema Cyber-Security, basierend auf dem Entwurf des ISO/SAE 21434 Standards.

Das System Bahn profitiert von dieser zunehmenden Digitalisierung in allen Bereichen durch Effizienzsteigerung, Vereinfachung und Automatisierung von Prozessen. Gleichzeitig steigt die Bedrohung durch Cyberangriffe mit Folgen für das System Bahn und das Funktionieren unserer modernen Gesellschaft, die die Transportleistung für Personen und Güter als eine ihrer Kritischen Infrastrukturen nutzt.

Das Forschungsprojekt „Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte“ gliedert sich in vier Arbeitspakete „AP 1 Technologieprognose“, „AP 2 Prognose Securitybedarf“, „AP 3 Risikoanalyse“ und „AP 4 Sicherheitskonzepte“.

Das vorliegende Dokument wagt im AP 1 den Blick in die Zukunft bis ins Jahr 2050, um zu prognostizieren, welche digitalen Technologien im System Bahn eingesetzt werden. Diese Technologieprognose dient als Grundlage für eine Abschätzung der künftig notwendigen IT-Sicherheitskonzepte, die den Schienenverkehr angemessen vor Cyberangriffen schützen. Die Ergebnisse können als Grundlage für die weitere Normierung oder Standardisierung für die Initiativen im Bahnsektor in Deutschland und Europa sowie die konkreten Realisierungsprojekte dienen, um langfristige Migrationspfade zu skizzieren und so frühzeitig ausreichend Schutz aus Sicht der IT-Sicherheit etabliert zu haben und kontinuierlich weiter entwickeln zu können. Die Betrachtung der IT-Sicherheit ist nicht Gegenstand dieser AP Dokumentation, sondern wird im Rahmen der folgenden Arbeitspakete des Projektes vorgenommen.

Um das System Bahn abzugrenzen, wird zunächst eine Systemdefinition erarbeitet, die die Bereiche Reisende, Güter, Infrastruktur, Signaltechnik, Fahrzeuge und Disposition umfasst. Parallel dazu werden digitale Technologien erfasst, die heute schon in Forschung und Industrie bekannt sind. Anschließend werden Anwendungsfälle beschrieben, die den möglichen zukünftigen Einsatz der Technologien im System Bahn skizzieren. Es zeichnet sich ab, dass mit der Digitalisierung zahlreiche Prozesse im gesamten Schienenverkehr von der Planung, über den Betrieb und Instandhaltung bis zur Reisendeninformation,

---

<sup>1</sup> [www.eulynx.eu](http://www.eulynx.eu)

<sup>2</sup> [https://ertms.be/workgroups/ccs\\_architecture](https://ertms.be/workgroups/ccs_architecture)

durch Automatisierung und digitale Prozesse unterstützt werden können. Personen und Objekte werden zunehmend vernetzt, um Daten zu aggregieren und auf den Kunden im Personen- sowie Güterverkehr individuell zugeschnitten bereitstellen zu können. Hierfür gewinnt die drahtlose Kommunikation über Ad-hoc-Netze und Mobilfunk an Bedeutung. Ebenso ist der Austausch digitaler Daten zwischen Akteuren des System Bahn (Betreiber, Hersteller, Lieferanten) zukünftig stärker notwendig, um einen höheren Mehrwert aus der geteilten Information bieten zu können. Jede Technologie wird in Anwendungsfällen („Use Cases“) in einen Kontext gestellt, um die notwendigen Vernetzungen aufzuzeigen. Zum Schluss erfolgt die Bewertung auf Einsatzwahrscheinlichkeit jeder Technologie, um die Relevanz der Technologieprognose und der darauf aufbauenden Security-Arbeitspakete sicher zu stellen.

Die Technologieprognose zeigt die Verschmelzung des Systems Bahn mit anderen Verkehrsträgern und weiteren Disziplinen des täglichen Lebens bis hin zur vollständigen Integration in den Lebensablauf.



# 1 Einführung

Die Deutsche Bahn hat im Jahr 2020 rund 2,9 Mrd. Passagiere und 213 Mio. Tonnen Güter transportiert. Dafür legte sie 678 Mio. Trassenkilometer zurück (Deutsche Bahn, 2021). Zukünftig sollen auf dem bestehenden Schienenverkehrsnetz von rund 33.400 km Streckenlänge bis zu einem Drittel mehr Kapazität bereit gestellt werden (Dresdner Neueste Nachrichten, 2019). Zur Realisierung dieser Ziele investiert der Bund seit 2019 jährlich mehr Geld in das Schienennetz der Deutschen Bahn, 2022 erstmals sogar mehr als in die Straße. Damit sollen vor allem aus klimapolitischen Gründen die Fahrgastzahlen bis 2030 verdoppelt werden (Rebhan, 2021).

Für die Bahn ist zur Realisierung dieser Ziele eine deutliche Leistungssteigerung pro Meter Schiene erforderlich. Dies betrifft das Gesamtsystem Bahn, beginnend bei der Verkehrssteuerung, der Ausnutzung des vorhandenen Schienennetzes, über die Lenkung der Reisendenströme im Bahnhof und in den Verkehrsmitteln bis zur Anbindung verschiedener anschließender Verkehrsträger, um einen zügigen und kontrollierten Zu- und Abfluss der Güter und der Reisenden zu ermöglichen. Die Konsequenz daraus ist eine durchgehende Digitalisierung der Technologie und Betriebsprozesse des Systems Bahn. Diese Zielsetzung fördert einerseits neue Technologietrends sowie steigert die Kapazität und Attraktivität des Gesamtsystems Bahn. Andererseits entstehen dadurch neue Angriffsmöglichkeiten und Risiken, die eine Bedrohung für die Verfügbarkeit und Betriebssicherheit des Bahnsystems darstellen.

Das Projekt „Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte“ beleuchtet dieses Spannungsfeld zwischen Technologietrends und Herausforderung von Bedrohungen und erarbeitet Ansätze und Lösungen für eine Digitalisierung des Systems Bahn, die die Ziele des sicheren Verkehrsmittels erhält und gleichzeitig innoviert.

Grundlage der Securityanalyse ist die Definition des Systems Bahn (Kapitel 3), das zu Beginn mit einem zeitlichen Horizont bis ins Jahr 2050 abgeschätzt wird. Für diesen Prozess werden zahlreiche Technologietrends verschiedener Industrien herangezogen (Kapitel 4). Als Referenzsystem für ähnliche Herausforderungen wird die Automobilindustrie genutzt. Alle ermittelten Trends werden dann durch Implementierung in konkrete Use Cases in den Bahnkontext gestellt (Kapitel 5). Daraus ergibt sich ein Gesamtbild an neuen Technologien. Technologietrends rund um das automatisierte Fahren, Verkehrsleitung und digitale Services werden auf Anwendbarkeit im Bahnbereich geprüft. In den Use Cases finden somit Technologien, Datenströme und Nutzen eine Verbindung, die in den darauffolgenden Projektphasen direkt für die Ableitung der entstehenden Security-Bedarfe herangezogen werden.

Zur Umsetzung des Projekts haben sich die vier Partner Nextrail GmbH, INCYDE industrial cyber defense GmbH, Universität Passau sowie das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT aus der Industrie und Forschung zusammengefunden, welche sowohl die bahntechnischen und bahnbetrieblichen Belange als auch die Anwendung der Security-Maßnahmen im Stand der Technik und in der Zukunft aus Forschung und Entwicklung abbilden können. Abgerundet wird die Expertise durch Security-Erfahrungen aus dem angrenzenden Industriebereich des Automobilbaus und -betriebs.

Für den wichtigen Schritt der Relevanzprüfung in der Phase der Technologieprognose wird zusätzlich ein forschungsbegleitender Arbeitskreis hinzugezogen, der Bahnbetreiber, Industriepartner und Forschung aus dem deutschsprachigen Raum berücksichtigt. Damit soll die Relevanz der durchgeführten Untersuchungen sichergestellt werden.

## 2 Methodik

Bevor die inhaltlichen Ergebnisse der Technologieprognose vorgestellt werden, werden in diesem Kapitel zunächst die Projektpartner und die dahinterstehende Methodik, die auf eigener Recherche, Design Thinking und der Einbindung von FbA-Mitgliedern basiert, beschrieben.

### 2.1 Projektpartner

Für das Projekt agieren die vier Projektpartner Hand in Hand, um die verschiedenen Expertisen aus Security, Bahn, Automotive und Betriebsprozesse bestmöglich nutzen zu können. In den folgenden Abschnitten werden die Projektpartner kurz vorgestellt.

#### 2.1.1 Nextrail

Die Nextrail GmbH mit Sitz in Berlin, Frankfurt, Braunschweig und München berät Betreiber und Hersteller von Bahnsystemen mit umfassendem technischen und prozessuellem Detailwissen sowie anwendungsübergreifendem System-Knowhow. Zum Portfolio gehören vor allem Risiko- und Gefährdungsanalysen sowie die Integration der IT-Sicherheit in Entwicklungsprozesse im Zusammenspiel mit safety-relevanten Aspekten. Als Kompetenzträger für den Bereich Bahnsicherheitstechnik sorgt Nextrail durch praxisbezogene Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten regelmäßig zur Schaffung von Schnittstellen zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik. So konnte beispielsweise im Forschungsprojekt „Kritische Infrastruktur Modul 1: Analyse möglicher Angriffsszenarien für den Bereich Zugsicherung, Zugsteuerung und Signalgebung: ETCS und GSM-R“ für das Eisenbahn-Bundesamt Fachwissen gebündelt und Entscheidungsgrundlagen geschaffen werden.

#### 2.1.2 INCYDE

Die INCYDE industrial cyber defense GmbH mit Sitz in Berlin, Frankfurt und München hat sich auf die Analyse, Lösungserarbeitung und Umsetzung von Security-Bedarfen im Bereich operativer Technologien in den Bereichen Eisenbahn- und Energietechnik spezialisiert. INCYDE führt die Security Cluster Spezifikationen der europäischen Initiativen EULYNX und RCA und ist bei OCORA beteiligt. Sie war für die Spezifikation der ATO (Automatic Train Operation) Security für das Projekt Digitale Schiene Hamburg verantwortlich und ist aktuell für ATO Security des Digitalen Knoten Stuttgart verantwortlich. INCYDE ist heute für die Deutsche Bahn bestellt, gutachterlich die Security-Konzepte für das digitale Stellwerk und bahnbetriebliches IP-Netz zu bewerten. Für das Security Operations Center im Kontext EULYNX und Deutsche Bahn erfolgte die risikobasierte Ableitung der Use-Cases, die Korrelationslogik und Spezifikation der Komponentenfähigkeiten zur Umsetzung der Security-Strategie.

#### 2.1.3 Fraunhofer-Institut SIT

Das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt entwickelt unmittelbar einsetzbare Lösungen, die auf die Bedürfnisse der Auftraggeber ausgerichtet sind. Mit 180 Beschäftigten deckt das SIT alle Bereiche der IT-Sicherheit ab. Das Fraunhofer SIT beschäftigt sich intensiv mit den Sicherheits- und Datenschutzaspekten von CPS und deren Kommunikationskanälen. Zu den Aktivitäten in diesem Bereich gehören Sicherheitsanalysen und Erweiterungen bestehender Sicherheitsarchitekturen für CPS, Entwicklung von neuen Sicherheitskonzepten und -architekturen zur Absicherung von CPS sowie der genutzten Kommunikationsverbindungen, Forschung und Entwicklung für CPS-Anwendun-

gen. Zum Umgang mit TPM-basierten Lösungen existieren beim Fraunhofer SIT bereits einschlägige Erfahrungen aus den BMBF-Projekten ESUKOM<sup>3</sup> und ANSII<sup>4</sup>, aus denen u. a. ein Demonstrator für den nationalen IT-Gipfel 2014 mit dem Titel „Arbeiten und Leben im digitalen Wandel“ hervorging. Außerdem ist das Fraunhofer SIT seit über sieben Jahren aktives Mitglied der Trusted Computing Group (TCG). Ein weiteres Forschungsthema sind Intrusion Detection und Prevention Systeme für Fahrzeugnetzwerke.

## 2.1.4 Universität Passau

Die Universität Passau genießt durch exzellente Forschung, hervorragende Studienbedingungen und ein dichtes internationales Netzwerk Sichtbarkeit und hohes Ansehen als akademische Adresse im Herzen Europas. Die Fakultät für Informatik und Mathematik betreibt grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung auf internationalem Niveau. Der Lehrstuhl für Technische Informatik von Prof. Dr. Stefan Katzenbeisser beschäftigt sich mit praktischen Fragen der IT-Sicherheit mit einem Fokus auf Hardwareorientierte Sicherheit, kritische Infrastrukturen und Datenschutz. Prof. Katzenbeisser beteiligt sich an mehreren Projekten zur Verbesserung der Sicherheit von Verkehrsinfrastrukturen. Zu nennen sind hier das BMBF-Projekt UNICARagil<sup>5</sup> sowie das abgeschlossene BMBF-Projekt „HASELNUSS“. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt des Lehrstuhls ist die Analyse neuer Hardware-Vertrauensanker sowie Mechanismen zur Verifikation der Geräteintegrität mittels Attestierungsverfahren. Zudem war Prof. Katzenbeisser Principal Investigator im BMBF Kompetenzzentrum für IT-Sicherheitsforschung CRISP, im DFG SFB 1119 CROSSING (Cryptography-Based Security Solutions) sowie im DFG Graduiertenkolleg 2050 (Privacy and Trust for Mobile Users). Diese aus verschiedenen Bereichen der IT-Sicherheit stammende Expertise soll hierbei in das Projekt einfließen.

## 2.2 Design Thinking

Um einen Weitblick der Technologieprognose erarbeiten zu können, wurde eine agile Methode ausgewählt, die es erlaubt, in iterativen Schritten eine Zieldefinition zu erhalten. Die verwendete Methodik zur Auflistung, Analyse und Beschreibung der Anwendbarkeit unterschiedlicher zukünftiger Technologien auf das System Bahn im Arbeitspaket 1 des Projektes ist der Ansatz des „Design Thinking“ (siehe Abbildung 1). Dieser Ansatz ist kundenorientiert und erlaubt daher ein frühzeitiges Erkennen der Kundenbedürfnisse und notwendiger Steuerungsmöglichkeiten, um zu einem, für den Kunden, nutzbaren Ergebnis zu kommen. Da ein realistisches Technologieszenario entwickelt werden soll, wurde diese Kundenperspektive eingenommen.

Als Kunden möglicher Technologietrends im System Bahn kommen mehrere Akteure in Frage, darunter Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU), Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), Passagiere und Kunden des Güterverkehrs. Sie alle profitieren von bereits heute eingesetzten, zeitnah geplanten und zukünftig verwendeten Technologien im System Bahn, die in diesem Arbeitspaket identifiziert werden sollen.

---

<sup>3</sup> [www.esukom.de](http://www.esukom.de)

<sup>4</sup> [www.net.in.tum.de/projects/ansii/](http://www.net.in.tum.de/projects/ansii/)

<sup>5</sup> [www.unicaragil.de](http://www.unicaragil.de)

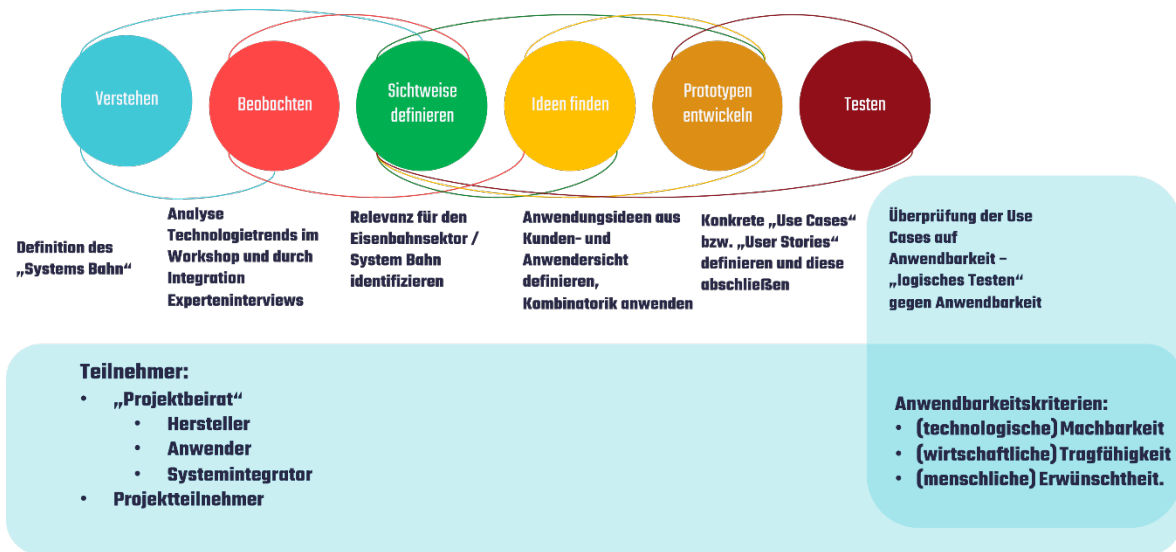


Abbildung 1: Design Thinking Prozess

Als Kunden möglicher Technologietrends im System Bahn kommen mehrere Akteure in Frage, darunter Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU), Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), Passagiere des Personenverkehrs und Kunden des Güterverkehrs. Sie alle profitieren von bereits heute eingesetzten, zeitnah geplanten und zukünftig verwendeten Technologien im System Bahn, die in diesem Arbeitspaket identifiziert werden sollen.

Design Thinking ermöglicht die iterative Anpassung vorangegangener Prozessschritte, falls in einem späteren Schritt notwendige Änderungen in einem vorherigen Schritt erkannt werden (bspw. Anpassung der Systemdefinition bei Erstellung der Anwendungsfälle). Um eine möglichst breite Sicht der Nutzer des Systems Bahn zu bekommen, wird in Fachzeitschriften und wissenschaftlichen Publikationen recherchiert und auf die Expertise der Projektpartner zurückgegriffen.

## 2.3 Recherche

Die Durchführung des Entwicklungsprozesses der Technologieprognose erfolgte durch das Projektteam. Als Informationsquelle dienten dabei relevante Technologietrends aus allen Industriezweigen, Gespräche mit Experten innerhalb der beteiligten Projektpartnerunternehmen und -gesellschaften sowie die Expertise der explizit im Projekt beteiligten Akteure mit den in den Fokus genommenen Systemkenntnissen der Eisenbahn und der Referenzindustrie Automotive.

Unter Anwendung des Design Thinking-Prozesses wurden die verfügbaren Quellen und die vorhandene Expertise in mehreren Arbeitstreffen genutzt, um schrittweise das Technologiebild aufzubauen. Das darin erarbeitete Bild diente als wesentliche Grundlage für die Durchführung der Workshops mit dem Forschungsbegleitenden Arbeitskreis (FbA), um eine Referenz zur Spiegelung des zusätzlichen Inputs ermöglichen zu können.

### 2.3.1 Forschungsbegleitender Arbeitskreis (FbA)

Um die Technologieprognose für das zukünftige System Bahn weit aufzuspannen, wurde die bereits breit aufgestellte Expertise der Projektpartner im Bereich Bahn sowie Automotive durch externe FbA-Mitglieder aus den Bereichen Industrie, Forschung und Betreiber begleitet.

Mit der Einrichtung und dem Einbeziehen der FbA in die Technologieprognose sollen zwei grundsätzliche Ziele verfolgt werden: hinreichende Vollständigkeit der Technologieprognose und gegenseitige Validierung.

#### **Ziel 1: Hinreichende Vollständigkeit**

Eine absolute Vollständigkeit ist bei einer bis in das Jahr 2050 reichenden Prognose nur schwer möglich. Dies gilt insbesondere unter der hier vorliegenden Randbedingung, dass das System Bahn zahlreiche Teilsysteme besitzt, wie die Systemdefinition in Kapitel 3 zeigt. Die Heterogenität der unterschiedlichen Teilsysteme sorgt für eine große Vielfalt der Technologien und Anwendungsfälle.

Die FbA-Mitglieder nehmen interdisziplinäre Perspektiven auf das System Bahn ein und runden dadurch die Technologieprognose zu einem möglichst vollständigen Bild ab. Gerade ohne expliziten Fokus auf das System Bahn und unbeeinflusst von den Grenzen des Systems, bietet sich die Chance, Innovationen zu erfassen, die internen Experten möglicherweise verborgen bleiben.

Darüber hinaus sollte der Zweck der Technologieprognose nicht aus dem Fokus geraten. Denn die Prognose soll dazu dienen, den Bedarf künftiger IT-Sicherheitsmechanismen abzuschätzen und nicht ein möglichst exaktes Bild des Systems Bahn, oder des Transportsektors allgemein, im Jahr 2050 zu erstellen. Unter diesen Voraussetzungen ist eine gewisse Unschärfe in der Technologieprognose akzeptabel.

Die Schöpfung des Wissens aus der Literatur und den Experten aus dem Projekt sowie dem FbA stellt eine hinreichende Vollständigkeit der Technologieprognose sicher.

#### **Ziel 2: Gegenseitige Validierung**

Die von den FbA-Mitgliedern formulierten Technologietrends und Erwartungen dienen unter anderem der Validierung der Technologieprognose. Um die gegenseitige Beeinflussung gering zu halten, fand der Austausch der Projektpartner und der FbA-Mitglieder zunächst getrennt voneinander statt (vergleiche unten Stufe 1 und 2). Die Mehrfachnennungen validieren sich dadurch gegenseitig und deuten auf eine verlässliche Prognose hin. Entsprechend gab es erwartungsgemäß Überschneidungen in den prognostizierten Technologien und Anwendungsfällen.

Die Einbindung der FbA-Mitglieder fand in Form von semistrukturierten Workshops statt.

### 2.3.2 Rechercheprozess

Die Recherche zur Technologieprognose wurde in einem dreistufigen Prozess durchgeführt:

1. Literaturrecherche und Expertengespräche innerhalb der beteiligten Projektpartner
2. Workshops mit den FbA-Mitgliedern
3. Austausch zwischen Projektpartnern und FbA-Mitgliedern

In der Stufe 1 wurde das vorliegende Fachwissen aus der Fachliteratur und der Experten dokumentiert und die Erwartung der (internen) Projektmitglieder erfasst.

In der Stufe 2 wurden semistrukturierten Workshops mit den FbA-Mitgliedern durchgeführt, mit dem Ziel:

- Funktionen des Systems Bahn zu finden, die in die in Abbildung 2 gezeigten Kategorien fallen sowie
- Zukünftige Technologien zu identifizieren, die im Betrachtungszeitraum bis ins Jahr 2050 Anwendung im System Bahn finden könnten.

Hierzu wurden die Teilnehmenden des Workshops zu ihren Definitionen des Systems Bahn und Erwartungen gegenüber künftig eingesetzten Technologien befragt. Um die Beiräte nicht mit den bereits gewonnenen Erkenntnissen zu beeinflussen, wurde die vorab verteilte Information möglichst geringgehalten.

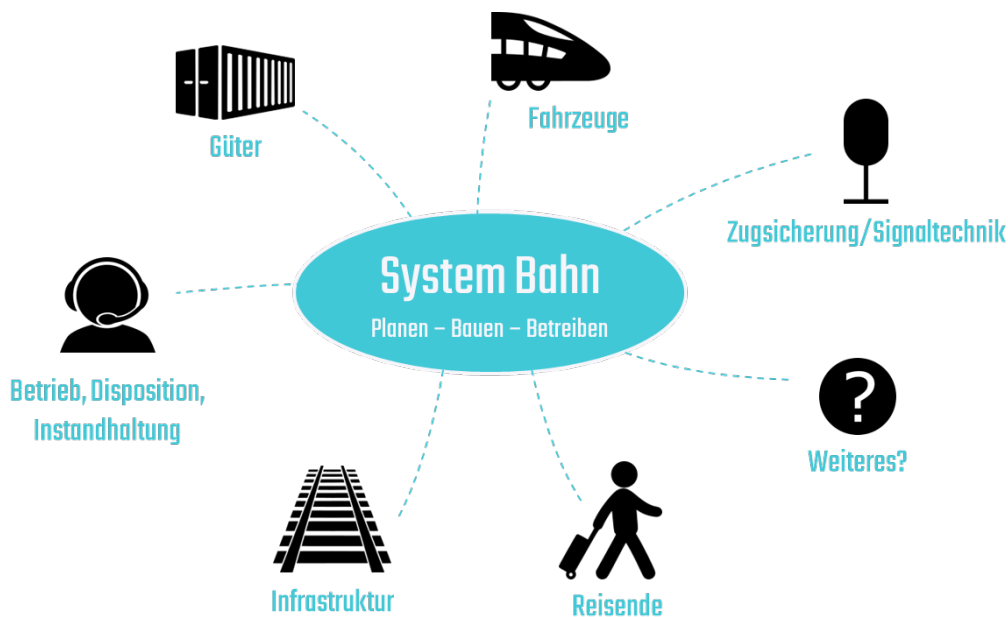


Abbildung 2: Übersicht System Bahn

Zur Erfassung des Zukunftsbildes wurde eine Brainstorming-Methode gewählt, in der die Beiratsmitglieder ihre Vorstellung von Funktionen des Systems Bahn und zukünftigen Technologien ohne Bewertung und Prüfung der Anwendbarkeit auf virtuellen Post-Its notieren konnten. Um eine gegenseitige Beeinflussung auszuschließen<sup>6</sup>, wurden die FbA-Mitglieder für die Dauer von ca. 45 Minuten in einzelne virtuelle Räume aufgeteilt. Die Beiräte wurden beim Brainstorming durch Projektmitglieder in den virtuellen Räumen begleitet.

Die virtuellen Post-Its wurden mit Hilfe von Ideaflip<sup>7</sup> erstellt. Dabei handelt es sich um ein browserbasiertes Werkzeug, welches das intuitive Erstellen solcher Hilfsmittel auf einer digitalen Leinwand unterstützt. Abbildung 3 zeigt die virtuellen Post-Its für Technologien und Funktionen, die während des Brainstormings verwendet wurden, um eine Differenzierung und erste Zuordnung für das Zielbild zu ermöglichen.

<sup>6</sup> Zwei Beiratsmitglieder wurden aus organisatorischen Gründen gemeinsam zum Brainstorming gebeten.

<sup>7</sup> <https://ideaflip.com>

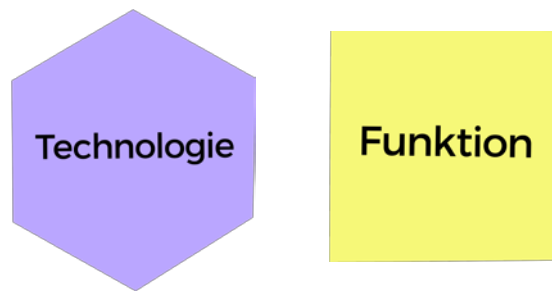


Abbildung 3: Virtuelle Post-Its

In der dritten Stufe wurden die Zukunftsbilder im Plenum mit den FbA-Mitgliedern und den Projektpartner vorgestellt und deren Anwendbarkeit im System Bahn diskutiert. Die Ergebnisse des Brainstormings sowie der Diskussion wurden in die Technologieprognose integriert und finden sich somit in der Systemdefinition, den Technologien, aber auch in den Anwendungsfällen wieder. Prominente Nennungen von Technologien und Trends durch den FbA beinhalten den künftigen Einsatz von künstlicher Intelligenz zu verschiedenen Zwecken, Automatisierung des Störungsmanagements, Zentralisierung in (privaten) Rechenzentren, Cloud-Computing und drahtlose Kommunikation, wie es sich in der Beschreibung der Anwendungsfälle in Kapitel 5 widerspiegelt.

## 3 Definition des Systems Bahn

Gemäß dem ersten Schritt „Verstehen“ des Design Thinking Ansatzes erstellen wir eine Definition des Systems Bahn, die den Betrachtungsraum für dieses Projekt definiert. Das Systembild wird als Blockdiagramm dargestellt, sodass nicht nur die Komponenten des Systems in Form von logischen Funktionseinheiten und bereitgestellten Dienstleistungen erkennbar werden, sondern auch ihre Abhängigkeiten und ihr Zusammenspiel, aus dem erst das Gesamtsystem Bahn erwächst. Dabei werden zusätzlich zum heute bekannten System Bahn, seiner Funktionsweise und dabei vorherrschenden Interaktionsbeziehungen zwischen den technischen Systemen und Menschen bereits zukünftige Aspekte berücksichtigt, von deren Umsetzung in einem Prognosezeitraum von 30 Jahren auszugehen ist. Aufgrund der Langlebigkeit und Komplexität des Systems Bahn ist die Umsetzung von neuen Technologien bis ins Jahr 2030 weitestgehend fixiert. Wir gehen davon aus, dass sich zukünftige Technologien bis ins Jahr 2050 (30 Jahre nach 2020) mit hinreichender Genauigkeit abschätzen lassen, damit wir auf dieser Grundlage Anwendungsszenarien definieren können, aus denen sich sinnvolle, wirksame und wirtschaftliche IT-Sicherheitskonzepte für das System Bahn im weiteren Verlauf des Projektes ableiten lassen.

Im Rahmen des Projektes wird eine Funktion des Systems Bahn folgendermaßen definiert (siehe auch Darstellung in Abbildung 4 und Beschreibungen in den Abschnitten 3.3, 3.4 und 3.5):

*Eine Funktion des Systems Bahn ist ein Produkt, eine Infrastruktur oder ein Prozess das bzw. der zur Bereitstellung und Durchführung des Systemziels „Transportieren von Menschen und Gütern“ beiträgt.*

### 3.1 Übersichtsgrafik System Bahn

Eine Übersicht über die Systemdefinition ist in Abbildung 4 dargestellt. Das Schema enthält die identifizierten Funktionsblöcke in einem rechteckigen Rahmen. Die Funktionsblöcke sind nach zwei Dimensionen strukturiert: zum einen erfolgt eine Gliederung nach den drei Phasen des Planen-Bauen-Betreiben-Modells (Plan-Build-Run) in der horizontalen Achse und zum anderen sind sie in logische Gruppen (vertikale Achse) eingeteilt, die auf der technischen Spezifikation prTS 50701 (CENELEC, 2021) basieren und um die Kategorien „Reisende“ und „Güter“ erweitert wurden. Die einzelnen Funktionen wurden aus dem Expertenwissen der Projektmitglieder und FbA-Mitglieder geschöpft sowie durch eine Literaturrecherche zusammengestellt.

### 3.2 Beteiligte Personen des Systems

Die am System Bahn beteiligten Personen, lassen sich in folgende Gruppen einteilen, wie sie z. B. im Architekturmodell der prTS 50701 zu finden sind (CENELEC, 2021):

- Fahrgäste
- Kunden Logistik/Fracht
- Triebfahrzeugführer
- Zugpersonal
- Fahrdienstleiter, Weichenwärter, Bahnübergangswärter
- Rangierpersonal (Züge neu zusammenstellen)
- Planer (Fahrplan und Infrastruktur)
- Disponenten
- Wartungs- und Reinigungspersonal



# Definition des Systems Bahn







	Planen	Bauen	Betreiben	
 Betrieb, Disposition, Instandhaltung	Fahrplanerstellung		Fahrplan Reinigung Lokalisierung Disposition bei Störungen Automatic Train Operation	Zugfahrten Rangierfahrten Konflikterkennung- und beseitigung Bereitstellung Instandhaltung
 Infrastruktur	Digitale Planung Planung Güterbahnhöfe Streckenplanung Planung Personenbahnhöfe	Diagnostische Sensorik Gleise, Weichen, Kreuzungen Baufortschritts- und -Qualitätskontrolle Alternative Energiequellen Bahnhöfe und Betriebsgebäude	Trassenentgelt Störungserkennung Bahnhöfe und Betriebsgebäude	
 Streckensicherung/ Signaltechnik	Digitale Planung	Signale Gleisfreimeldeanlagen Bahnübergänge	Sichere Lokalisierung Fahrwegsicherung Rückfallebene	Signale Gleisfreimeldeanlagen Bahnübergänge
 Fahrzeuge	Fahrzeugeigenschaften Digitale Konstruktion	Innovative Antriebe Alternative Energiequellen Diagnostische Sensorik	Fahrsteuerung Energieeffizientes Fahren Rückfallebene Auslastungssteuerung	Störungserkennung Fahrwegbeobachtung Kollisionserkennung Alternative Energiequellen
 Reisende	Reiseoptimierung Reisendenstromlenkung Intermodale Reisekette		Reisende abfertigen Reisendeninformation Unterhaltungssysteme Reisende transportieren Reisende nachverfolgen (Fahrscheinkontrolle)	Customer-Experience Gepäckservice Gewaltprävention und - deeskalation Reisendenstromlenkung
 Güter	Digitale Planung		Güter verfolgen Güter transportieren Ablaufsteuerung	Grenzüberschreitender Verkehr Intermodale Abfertigung Rangierbetrieb

Abbildung 4: System Bahn

## 3.3 Beschreibung der Funktionen „Planen“

Im Folgenden sollen die Eigenschaften der Funktionsblöcke aus Abbildung 4 für jeden Block kurz definiert oder beschrieben werden, um als Referenz im weiteren Projektverlauf dienen zu können. Hierbei werden verwendete Quellen aufgeführt und es wird auf weiterführendes, detaillierteres Material verwiesen.

Wir beginnen zunächst mit der Beschreibung der Funktionen in der Phase „Planen“ und setzen dies in den Abschnitten 3.4 und 3.5 für „Bauen“ und „Betrieb“ fort. Die Funktionen sind jeweils anhand der Kategorien aus Abbildung 4 strukturiert.

### 3.3.1 Betrieb, Disposition, Instandhaltung

#### **Fahrplanerstellung**

Ein Fahrplan realisiert den Bedarf an Zugfahrten im Personen- und Güterverkehr. Bei der Erstellung müssen komplexe Zusammenhänge berücksichtigt werden, um auf der gegebenen Infrastruktur möglichst viele Zugfahrten konfliktfrei durchführen zu können. Der grundlegende Fahrplan für Zugfahrten wird langfristig erstellt und angepasst. Besonders für den Güterverkehr werden weitere Bedarfe kurzfristig eingepflegt. Künftige Technologien können den Erstellungsprozess unterstützen und beschleunigen, um die vorhandenen Kapazitäten noch besser auszunutzen und die Abhängigkeiten zwischen Zugfahrten einfacher berücksichtigen zu können.

### 3.3.2 Infrastruktur

#### **Digitale Planung (Infrastruktur und Signaltechnik)**

Bei der Planung neuer Infrastruktur (Strecken, Bahnhöfe, Servicegebäude, Brücken, Tunnel) und der Signaltechnik können durch digitale Unterstützung zukünftig Verbesserungen in den Prozessen erzielt werden. Dies betrifft sowohl die Automatisierung sich wiederholender Prozessschritte als auch die automatische Prüfung der Pläne auf Konformität zu Regelwerken und Normen sowie technische Machbarkeit, aber auch im Hinblick auf Optimierungsmöglichkeiten.

#### **Streckenplanung**

Der Neubau von Infrastruktur ist mit hohen Investitionskosten verbunden. Daher wird im Voraus abgeschätzt, welcher Bedarf an neuen Strecken und Bahnhöfen langfristig besteht, sodass Nutzen und Kosten in einem positiven Verhältnis stehen. Neue Technologien können zur Verbesserung der Genauigkeit der Prognosen beitragen und die Komplexität des Prozesses reduzieren. Bereits in der Planungsphase können Anforderungen neuer Technologien aus späteren Phasen berücksichtigt und integriert werden (bspw. Sensorik).

#### **Planung Güterbahnhöfe**

Die notwendige Größe des Bahnhofes (Anzahl der Gleise, gleichzeitig mögliche Zugfahrten, Größe der Verladeplätze, mögliche Rangierbeziehungen) muss auf Basis von Frachtmengen langfristig prognostiziert werden und unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse in die bauliche Planung eines Bahnhofes einfließen. Neue Technologien können zur Verbesserung der Genauigkeit der Prognosen beitragen und den Umgang mit der Komplexität des Prozesses vereinfachen. Bereits in der Planungsphase können Anforderungen neuer Technologien aus späteren Phasen berücksichtigt und integriert werden (bspw. Sensorik).

### **Planung Personenbahnhöfe**

Die notwendige Größe des Bahnhofes (Anzahl der Gleise, gleichzeitig mögliche Zugfahrten, Länge der Bahnsteige) muss auf Basis von Passagierzahlen langfristig prognostiziert werden und unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse in die bauliche Planung eines Bahnhofes einfließen. Neue Technologien können zur Verbesserung der Genauigkeit der Prognosen beitragen und die Komplexität des Prozesses reduzieren. Bereits in der Planungsphase können Anforderungen neuer Technologien aus späteren Phasen berücksichtigt und integriert werden (bspw. Sensorik).

## **3.3.3 Streckensicherung/Signaltechnik**

### **Digitale Planung (Infrastruktur und Signaltechnik)**

Siehe „Digitale Planung“ im Abschnitt 3.3.2 Infrastruktur.

## **3.3.4 Fahrzeuge**

### **Fahrzeugeigenschaften**

Die Planung von Fahrzeugen muss auf die Infrastruktur und den Bedarf im Personen- und Güterverkehr angepasst werden. Hier sind beispielsweise Fähigkeiten der Beschleunigung, des Bremsens, der Höchstgeschwindigkeit aber auch von Ausstiegshöhen sowie Zuglängen etc. zu beachten. Auch die Ausstattung mit Zugsicherungssystemen bei grenzüberschreitendem Verkehr (mögliche Baseline etc.) kann erforderlich sein. Diese Informationen müssen in die Planung der Beschaffung auf Fahrzeug- und Infrastrukturseiten integriert werden. So kann von vornherein ein Konstruktionsfehler durch automatischen Compliance-Check vermieden werden. Fahrzeugeigenschaften stellen entsprechende Parameter beim digitalen Planungsprozess dar.

## **3.3.5 Reisende**

### **Reiseoptimierung**

Die Vermeidung bzw. Optimierung von Reisen kann in der Zukunft ein gesellschaftliches oder politisches Ziel werden, um Ressourcen (bspw. fossile Energieträger) zu sparen und die Auslastung der nur langsam ausgebauten Infrastruktur der Verkehrsträger zu kontrollieren. Bahnbetreiber können von diesem Trend durch die Bereitstellung von innovativen Dienstleistungen profitieren, wie durch das Anbieten von Co-Working-Spaces am Bahnhof, um Geschäftsreisenden flexibel Arbeitsplätze anzubieten, die nah am Bahnhof schnelle Ortswechsel ermöglichen, aber auch unnötige Reisen, wie Wege zum Büro vor und nach Meetings, vermeiden. Angebotene Co-Working-Spaces an zentralen Bahnhöfen können auch für das Zusammentreffen von Geschäftsreisenden genutzt werden, um unnötig lange und aufwändige Reisewege zu vermeiden.

Eine Weiterentwicklung dieser Dienstleistung wäre die KI-basierte Arbeitsplanung auf Basis von Daten über Aufgaben, Arbeitsweg und Wohnort, als eine Art berufliches Lebens- und Mobilitätsmanagement, das auch die automatische Umbuchung auf einen Zug bei Verspätung oder Terminverschiebungen umfasst. Der Zug selbst könnte zukünftig als Arbeitsplatz oder Meetingraum angeboten werden, wenn entsprechende Abteile zur Verfügung stehen.

### **Reisendenstromlenkung**

Die Reisendenstromlenkung trägt dazu bei, die steigend nachgefragte, aber beschränkte Infrastruktur besser auszulasten. Dies reicht von der Anzeige freier Sitzplätze des Zuges bereits am Bahnsteig über die Unterstützung der Reisenden bei der Navigation durch den Bahnhof, bis hin zum umfangreichen Service

am Reisenden mit der Abholung am Wohnort oder Arbeitsplatz. Zum Erhalt von Vorort-Informationen am Bahnsteig können seitens des Reisenden auch mobile Geräte (z. B. Smartphones mit geeigneten Apps) zum Einsatz kommen.

### **Intermodale Reisekette**

Die Wichtigkeit einer intermodalen Reisekette über verschiedene Verkehrsträger hinweg wird künftig zunehmen. Das umfasst herkömmliche Verkehrsmittel, wie Fahrräder, Taxis, S- und U-Bahn, Straßenbahn, Bus, Zug, Privatwagen, Schiff und Flugzeug, aber auch wachsende sowie innovative Verkehrsangebote, wie Ride-Hailing, Carsharing, oder Flugtaxi. Bei der intermodalen Reisekette sind innovative Konzepte möglich, wie beispielweise der Check-in zum internationalen Flug bereits am Startort oder im Bahnhof, bzw. die Einreisekontrolle erst am Zielort. Ein Beispiel für einen solchen Zielort sind Messen, wo es wichtig ist, die Reisezeit für Geschäftskunden zu verkürzen, indem die Passkontrolle an einen anderen Ort verlagert wird.

## **3.3.6 Güter**

### **Digitale Planung**

Digitale Planung betrifft die Vorbereitung des Güterverkehrs über die gesamte Logistikkette und ggf. über mehrere Verkehrsträger hinweg. Dies beinhaltet die Routenplanung sowie die Bestellung passender Fahrzeuge zum Transport und Terminvereinbarungen.

## **3.4 Beschreibung der Funktionen „Bauen“**

### **3.4.1 Betrieb, Disposition, Instandhaltung**

Betrieb, Disposition und Instandhaltung sind keine Bautätigkeiten, sodass diesem Feld in der Systemdefinition keine Funktion zugeordnet wurde.

Das Bauen von Betriebsgebäuden und die Einrichtung von Arbeitsplätzen zur Disposition und Instandhaltung sind nur soweit Gegenstand der Betrachtung, wie sie in den Anwendungsfällen in Kapitel 5 beschrieben werden, um die Voraussetzungen für die Anwendungsfälle herzustellen.

### **3.4.2 Infrastruktur**

#### **Gleisinfrastruktur, Weichen, Kreuzungen**

Die ortsfeste Grundlage des Schienenverkehrs bildet eindeutig die Gleisinfrastruktur und besonders der Oberbau mit Schienen, Schwellen, Weichen und Kreuzungen. Der Bau und die Instandhaltung dieser Infrastruktur werden auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Dies ist ein Prozess, der in vielen Fällen durch die Digitalisierung unterstützt werden kann.

#### **Bahnhöfe und Servicegebäude**

Bahnhöfe und Servicegebäude sind ebenfalls von großer Bedeutung für die Abwicklung des Bahnverkehrs sowohl im Personen-, als auch im Güterverkehr. Zu den Bahnhöfen zählen Bahnsteige und Wartehallen mit ihrer technischen Ausstattung zur Reisendeninformation und zum Erwerb von Tickets. Zu den Servicegebäuden zählen Technikstandorte, Stellwerke und Betriebszentralen, soweit sie zum Betrieb digitaler oder technischer Systeme dienen, die im weiteren Verlauf der Technologieprognose betrachtet werden.

### **Diagnostische Sensorik**

Bereits beim Bau neuer Infrastruktur oder dem Ersatzneubau bestehender Infrastruktur kann berücksichtigt werden, dass zum Digitalisieren des späteren Betriebs, zur Überwachung und zur Instandhaltung bereits Sensoren in das Bauwerk eingebracht werden können.

### **Baufortschritts- und -qualitätskontrolle**

Im System Bahn werden fortlaufend eine Vielzahl von Bauprojekten umgesetzt, die eine Fortschritts- und Qualitätskontrolle erfordern. Die Herausforderungen durch Bauen im Betrieb („unter dem rollenden Rad“) oder in zeitlich eng begrenzten Sperrpausen, zur Minimierung der Beeinträchtigung des Schienenverkehrs, können durch digitale Technologien unterstützt werden.

### **Alternative Energiequellen**

Über die Energieversorgung der Schienenfahrzeuge hinaus müssen auch ortsfeste Anlagen mit Energie versorgt werden. Hier kommen nicht nur die oben genannten Infrastrukturelemente (Weichen, Kreuzungen, Bahnhöfe, Stellwerke, Technikstandorte usw.) in Betracht, sondern auch die Signaltechnik, Bahnübergänge sowie streckenseitige Sensorik und die Energieversorgung von mobilen Teams zum Bau oder zur Instandhaltung, die nicht an das existierende Stromnetz angeschlossen werden können.

## **3.4.3 Streckensicherung/Signaltechnik**

### **Signaltechnik und Bahnübergänge**

Signaltechnik wird weiterhin eine wichtige Rolle im schienengebundenen Verkehr spielen. Zwar werden zunehmend Funktionen und Anwendungen auf das Fahrzeug verlagert, die Basisanforderungen zur Sicherung des Fahrweges bleibt jedoch erhalten. Hier spielen die Elemente Weiche, Zuglokalisierung, Zugvollständigkeit, sichere Logik (Stellwerk), Bedienung sowie niveaugleiche Kreuzungen die wesentliche Rolle. Bei Ortung und Zugvollständigkeit wird hier davon ausgegangen, dass dies in quasikontinuierlichen Abschnitten erfolgen soll, um die notwendige Effizienz zu erreichen. Bahnübergänge werden schon heute und auch zukünftig nicht neu gebaut. Basierend auf den vorhandenen gesetzlichen Regelungen zum Eisenbahnkreuzungsgesetz, der Straßenbauordnung sowie den Planfeststellungsverfahren wird es jedoch weiterhin notwendig sein, abgängige Bahnübergänge effizient zu ersetzen. Gleichwohl ist es erforderlich die Schließzeiten, die Instandhaltungs- und Betriebskosten sowie die Investitionskosten bestehender Bahnübergänge möglichst gering zu halten.

## **3.4.4 Fahrzeuge**

### **Alternative Energiequellen**

Heutiger Schienenverkehr ist von elektrischen Antriebseinheiten in Triebzügen und Lokomotiven dominiert. Die elektrische Energie wird hierbei durch ortsfeste Oberleitungen oder Stromschienen an das Fahrzeug übertragen oder durch Dieselgeneratoren auf dem Fahrzeug erzeugt. Erste fahrplanmäßige Zugfahrten mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-Zügen (Coradia iLint) finden seit 2020 statt<sup>8</sup>.

Die Energiewende wird ein Treiber für die Nutzung erneuerbarer Energien im System Bahn sein und möglicherweise für die Nutzung weiterer Energiequellen in der Zukunft sorgen.

---

<sup>8</sup> <https://www.alstom.com/de/our-solutions/rolling-stock/coradia-ilint-der-weltweit-erste-wasserstoffzug>

### **Innovative Antriebe**

Eng verbunden mit alternativen Energiequellen ist der Antrieb des Schienenverkehrs, der heute durch das Adhäsionsprinzip umgesetzt wird. An steilen An- und Abstiegen kommen auch Zahnräder und Zahnschienen zur Traktion zum Einsatz. In der Vergangenheit waren Experimente mit Propellern und Strahltriebwerken zum Vortrieb wenig erfolgreich. Innovationen sind langfristig auch im Bereich des Antriebs, auch in Verbindung mit der Intermodalität, denkbar.

### **Diagnostische Sensorik**

Bereits beim Bau neuer Fahrzeuge kann eine Digitalisierung des späteren Betriebs berücksichtigt werden und Sensoren zur Überwachung und zur Instandhaltung eingebracht werden.

## **3.4.5 Reisende**

Das Bauen bzw. Herstellen von Produkten und Infrastruktur zur Reiseoptimierung, Reisendenstromlenkung und der intermodalen Reisekette ist nur so weit Gegenstand dieser Betrachtung, wie sie in den Anwendungsfällen in Kapitel 5 beschrieben werden.

## **3.4.6 Güter**

Das Bauen bzw. Herstellen von Produkten und Infrastruktur zum Gütertransport ist nur so weit Gegenstand dieser Betrachtung, wie sie in den Anwendungsfällen in Kapitel 5 beschrieben werden.

# **3.5 Beschreibung der Funktionen „Betreiben“**

## **3.5.1 Betrieb, Disposition, Instandhaltung**

### **Automatisierung und Automatic Train Operation (ATO)**

Durch das Rad-Schiene-System, bei welchem das Verkehrsmittel schon automatisch an den vorgegebenen und für das Verkehrsmittel reservierten Verkehrsweg gebunden ist, weist die Eisenbahn einen entscheidenden Vorteil gegenüber dem Straßenverkehr auf und ist somit prädestiniert für eine Automatisierung. Der automatische Bahnbetrieb untergliedert sich dabei in drei Bereiche. Die automatische Zugsteuerung (ATP) kontrolliert die Einhaltung der Geschwindigkeit und Abstände. Die automatische Zugsteuerung (ATO) fährt den Zug nach Fahrplan mit allen Zwischenstationen und kontrolliert die Türsteuerung. Die automatisierte Zugüberwachung (ATS) überwacht alle Fahrstraßen und Zugfahrten auf dem Netz und leitet die Informationen an eine Leitstelle oder die Betriebszentrale.

Weiterhin gilt es den Automatisierungsgrad zu bestimmen. Hier wird unterschieden zwischen dem halbautomatisierten Bahnbetrieb, dem fahrerlosen Zugbetrieb, und dem unbemannten Zugbetrieb (siehe Erläuterung der GoA-Levels in 4.1).

### **Lokalisierung (Ort, Geschwindigkeit, Fähigkeit)**

Zum Betrieb und zur Disposition (bei Abweichung vom Fahrplan) ist es notwendig die Position und Geschwindigkeit sowie die Fähigkeiten (Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigung) eines Zuges zu kennen. Je genauer diese Informationen bekannt sind oder ermittelt werden können, desto präziser sind Prognosen. Mit Hilfe der Prognosen lassen sich Konflikte vorhersagen und durch geschickte Disposition verhindern oder ihre Auswirkung verringern.

### **Konflikterkennung und -beseitigung**

Konflikte im Bahnbetrieb entstehen, wenn mehrere Teilnehmer (Züge) gleichzeitig eine begrenzte Ressource (Gleise) beanspruchen wollen. Im Betrieb bedeuten Konflikte, dass Züge Verspätung aufbauen oder im Extremfall gar nicht fahren können. Eine technisch unterstützte Konflikterkennung und weiterführend auch Konfliktbeseitigung trägt dazu bei, Verspätungen zu verringern und die Auslastung der begrenzten Ressourcen (z. B. Infrastruktur) zu verbessern.

### **Fahrplan**

Der Fahrplan legt unter anderem die Zeit der Abfahrt und Ankunft eines Zuges an den Bahnhöfen oder Haltestellen fest. Fahrplandaten sind wichtige grundlegende Daten für zahlreiche Anwendungen und Dienste und werden mit Hilfe geeigneter Schnittstellen und Übertragungstechniken zeitnah zur Verfügung gestellt.

### **Disposition bei Störung**

Bei Abweichungen vom Fahrplan – im Wesentlichen Verspätungen von Zügen – oder der Nicht-Verfügbarkeit von Ressourcen (Streckenabschnitte oder Fahrzeuge) müssen Maßnahmen getroffen werden, um den Betrieb mit möglichst geringer Verspätung (Abweichung vom Fahrplan) aufrecht zu erhalten. Dieser Vorgang wird Disposition genannt. Technologische Unterstützung bei der Vorhersage und Bewertung von Dispositionsmaßnahmen trägt dazu bei, die Verspätungen zu minimieren, die Maßnahmen zu verbessern und die Zeit bis zum Treffen einer Maßnahme zu reduzieren.

### **Zugfahrten**

Zugfahrten sind Fahrten von Zügen nach einem Fahrplan beginnend in einem Bahnhof über die freie Strecke zu einem Bahnhof. Für einen automatisierten Betrieb werden hier geeignete Technologien benötigt, um Fahrplandaten und Daten über den Zustand und die Umgebung der Strecke zusammenzuführen und die Züge damit zu steuern.

### **Rangierfahrten**

Rangierfahrten zum Zusammenstellen von Personen- oder Güterzügen finden im Gegensatz zu Zugfahrten unter erleichterten Bedingungen, geringen Geschwindigkeiten und insbesondere ohne Fahrgäste statt, sodass hier durch die geringere Gefahr eine schnellere Einführung von Automatisierung möglich ist.

### **Bereitstellung von Zügen**

Züge werden aus der Abstellung zum Bahnsteig oder der Verladestation gebracht bzw. von dort in die Abstellung. Da dies typischerweise als Rangierfahrt geschieht, können Züge auch automatisiert bereitgestellt werden.

### **Reinigung von Fahrzeugen**

Die Fahrzeuge werden in regelmäßigen Abständen von innen und außen gereinigt. Diese Prozesse können durch Automatisierung und den Einsatz von Robotern unterstützt werden.

## **3.5.2 Infrastruktur**

### **Trassenentgelt**

Das Trassenpreissystem zur Entrichtung von Entgelten durch EVU für die Nutzung von Strecken an das EIU ist das heute in Deutschland verwendete System zur Bepreisung der Streckeninfrastrukturnutzung.

In den konkreten Trassenpreis fließen verschiedene Parameter ein, wie die Gattung (Personenzug, Güterzug), Streckenkategorie und Lärmemission der Fahrzeuge.

Durch Einsatz von neuen Technologien ist hier die weitere Automatisierung der Trassenentgeltentrichtung, aber auch der Einsatz weiterer Preisparameter denkbar. Dabei können neue Technologien dafür sorgen, dass die Ausprägungen der Parameter in einem Detailgrad erhoben werden können, der heute noch nicht möglich ist.

### **Störungserkennung**

Die Überwachung der Infrastruktur und zeitnahe Feststellung von auftretenden Störungen ist von hoher Bedeutung für die Aufrechterhaltung des Betriebes. Je schneller eine Störung erkannt und je genauer sie lokalisiert und spezifiziert werden kann, desto schneller und effektiver können Behebungsmaßnahmen eingeleitet und ein Betrieb aufgenommen werden, der die Störungsauswirkungen minimiert.

Aufgrund der Größe eines Bahnnetzes sind hier vielfältige Störungsursachen denkbar:

- Erdbeben, Lawinen, umgestürzte Bäume, Hochwasser
- Menschen oder Tiere auf der Strecke
- Defekte und Brände an Fahrzeugen (besonders Güterwagen)
- Medizinische Notfälle

## **3.5.3 Streckensicherung/Signaltechnik**

### **Sichere Lokalisierung**

Lokalisierung ist ein wichtiges Element, welches heute ausschließlich streckenseitig und von Technologien wie Achszählern, Gleisstromkreisen oder Tonfrequenzgleiskreisen vorgenommen wird. Der Drang zu mehr Flexibilität in der Nutzung der Gleisinfrastruktur sowie eines dichteren Verkehrs erfordern Lösungen, die nicht von festen Orten abhängig sind. Im Allgemeinen wird von kontinuierlicher Zugortung gesprochen, die z. B. fahrzeug- oder auch infrastrukturseitig erfolgen kann. Praktisch wird es eine quasi-kontinuierliche Zugortung sein, die die Gleisbereiche weiterhin in kleine, logische Abschnitte gliedert. Dieses Verfahren ermöglicht einerseits ein zeitdiskretes und vorhersagbares Verhalten, andererseits wird so die notwendige Nachweisführung für sicherheitsrelevante Systeme überhaupt erst ermöglicht. Die Lokalisierung hat nach aktuellem Stand der Technik SIL 2 Anforderungen zu erfüllen. Die sichere Lokalisierung soll für hohe Resilienz und Verfügbarkeit diversitäre Sensorik verwenden.

### **Fahrwegsicherung**

Aufgrund des langen Bremsweges von Zügen bei höheren Geschwindigkeiten, wird der Fahrweg mehrere hundert Meter bis mehrere Kilometer im Voraus eingestellt und für einen Zug exklusiv reserviert. Heutige Fahrwegsicherung wird bereichsweise zentral von Stellwerken gesteuert und mit Hilfe von Form- oder Lichtsignalen oder Funk (z. B. ETCS) an den Triebfahrzeugführer bzw. den Zug kommuniziert. Bei herkömmlicher Signaltechnik werden die Streckenabschnitte blockweise anhand der ortsfesten Signale für jeden Zug reserviert. Bei der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) und dem zunehmend eingesetzten European Train Control System (ETCS) konnten Effizienzsteigerungen erzielt werden. Mittelfristiges Ziel ist es hier, nur den absoluten Bremsweg und einen Sicherheitspuffer für den Zug zu reservieren („Moving Block“). Eine weitere Ausbaustufe ist das Fahren im relativen Bremswegabstand, dass jedoch zurzeit in Deutschland nicht für den Betrieb vorgesehen ist.

Innovationen sind daher eher durch die Aufweichung des zentralisierten und streckenseitigen Sicherungsparadigmas zu erwarten, indem durch zusätzliche Intelligenz (Ressourcen) Fahrwegelemente und Fahrzeuge mehr Funktionen bei der Fahrwegsicherung übertragen bekommen.



### **Rückfallebene**

Die hohen Anforderungen an die funktionale Sicherheit („Safety“), um einen gefahrlosen Bahnbetrieb zu ermöglichen, haben dazu geführt, dass für eine Vielzahl von möglichen Fehlfunktionen und Ausfällen der Signaltechnik Rückfallebenen existieren, die den Bahnbetrieb – ggf. mit verminderter Kapazität – aufrechterhalten. Die Rückfallebene unterstützt die Resilienz des Systems Eisenbahn gegen Störungen. Diese Prozesse stützen sich heute zum großen Teil auf den Faktor Mensch und damit auf die Kommunikation zwischen ein, zwei oder mehr am Betrieb beteiligten Personen. Technische Innovationen können zum einen die Ausfallsicherheit der eigentlichen Signaltechnik erhöhen (Hochverfügbarkeit) und zum anderen die Rückfallprozesse weiter unterstützen, um menschliche Fehler noch weiter auszuschließen und die Kapazität des Schienennetzes bei Nutzung der Rückfallebenen zu steigern. Die Rückfallebene muss zur verwendeten Signaltechnik kompatibel sein, um die Übernahme des Betriebs durch die Rückfallebene sicher zu stellen. Das betrifft z. B. die Zugortung (fixed vs. moving block) oder die Resilienz durch Rückfall auf andere Übertragungswege (bspw. öffentliches Telefonnetz).

## **3.5.4 Fahrzeuge**

### **Fahrwegbeobachtung und Kollisionserkennung**

Besonders im Hinblick auf ATO ist die automatisierte Vermeidung oder zumindest Erkennung von Kollisionen von Bedeutung. Die Fahrwegbeobachtung zählt zu den wichtigsten Aufgaben des Triebfahrzeugführers während der Bewegung des Fahrzeuges, um möglichst rechtzeitig auf Hindernisse im Fahrweg reagieren und das Fahrzeug stoppen zu können. Aufgrund der langen Bremswege von Zügen und der, bedingt durch die Streckenführung, meist unvollständigen Einsehbarkeit des Bremsweges durch das menschliche Auge, ist die Vermeidung von Kollisionen nicht in allen Fällen möglich. Technologie auf dem Fahrzeug und möglicherweise auch unterstützt durch ortsfeste Anlagen können die Befahrbarkeit des Fahrweges über eine hinreichend große Distanz erleichtern.

### **Störungserkennung und -meldung**

Zur Verbesserung der Fahrzeuginstandhaltung können Teilsysteme, wie z. B. Motoren, Türsteuerungen, Toiletten, Kupplungen und Beleuchtung selbsttätig Diagnosedaten erheben und im Falle von Störungen eine Vorausmeldung an die Instandhaltung senden, sodass die Funktionsprüfung, Fehlerfindung und Ersatzteilbeschaffung optimiert werden kann.

### **Energieeffizientes Fahren**

Bereits heute existieren Assistenzsysteme, die Empfehlungen für eine energiesparsame Fahrweise für Triebfahrzeugführer präsentieren und ihn dazu motivieren sollen, möglichst energieeffizient zu fahren. Eine energieeffiziente Fahrweise ist ein Zielkonflikt zwischen einer möglichst kurzen Fahrzeit (hohe Geschwindigkeit) und einem möglichst geringen Energieverbrauch. Dabei gibt es zahlreiche Parameter zu berücksichtigen, wie u. a. das Geländeprofil, Witterungseinflüsse, Fahrzeugeigenschaften und den Fahrplan. Durch Weiterentwicklung der Prognose- und Datenmodelle können bessere Assistenzsysteme entwickelt werden oder in Bezug auf ATO auch die energieeffiziente Fahrweise von führerlosen Systemen verbessert werden.

### **Auslastungssteuerung der Züge**

Bei der Auslastungssteuerung der Züge wird versucht Reisende möglichst gleichmäßig auf den vorhandenen Raum aufzuteilen, um ihn effektiv zu nutzen und Überfüllung einzelner Bereiche zu vermeiden. Hierfür kommen die gezielte Information und Lenkung von Reisenden in Frage, sodass sie sich bereits

am Bahnsteig an den weniger gefüllten Zugteilen positionieren. Erste Versuche werden mit der leuchtenden Bahnsteigkante<sup>9</sup> bereits unternommen. Die Auslastungssteuerung ist eng verbunden mit der Reisendenstromlenkung, die im Abschnitt „Reisende“ beschrieben wird.

In fahrplanlosen Systemen kann auf Veränderungen der Nachfrage (wartende Fahrgäste) durch die Anpassung des Fahrzeugeinsatzes reagiert werden. In solchen Netzen werden keine minutengenauen Fahrpläne erstellt, sondern Taktzeiten festgelegt und bekannt gegeben, in denen die Züge verkehren. Bei stärkerer Nachfrage kann – Verfügbarkeit vorausgesetzt – ein zusätzlicher Umlauf starten, um die erhöhte Nachfrage zu befriedigen.

### **Energieversorgung und alternative Energiequellen**

Innovationen, wie bereits in der Phase „Bauen“ beschrieben, erfordern möglicherweise andere Versorgungskonzepte zu den heutigen Oberleitungen, Stromschienen und (Diesel-) Tankstellen. Aus dem Automotive-Bereich ist bereits der Tausch von Akkus, Induktionsladung auf Teilstrecken oder an (Bus-) Haltestellen bekannt.

### **Fahrsteuerung**

Die Fahrsteuerung reguliert die Geschwindigkeit eines Zuges über den Antrieb und die Bremsen. Statt Zugkraft und Bremsen direkt zu bedienen, kann der Triebfahrzeugführer eine Soll-Geschwindigkeit einstellen, die von der Fahrsteuerung automatisch gehalten wird. Eine solche Automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB) wird bereits bei vielen Baureihen eingesetzt und ist für vollautomatisiertes oder autonomes Fahren eine Voraussetzung. Bei Anbindung an ETCS und LZB kann die Fahrsteuerung die signalisierte Soll-Geschwindigkeit automatisch einhalten, sodass der Triebfahrzeugführer eine überwachende Funktion einnimmt.

### **Rückfallebene**

Ähnlich zur Signaltechnik müssen auch Fahrzeuge resilient gegen Störungen verschiedener Art sein, um den Betrieb aufrecht zu erhalten und Personen und Güter vor Schaden zu bewahren. Das betrifft insbesondere die fahrzeugseitigen Anteile der Zugsicherungssysteme, aber auch generell die Herausforderung der Störungsbehebung, insbesondere im unbemannten Betrieb (GoA4) ohne physische Eingriffsmöglichkeit durch Personal.

## **3.5.5 Reisende**

### **Reisende abfertigen**

Das Bedienen von Reisenden ist ein komplexer Prozess, der sich in mehrere Teilschritte einteilen lässt (Die Zugfahrt wird gesondert betrachtet):

- Reisende erreichen den Bahnhof
- Reisende begeben sich zum Bahnsteig
- Reisende warten auf den Zug
- Reisende betreten den Zug
- Reisende begeben sich zu ihrem Sitzplatz
- Reisende verlassen den Zug
- Reisende begeben sich zu ihrem Anschlusszug
- Reisende verlassen den Bahnhof

---

<sup>9</sup> [https://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/startups/db\\_startups/Leuchten-3242594](https://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/startups/db_startups/Leuchten-3242594)

In der Interaktion und Kommunikation mit den Reisenden bieten sich im System Bahn vielfältige Themengebiete, um auf neue Technologien zurückzugreifen, die zum Teil im weiteren Verlauf detaillierter betrachtet werden. Dazu zählen:

- Bereitstellung von Information für Reisende über Bahnsteige, Abfahrtszeit, usw.
- Navigation zu Zielen im Bahnhofsbereich (Bahnsteig, Geschäfte, Toiletten, Information, Ausgang, Anschlussverkehrsmittel etc.)
- Unterstützung von Reisenden mit Behinderung
- Lenkung von Reisenden zur Vermeidung von Überfüllung, gegenläufigen Strömen oder Umgehung von Baustellen

### **Reisende informieren (Reisendeninformation)**

Die Möglichkeit, Reisende individuell mit aktuellen Informationen über ihre Reise zu versorgen, ist in vielen Szenarien notwendig. Dies betrifft sowohl die (Bahnhofs-)Infrastruktur als auch die Fahrzeuge. Auf den einzelnen Reisenden individuell zugeschnittene Informationen können auf mobilen Endgeräten bereitgestellt werden, um die Suche nach relevanten Informationen zu erleichtern. Diese Form, Reisende zu informieren, wird an Bedeutung gewinnen und heute bestehende Informationssysteme ergänzen. Die individuelle oder eigenschaftsbasierte Gruppenadressierung von Reisenden kann auch im Falle von Störungen dazu beitragen, Reisende gezielt über Alternativen zu informieren, um die Auswirkung der Störung möglichst gering zu halten.

### **Reisende unterhalten (Unterhaltungssysteme)**

Passagiere wollen während der Fahrt entweder Entspannen, Arbeiten oder Unterhalten werden. Damit wird die Zugfahrt zur Erweiterung des Büros oder Wohnzimmers. Um dies zu ermöglichen, muss die passende Infrastruktur gegeben sein. Eine große Rolle hierfür spielen das Internet, eine durchgängige Verbindung, beispielsweise per WLAN oder auch Ethernet-Anschlüsse, und Steckdosen für ein selbst mitgebrachtes Endgerät.

### **Reisende transportieren**

Die heutige Zugfahrt zeichnet sich durch die Bereitstellung von Sitzplätzen im Abteil oder Großraum und des Angebots von Essen und Getränken aus. Relevante Themen an Bord des Zuges sind u. a. die Reisendeninformation, Unterhaltung und Customer-Experience, die gesondert betrachtet werden.

### **Reisende nachverfolgen**

Die Autorisierung von Fahrgästen, die Fahrscheinkontrolle, hat bereits in der Vergangenheit einige Innovationsschritte durchlaufen. Zunächst wurden Papierfahrscheine im Zug am Sitzplatz durch das Personal einmalig für die Zugfahrt entwertet. Dieser Prozess wurde durch das Scannen eines ausgedruckten, maschinenlesbaren Codes digitalisiert, der heute auch papierlos auf dem Smartphone vorgezeigt werden kann. Außerdem ist es bereits teilweise möglich, den auf dem Smartphone gespeicherten Fahrschein bei Einnahme des Sitzplatzes selbst zu autorisieren, sodass eine weitere Prüfung durch das Zugpersonal nicht erforderlich ist. Zukünftig eingesetzte Technologien können diesen Prozess noch weiter automatisieren, sodass weniger oder möglicherweise gar keine Interaktion des Reisenden mehr zur Prüfung des Fahrscheins notwendig ist.

### **Customer-Experience**

Bei der Customer-Experience handelt es sich um die sogenannte Kundenerfahrung oder das Kundenerlebnis, die beispielsweise bei der Nutzung einer Dienstleistung oder eines Produkts gemacht wird. Insbesondere die Zugfahrt an sich spielt bei der Bahn im Bereich Customer-Experience eine große Rolle.

Jedoch sind alle Bereiche betroffen, so zum Beispiel auch Ticketkauf, An- und Abreise zum Bahnhof oder der Bahnhofaufenthalt. Unter anderem können durch die gezielte Analyse der Kundenzufriedenheit und Einbeziehung der Nutzerbedürfnisse Maßnahmen abgeleitet werden, um die Customer-Experience und somit auch die Gesamtqualität zu verbessern.

### **Gepäckservice**

Eine Ergänzung der Customer-Experience ist z. B. das Angebot eines Gepäckservice, der dem Reisenden den Transport des Gepäcks abnimmt. Dies kann wahlweise an der Tür des Start- oder Zielortes, am Bahnhof oder am Zug beginnen bzw. enden. Eine Kombination und Mit-Nutzung von Techniken des Gütertransportes ist ggf. möglich.

### **Gewaltprävention und -deeskalation**

Automatisiertes Erkennen von Gewaltpotential und Aggressoren ermöglicht frühzeitige Interventionsmaßnahmen, um Straftaten einzudämmen oder gänzlich zu vermeiden. Somit kann die (wahrgenommene) Sicherheit im Schienenverkehr für Reisende verstärkt werden. Das Bewusstsein über umfassende Videoüberwachung mit großer Chance auf gerichtliche Verfolgung kann direkt abschreckend und daher zusätzlich präventiv wirken.

### **Reisendenstromlenkung**

Reisendenstromlenkung beschäftigt sich hauptsächlich mit zwei Problemen. Zum einen soll es damit Reisenden erleichtert werden, effizient und problemlos das gewünschte Ziel (z. B. Bahnsteig, Ausgang etc.) zu erreichen. Vor allem an unbekanntem oder stark überfüllten Orten ist das sehr hilfreich und führt somit zu einer erhöhten Kundenzufriedenheit. Umgesetzt werden kann das auch durch den Einsatz mobiler Geräte durch den Reisenden. Am Hauptbahnhof Zürich wird dies bereits mit Augmented Reality per App getestet (Ferrari, 2020). Zum anderen soll es dem Personal helfen, Überfüllung vorzusehen, zu erkennen und zu lösen. Dies wird beispielsweise am Hauptbahnhof von Shanghai bereits getestet unter Einsatz von Smart Glasses mit Augmented Reality (Ferrari, 2020).

## **3.5.6 Güter**

### **Güter transportieren**

Eine Vielfalt von Gütern und Behältern kann im System Bahn transportiert werden:

- Standardcontainer, ISO-Container
- Stückgut
- Schüttgut
- Fahrzeuge
- Güter auf LKW (rollende Landstraße)
- sperrige Güter (z. B. Transformatoren)
- Gefahrgüter

Der Transport findet dabei heute durch mechanisch zu Verbänden gekoppelte Einzelwagen statt. Neue Konzepte, wie virtuelles Kuppeln (Scherk, et al., 2017) oder die Digitale Automatische Kupplung (DAK) (Stötzel, 2020) können zukünftig Einfluss auf diesen Prozess nehmen.

### **Güter verfolgen**

Durch die Digitalisierung und drahtlose Kommunikation können transportierte Güter zeit- und ortsgenau auf ihrem Transportweg verfolgt werden. Zudem ist über sogenannte Telematik die Erfassung von Umweltparametern, wie Temperatur, Luftdruck und Erschütterung möglich (Wilke & Baranek, 2010),

um den sicheren Transport von empfindlichen Gütern zu gewährleisten. Die Verfolgung von Gütern beinhaltet dabei auch die Diebstahlsicherung, indem Abweichungen von der erwarteten Route einen Alarm auslösen oder vermisste Güter geortet werden können.

### **Rangierbetrieb, Kuppeln und Ablaufsteuerung**

Güterzüge werden in Bahnhöfen, Gleisanschlüssen oder auf Werksgeländen be- und entladen und die einzelnen Waggons zu neuen Zügen zusammengestellt. Hierfür wird der Rangierbetrieb durchgeführt, der einzelne Waggons oder kleine Gruppen von Waggons an neue Positionen versetzt. Am Ablaufberg werden entkuppelte Waggons über einen kleinen Berg geschoben und über mehrere Weichen in Zielgleise einsortiert. In modernen Anlagen geschieht das Stellen der Weichen automatisch anhand eines Ablaufplanes. Die Vernetzung von Gütern oder Waggons mit der Infrastruktur kann hier zur Optimierung und Vereinfachung des Prozesses beitragen, genauso wie die Digitale Automatische Kupplung (DAK), die statt der Schraubenkupplung Güterwägen mechanisch verbinden soll und gleichzeitig auch Strom-, Daten- und Druckluftverbindungen herstellen soll (Stötzel, 2020).

### **Güterumschlag, intermodale Abfertigung und rollende Landstraße**

Güter werden zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern (Bahn, LKW, Schiff) umgeschlagen. Bei der Verladung und Zuordnung der Frachtstücke können digitale Technologien hilfreich sein, wie beispielsweise RFID-Tags zur Identifizierung (Wilke & Baranek, 2010). Darüber hinaus können durch die Frachtstücke selbst Informationen digital bereitgestellt werden, die Auskunft über Masse, Gefahrgut, Temperaturanforderungen und weitere Umweltbedingungen geben.

### **Abfertigung im grenzüberschreitenden Verkehr**

Für den grenzüberschreitenden Verkehr ist die Verwendung des internationalen Eisenbahnfrachtbriefes („CIM-Frachtbrief“) üblich, der auch für die Zollabfertigung verwendet wird. Die Europäische Union (EU) hat die Grundlage geschaffen, dass voraussichtlich ab 2025 die elektronische Form von Frachtpapieren genutzt werden kann und auch von Behörden anerkannt wird (Hütten, 2019; Europäische Union, 2020). Die Digitalisierung ist in diesem Bereich demnach schon in der Implementierungsphase und kann künftig durch den Einsatz weiterer Technologien vorangetrieben werden.

## 4 Technologietrends

Im Schritt „Beobachten“ des Design-Thinking-Prozesses werden nun Technologietrends gesammelt, die in der Zukunft im System Bahn möglicherweise eine bedeutende Rolle spielen werden. Ein besonderer Fokus wird die Digitalisierung im Bahnsektor bilden. Hierzu werden einerseits jene Techniken gesammelt, die bereits heute als wichtige Zukunftstechnologien im System Bahn angesehen werden, wie beispielsweise Automatic Train Operation (ATO), Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) und das European Train Control System (ETCS). Darüber hinaus werden auch weitere Techniken untersucht, die bisher nur wenig Eingang in das System Bahn gefunden haben, die jedoch in anderen Branchen sowie in der Gesellschaft Bedeutung erlangen werden, wie beispielsweise Fog-, Edge- und Cloud-Computing, das Internet of Things (IoT) und Quantencomputer. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf den bereits eingesetzten und den antizipierten Technologien aus dem Bereich Automotive, der ähnlich zum Schienenverkehr eine Transportleistung für Personen und Güter bereitstellt und sich ebenfalls mit Themen wie Digitalisierung, Automatisierung, Transport als Dienstleistung, Kommunikation und letztendlich auch IT-Sicherheitskonzepten beschäftigt.

Die oben genannten Technologiefelder sind nur beispielhaft zu verstehen. Zur Identifikation geeigneter Technologien wird zweistufig vorgegangen: In einem ersten Schritt werden aus der Literatur und Roadmaps des DB-Konzerns, getragen durch Bahn<sup>10</sup> und Politik<sup>11</sup> und jüngst in Arbeitsgruppen zwischen Eisenbahn Bundesamt (EBA), Verband der Bahnindustrie (VDB) und Bahn zum betrieblichen und technischen Zielbild weiterentwickelt sowie aus Berichten von Marktforschungsfirmen Kandidaten geeigneter Technologien ermittelt. Der Prognosezeitraum umfasst weiterhin die Jahre 2030 bis 2050, für die sich eine realistische Abschätzung mit hinreichender Relevanz für IT-Sicherheitskonzepte erstellen lässt, wie bereits in Kapitel 3 beschrieben.

Die identifizierten Technologien werden in Interviews und Workshops mit externen Experten aus Bahnbetrieb, Forschung und Industrie (forschungsbegleitender Arbeitskreis) bewertet, um eine Einschätzung zu erhalten, wie realistisch der Einsatz der Technologien im Bahnsektor ist, welche Teilkomponenten des Bahnsystems aus der Systemdefinition betroffen sind und welche Auswirkungen diese haben werden. Durch die Kombination der Methoden können neue Ansätze gefunden und unrealistische Szenarien direkt verworfen werden. Möglicherweise werden während dieser Gespräche und Workshops noch weitere Technologien identifiziert. Die in diesem Prozess verworfenen oder als ungeeignet identifizierten Technologien werden dennoch mit einer entsprechenden Begründung in die Dokumentation aufgenommen, damit nachvollziehbar bleibt, warum gewisse Technologien nicht weiter betrachtet wurden.

In Anlehnung an geläufige Definitionen und die Verwendung der Begriffe Technologie und Technik in Sprache und Literatur, verwenden wir in dieser Technologieprognose folgendes Verständnis des Begriffs Technologie:

*Technologien sind Prozesse, Fertigkeiten und Techniken, die dazu dienen, die Erkenntnisse der Naturwissenschaften für den Menschen praktisch nutzbar zu machen.*

Im Kontext dieser Technologieprognose wird die Definition so interpretiert, dass Technologien Verfahrensweisen und Konzepte sind, um die in der Systemdefinition beschriebenen Funktionen (Produkte und

---

<sup>10</sup> [https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart\\_zentrales\\_uebersicht/Deutsche-Bahn-gruendet-Gesellschaft-zur-Digitalisierung-des-Schienennetzes-4459894](https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Deutsche-Bahn-gruendet-Gesellschaft-zur-Digitalisierung-des-Schienennetzes-4459894)

<sup>11</sup> <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/digitalisierung-bahnsystem.html>

Prozesse) abzubilden oder zu unterstützen. Daher kann eine Technologie zur Umsetzung mehrerer existierender oder zukünftiger Funktionen des Systems Bahn dienen.

Im Folgenden werden die identifizierten Technologietrends definiert und kurz beschrieben, um als Referenz im weiteren Projektverlauf dienen zu können. Hierbei werden verwendete Quellen referenziert und auf weiterführendes, detaillierteres Material verwiesen.

## 4.1 Bekannte Technologietrends für das System Bahn

In diesem Kapitel werden zunächst Technologietrends beschrieben, die schon einen konkreten Bezug zum System Bahn aufweisen.

### **Automatic Train Operation (ATO) und Autonomes Fahren**

Die automatische Zugsteuerung ATO fährt den Zug nach Fahrplan mit allen Zwischenstationen und kontrolliert die Türsteuerung. Informationen wie fahrplanmäßige Haltestationen oder Einfahrgeschwindigkeiten in einen Bahnhof werden über ATO spots (Balisen) übertragen. Erhält ein Zug einen Bremsbefehl, wird vom Bordcomputer die Bremskurve berechnet, damit der Zug an gewünschter Stelle zum Stehen kommt. Durch Kommunikation zwischen Bordegerät und Infrastruktur wird die Bremskurve wiederholt aktualisiert und damit die Genauigkeit verbessert (Wang, et al., 2016). Autonomes Fahren im System Bahn hat durch das Rad-Schiene-System bereits den Vorteil der Spurführung gegenüber dem Straßenverkehr und ist vor allem in U-Bahnsystemen bereits umgesetzt, da diese in der Regel geschlossene Systeme sind, welche leichter zu kontrollieren sind. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen vier Automatisierungsgraden (Grade of Automation (GoA)) (Keevill, 2017; Wang, et al., 2016):

- **GoA 1:** Beim nicht automatisierten Bahnbetrieb (**NTO**), steuert ein Lokführer den Zug und ist somit zuständig für das Anfahren und Halten sowie der Türschließung und das Stoppen des Zuges im Störfall. Der Lokführer wird von Zugsicherungssystemen wie ATP unterstützt (Wang, et al., 2016).
- **GoA 2:** Bei einem halbautomatisierten Bahnbetrieb (**STO**) werden Beschleunigungs- und Bremsvorgänge vom automatisierten System gesteuert, um den Energiebedarf und die Streckenkapazität optimal auszunutzen. Türschließung und Anfahrvorgänge werden entweder automatisch oder vom Lokführer durchgeführt (Wang, et al., 2016). Wird der Anfahrvorgang vom Lokführer durchgeführt übernimmt nach wenigen Sekunden das System und beschleunigt den Zug automatisiert (Wang, et al., 2016).
- **GoA 3:** Auch beim fahrerlosen Zugbetrieb (**DTO**) befindet sich ein Fahrzeugführer oder speziell ausgebildetes Zugbegleiter-Personal an Bord. Diese übernehmen jedoch hauptsächlich Serviceaufgaben für die Fahrgäste und greifen nur in Notfallsituation in die Zugsteuerung ein. Je nach System fällt auch das Öffnen und Schließen von Türen in den Aufgabenbereich des Personals (Wang, et al., 2016).
- **GoA 4:** Beim unbemannten Zugbetrieb (**UTO**) befindet sich schließlich kein Personal (für operative Aufgaben) mehr im Zug und alle Aufgaben werden vom System übernommen. Dies stellt hohe Anforderungen an die Ausfallsicherheit der Steuerungs- und Kommunikationskomponenten. Außerdem sollte eine Form der Hinderniserkennung vorhanden sowie ein schnelles Erreichen des Zuges durch Personal in Notfallsituationen gewährleistet sein (Wang, et al., 2016).

### **Communication-Based Train Control (CBTC)**

Das Hauptziel von Zugsteuerungssystemen ist die Vermeidung von Kollisionen von Zügen, d. h. die Gewährleistung des Auffahr-, Gegenfahr- und Flankenfahrtschutzes. Diese Systeme ermöglichen auch einen sicheren Gleiswechsel. Die neueste Architektur dieser Systeme ist bekannt als Communication-Based Train Control (CBTC). CBTC nutzt bidirektionale Hochfrequenzdatenübertragung (Radio Frequenz) zur Kommunikation zwischen Zügen und Kontrollstationen. Heutige CBTC Systeme sind fahrzeugzentriert, das bedeutet, ein Zug bestimmt seine Position, Richtung, und Geschwindigkeit selbst und gibt diese Informationen an die streckenseitigen Geräte weiter (Pascoe & Eichorn, 2009).

Mögliche Technologien zur Positionsbestimmung sind Tachometer, Beschleunigungsmesser, Gyroskope, GPS, Transponder, Radar, Laser, Schleifentransposition oder digitale Schienenkarten. Verschiedene Hersteller verwenden dabei verschiedene Kombinationen dieser Technologien (Pascoe & Eichorn, 2009).

Bei den meisten CBTC-Systemen wird der Standort über das Netzwerk an einen Zone-Controller weitergegeben. Dadurch weiß der Zone-Controller die Position aller CBTC-Züge innerhalb seines Kontrollgebiets. Es werden drei verschiedene Methoden benutzt, um Züge sicher zu distanzieren (Pascoe & Eichorn, 2009):

- Bei der ersten Methode werden bestimmte Informationen, wie zum Beispiel die Position aller Züge im Kontrollgebiet, alle Weichenpositionen oder alle Signalbilder, an alle (CBTC-)Züge weitergeleitet. Daraufhin berechnet jeder Zug sein eigenes sicheres Bewegungslimit und sein Geschwindigkeitsprofil.
- Bei der zweiten Methode bestimmt der Zone-Controller die spezifischen Geschwindigkeitsanforderungen und teilt diese den Zügen mit, welche diese umsetzen. Dies verringert die Rechenlast der OnBoard-Systeme.
- Die meistumgesetzte Methode ist die Dritte, bei der der Zone-Controller mit jedem Zug individuell kommuniziert und diesem jeweils eine Fahrerlaubnis (movement authority) zuteilt, welche abhängig ist von den anderen Zügen, Weichenstellungen, und Bahnhofshalten im gesamten Kontrollgebiets des Zone-Controllers. Die Fahrerlaubnis eines Zuges ist begrenzt durch einen physischen Gleispunkt, den die Zugspitze nicht überschreiten darf. Bei dieser Methode berechnet ein Zug ständig ein sicheres Geschwindigkeits-/Entfernungs-Profil und bewegt sich so bis zum Endpunkt seiner Fahrerlaubnis.

Um die physische Trennung von Zügen zu realisieren, verwendet der Zone-Controller entweder virtuelle Blöcke (Softwareumsetzung von physischen Gleisstromkreisen zur Trennung von Zügen im Festen Blockabstand), Moving Blocks oder eine Kombination aus Virtuellen und Moving Blocks (Pascoe & Eichorn, 2009).

### **Digitales Stellwerk (DSTW)**

Das Digitale Stellwerk (DSTW) ist eine Weiterentwicklung des Elektronischen Stellwerks (ESTW). Die Neuerung liegt dabei bei der Ansteuerung der Stelleinheiten im Feld. Beim ESTW werden Weichen, Signale und Bahnübergänge durch ein konventionelles, elektrisches Schaltwerk, d. h. große Bündel an Kupferkabel, angesteuert. Beim DSTW werden Stellbefehle digital per IT-Datenkabel übermittelt. Dadurch ist eine deutlich höhere Stellentfernung möglich. Ebenso entfällt ein Großteil der Kabel vom Stellwerk zu den Feldelementen der Leit- und Sicherungstechnik, abgesehen von der dezentralen Energieversorgung. DSTW ermöglichen auch die Standardisierung von Komponenten, eine einfachere Instandhaltung, stabilere Datenleitungen (im Gegensatz zu analogen Signalen lassen sich Übertragungsfehler bei digitalen Signalen vollständig korrigieren) und größere Bedienbereiche. Durch die Digitalisierung entsteht auch eine optimierte Diagnosefähigkeit (Deutsche Bahn AG, 2019).



### **Safe Computing Platform**

Die OCORA Initiative<sup>12</sup> arbeitet derzeit an der Definition einer generischen Safe Computing Platform für Bahnanwendungen, welche die Anforderungen der funktionalen Sicherheit (nach EN 50126, EN 50128 und EN 50129) erfüllt. Gleichzeitig stellt die Plattform eine standardisierte Schnittstelle für fahrzeug- und streckenseitige sicherheitskritische Bahnanwendungen bereit und abstrahiert bis zu einem gewissen Grad von der verwendeten Hardware<sup>13</sup>. Die Plattform unterstützt den Trend hin zu mehr Modularisierung, der Nutzung von Commercial-off-the-shelf-Produkten (COTS), Virtualisierung und Herstellerunabhängigkeit bei sicherheitskritischen Anwendungen.

### **Digitale Karte**

Digitales Kartenmaterial für unterschiedliche Anwendungszwecke bildet die Grundlage für zahlreiche Digitalisierungsprozesse. Digitale Karten und Modelle unterstützen Planungs- und Bauprozesse von Fahrzeugen und Infrastruktur und müssen in entsprechendem Detailgrad vorliegen, aus existierenden analogen Karten erstellt oder durch Digitalisierungsverfahren aus der Realität generiert werden. In der Instandhaltung dienen sie als Referenz für erforderliche Arbeiten. Digitale Gebäudekarten können für die Indoor-Navigation dem Reisenden zur Verfügung gestellt werden, um Bahnsteige, Informationsschalter oder Geschäfte leichter zu finden. Je nach Anwendungsfall müssen digitale Karten in unterschiedlicher Granularität und Präzision vorliegen. Zum Erreichen des Reiseziels genügt eine makroskopische Auflösung der Karte. Dient die Karte als Referenz für automatisiertes Fahren, einem digitalen Zwilling zur Prognose im Störfall oder der Lokalisierung von Fahrzeugen, ist eine mikroskopische Auflösung erforderlich, mit exakten Positionen von Gleisen, Weichen, Signalen etc. Entsprechend variiert auch die Anforderung an die Genauigkeit (Abweichung der Position vom tatsächlichen Ort) der Karte, da eine Abweichung in der sicherheitskritischen Ortung die Gewährleistung der funktionalen Sicherheit beeinträchtigen könnte. Ein Beispiel für eine frei verfügbare digitale Karte ist die auf OpenStreetMap<sup>14</sup> basierende OpenRailwayMap<sup>15</sup>, die Infrastrukturdaten wie Zugsicherungssysteme, Höchstgeschwindigkeiten und Signalstandorte enthält.

### **Infrastrukturmodellierung und Building Information Modelling**

Digitale Datenformate zum Austausch von Infrastrukturinformationen und Building Information Modelling (BIM) werden bereits heute eingesetzt und in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Durch die Digitalisierung der Prozesse werden Zeit gespart, Kosten vermieden und die Qualität von Projekten erhöht<sup>16</sup>. Es existieren bereits einige Modelle (z. B. das RailTopoModel<sup>17</sup>) und Formate (z. B. RailML<sup>18</sup>), die den digitalen Informationsaustausch quasi-standardisieren. Eine umfangreiche Taxonomie von Modellen und Formaten wurde von Wunsch et al. Erstellt und diskutiert (Wunsch, et al., 2016).

---

<sup>12</sup> <https://github.com/OCORA-Public/Publication/>

<sup>13</sup> [https://github.com/OCORA-Public/Publication/blob/master/OCORA%20Gamma%20Release/40\\_Technical%20Documentation/OCORA-40-004-Gamma\\_Computing-Platform-Whitepaper.pdf](https://github.com/OCORA-Public/Publication/blob/master/OCORA%20Gamma%20Release/40_Technical%20Documentation/OCORA-40-004-Gamma_Computing-Platform-Whitepaper.pdf)

<sup>14</sup> <https://www.openstreetmap.de/>

<sup>15</sup> <https://www.openrailwaymap.org/>

<sup>16</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=hqJ6kqOwxsc>

<sup>17</sup> <http://www.railtopomodel.org>

<sup>18</sup> <https://www.railml.org>

## **FRMCS**

Das Future Railway Mobile Communication System (FRMCS)<sup>19</sup> soll beginnend im Jahr 2030 sukzessive GSM-R als Mobilfunkstandard im Schienenverkehr ablösen<sup>20</sup>. Seit 2012 arbeitet die UIC und zahlreiche Teilnehmer aus der Bahnbranche an der Erfassung von Anforderungen und der Spezifikation für die Nachfolgetechnologie, welche nicht nur die Funktionalität von GSM-R ersetzen soll, sondern auch als Kommunikationsplattform für die Digitalisierung des Schienenverkehrs dienen soll.

## **Train-to-Train Communication**

Herkömmlicherweise findet die Kommunikation von Communication-Based-Train-Control-Systemen über Train-to-Ground-Verbindungen statt. Mit Fortschritt der heutigen Technologien und der steigenden Anforderung wird jedoch an direkter Train-to-Train-Kommunikation geforscht. Das bringt zum einen Vorteile wie eine geringere Latenz, da die Nachrichten nicht erst über Basisstationen oder Kernnetze transportiert werden müssen, sondern direkt von einem Gerät des einen Zuges an das entsprechende im nächsten Zug gesendet werden können. Eine geringere Latenz führt auch zu einer Verringerung des erforderlichen Sicherheitsabstandes zweier Züge (Song & Schnieder, 2019). Ebenfalls wird davon ausgegangen, dass eine kabellose Train-to-Train-Kommunikation die Installations- und Wartungskosten senkt, da weniger Geräte am Schienenrand für die Train-to-Train-Kommunikation benötigt werden, als bei herkömmlichen Lösungen. Train-to-Train-Kommunikation kann zumindest einen Teil der sicherheitsrelevanten Kommunikation übernehmen (Liu & Yuan, 2018).

Mögliche Technologien sind zum Beispiel TETRA (Terrestrial Trunked Radio), welches auf 450 MHz operiert und unter anderem in Deutschland getestet und erforscht wird, oder auch das 5G-Netz, welches beispielsweise in chinesischen Hochgeschwindigkeitsbahnen getestet wird (Lehner, et al., 2013).

## **ETCS L3, ETCS L2 ohne Signale und ETCS L3 Hybrid**

Europäische Vorgaben fordern den Ausbau von ETCS in Deutschland auf eine Länge von 3.250 km bis 2030 und 16.000 km bis 2050 (Schmitz, et al., 2018). Bis heute wurden Strecken höchstens mit ETCS Level 2 ausgerüstet. Künftig werden Bahnstrecken in Deutschland und Europa auch mit ETCS Level 2 ohne ortsfeste Signale (L2oS), ETCS Level 3 Hybrid und ETCS Level 3 ausgestattet. Aus technischer Sicht bedeutet das, dass sich die Zugsicherung stärker auf drahtlose Datenübertragung (durch GSM-R oder FRMCS) statt auf Beobachtung streckenseitiger Signale basiert. Auch die Fahrzeugortung verschiebt sich von der Strecke ins Fahrzeug bei ETCS Level 3 mit entsprechenden hohen Anforderungen an die funktionale Sicherheit. Bei ETCS Hybrid Level 3 verbleiben Teile der Ortung streckenseitig, während bei ETCS Level 2 die Strecke durch blockweise Gleisfreimeldeanlagen auf Fahrzeuge geprüft wird.

## **Intelligente Instandhaltung (Predictive Maintenance)**

Vorausschauende, intelligente oder prädiktive Instandhaltung (Predictive Maintenance) versucht durch die Auswertung von Messdaten des in Betrieb befindlichen Objektes vorherzusagen, wann ein Ausfall droht, um rechtzeitig vorher eine Instandhaltung durchführen zu können und so den Ausfall zu vermeiden. Hierfür werden zum einen modellbasierte Vorhersagen verwendet, wie das Beispiel der Weichendiagnose zeigt, bei der durch Abweichungen im benötigten Stellstrom der Weiche mögliche Ausfälle erkannt werden können<sup>21</sup>. Zum anderen werden auch Vorhersagen basierend auf künstlicher Intelligenz

---

<sup>19</sup> <https://uicfrmcs.org/>

<sup>20</sup> <https://uic.org/rail-system/frmcs/>

<sup>21</sup> <https://www.computerwoche.de/a/deutsche-bahn-bestueckt-weichen-mit-sensoren,3637574>

getroffen, die anhand von Betriebsparametern trainiert wird, um ebenfalls einen drohenden Ausfall vorherzusagen. Künstliche Intelligenz wird bereits eingesetzt, um die Betriebsgeräusche von Rolltreppen zu analysieren, Störungen vorherzusagen und so Ausfälle und Wartungskosten zu reduzieren<sup>22</sup>. Künstliche Intelligenz wird meist dann eingesetzt, wenn die zu analysierenden Datenmengen zu groß oder die Zusammenhänge zu komplex sind, um sie durch einen modellbasierten Ansatz abzudecken.

### **Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS)**

Zur Ortsbestimmung der beweglichen Komponenten im System Bahn werden bereits heute globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) eingesetzt. Die wichtigsten GNSS sind das US-amerikanische GPS, das russische GLONASS, das europäische Galileo und das chinesische Beidou, die für Anwendungsfälle zur Verfügung stehen und bereits heute zur Positionsbestimmung von Messzügen oder Güterverfolgung eingesetzt werden<sup>23</sup>.

### **Neuartige Ortungslösungen und Zugintegritätssysteme**

Präzise Ortung insbesondere von Zügen ist von großer Bedeutung zur Steigerung der Effizienz und der Flexibilität des Systems Bahn. Ortungslösungen über GNSS hinaus können dazu beitragen, die Präzision der Ortsbestimmung zu erhöhen und die mangelhafte Abdeckung satellitenbasierter Systeme in Tunneln und abgeschatteten Bereichen zu kompensieren. Hierfür kann das Zusammenspiel mehrerer Informationsquellen für die Bestimmung des Ortes genutzt werden. Zu diesen gehören fahrzeugseitig Odometer, Tachometer und Inertialsensoren. Streckenseitig kann über die herkömmliche Gleisfreimeldung und die bereits in ETCS verwendeten Balisen auch faseroptische Sensorik verwendet werden (Winter, et al., 2021). Streckenseitig angebrachte Landmarken (z. B. Haltepositionen im Bahnhof) können fahrzeugseitig erkannt und ausgewertet werden.

Eng mit der Ortung verbunden sind die Zugintegritätssysteme, die heute von hoher Bedeutung für die Sicherheit von Zugfahrten sind, da sie das vollständige Räumen von Gleisabschnitten durch einen Zug und damit die Befahrbarkeit für einen Folgezug feststellen. Heute wird diese Prüfung streckenseitig durch Gleisfreimeldanlagen vorgenommen, die blockbasiert arbeiten. Zur besseren Ausnutzung der Infrastruktur ist künftig eine zugeseitige Integritätsfeststellung geplant (z. B. bei ETCS L3). Bei Personenzügen ist normalerweise eine Bordkommunikation vorhanden, sodass sich die Vollständigkeit leicht prüfen, bzw. eine Zugtrennung zeitnah erkennen lässt. Bei Güterzügen existiert im Normalfall keine durchgängige Datenleitung. Eine Möglichkeit sind hier Geräte am Ende des Zuges (digitale Zugschlussscheibe), die ebenfalls durch eine der oben genannten Technologien ihre Position bestimmen und an ein Steuergerät an der Zugspitze übermitteln.

### **Fiber Optic Sensing (Faseroptische Sensorik)**

Fiber Optic Sensing ist der Oberbegriff für Faseroptische Sensorik auf Basis eines Lichtwellenleiters (LWL) und einer daran angeschlossenen, Laser-sendenden und -empfangenden sowie analysierenden Einheit. Im Bahnumfeld soll vor allem Distributed Acoustic Sensing zum Einsatz kommen. Dieses Verfahren zielt auf die Aufnahme der akustischen Signale ab und ordnet diese bekannten Schallquellen zu. Ähnlich einem digitalen Fingerabdruck können über den Vergleich bekannten Verhaltens mit gemessenen Werten verschiedene Aktivitäten unterschieden und damit Anwendungen realisiert werden. Dafür kommt im Bahnumfeld das für Kommunikationszwecke verlegte Monomode-LWL zur Anwendung. Auf einer dark fiber (dunkle, unbeschaltete Faser) können nach aktuellem Stand der Technik bis zu 80 km Glasfaserlänge durch eine Interrogator-Einheit (Sender/Empfänger Laserimpuls) überwacht werden. Die örtliche Auflösung beträgt ca. 4 m – 6 m, während die messbare Frequenz im Bereich bis ca. 1 kHz liegt.

---

<sup>22</sup> <https://www.dbsystel.de/dbsystel/aktuelles/news/Predictive-Maintenance-mittels-kuenstlicher-Intelligenz-5568546>

<sup>23</sup> <https://www.bmvi.de/blaetterkatalog/catalogs/219286/pdf/complete.pdf>

Auf dieser Basis wurde bereits eine Vielzahl an Anwendungsgebieten nachgewiesen. Folgend ist ein kurzer Ausschnitt daraus wiedergegeben:

- Zugortung, z. B. zeitgerechte Reisendenwarnung, optimierten Zugverkehr (CTMS, Fahrempfehlungen), Reisendeninformation, Integritätsnachweis (Drehgestellzählung)
- Hinderniserkennung, z. B. Hangrutsch, Steinschlag, Überflutung, Verwerfung
- Security, z. B. Kabeldiebstahl, Zutrittskontrolle
- Instandhaltungsmonitoring, z. B. Schienenbruch, Gleislage, unrunde Räder (Flachstellendetektion)

Die Verlegung der LWL muss dafür im Erdreich entweder integriert in einen Kabeltrog oder direkt in Erde erfolgen.

Die Bestimmung des Events erfolgt lokal durch den Vergleich der bekannten Muster mit den gemessenen Daten. Das System stellt dann in Echtzeit (Versatz < 1 s) die Informationen an einer Schnittstelle zur Verfügung und ermöglicht so die Integration in bereits bestehende oder neu zu entwickelnde Systeme, welche die gleisbezogenen Informationen benötigen.

### **Intelligente Automatisierung**

Zahlreiche Tätigkeiten im Bahnumfeld können von einer Automatisierung profitieren. Die Anwendbarkeit zieht sich über alle Phasen und Kategorien der Definition des Systems Bahn. Planungsprozesse (Fahrplan, Infrastruktur, Signaltechnik, Fahrzeuge etc.) können durch die Automatisierung von Prozessschritten in Planungswerkzeugen beschleunigt und vereinfacht werden. Im Betrieb kommt nicht nur die Automatisierung von Zug- und Rangierfahrten oder der Bereitstellung in Frage, sondern auch bei Reinigungs- und Instandhaltungsprozessen, Abfertigung von Reisenden sowie Verladung und Nachverfolgung von Gütern.

### **Industrieroboter und Roboterassistenten**

Ein konkretes Beispiel für den Einsatz von Industrierobotern findet sich in der Testphase eines autonomen Reinigungsfahrzeuges, das im Frankfurter Hauptbahnhof selbstständig Böden reinigt, durch den Bahnhof navigiert und dabei Hindernisse durch Sensoren erkennen kann<sup>24</sup>. Drohnen werden bereits heute im Infrastrukturbereich für Luftaufnahmen eingesetzt, beispielsweise in der Gebäudeinstandhaltung oder zur Vegetationskontrolle (Toussaint, 2021). Im Gleisbau übernehmen Roboter Aufgaben wie Schienenschweißen oder das Entfernen von Gegenständen aus der stromführenden Oberleitung (Schmid, et al., 2019). Durch den zunehmenden Einsatz von Robotern können Arbeitsprozesse erleichtert oder auf neue Art durchgeführt werden. Künftig könnten mehrere Roboter mit verschiedenen Fähigkeiten gemeinsam Aufgaben erfüllen.

### **Andere Formen von spurgebundenem Verkehr**

Der Schienenverkehr ist das typische und am weitesten verbreitete Beispiel für spurgebundenen Verkehr. Mit dem Transrapid gab es ein weiteres vergleichbares Transportmittel, das sich in Europa jedoch nicht durchsetzen konnte. Das 2013 von Elon Musk vorgestellte Konzept zum Hyperloop beschreibt eine Transportkapsel, die sich durch eine luftleere Röhre (spurgebunden) bewegt und nahezu Schallgeschwindigkeit erreichen soll. Beide Technologien sind eng verwandt mit dem System Bahn, sodass sich durch die Ähnlichkeit ein Austausch von Konzepten in beide Richtungen ergeben könnten.

---

<sup>24</sup> <https://www.deutschebahn.com/pr-frankfurt-de/Sauberkeit-und-Virenfreiheit-auf-Knopfdruck-DB-testet-Reinigungsroboter-am-Frankfurter-Hauptbahnhof-5971422>

## 4.2 Potenzielle Technologietrends für das System Bahn

In diesem Kapitel werden Technologietrends beschrieben, bei denen bisher kein konkreter Bezug zum System Bahn aufgezeigt werden kann, die jedoch das Potential besitzen, künftig Anwendung zu finden.

### **Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen**

Die Idee der künstlichen Intelligenz (KI) ist der Versuch der maschinellen Nachbildung des intelligenten Menschen beim Fällen von Entscheidungen. Ein Teilgebiet der KI ist das maschinelle Lernen, bei dem eine Maschine aus einem Satz von Trainingsdaten ein Modell aufbaut, um künftige Situationen analysieren und künftige Datensätze intelligent weiterverarbeiten zu können.

Eine der wichtigsten Methoden des maschinellen Lernens ist das sogenannte Deep Learning. Hier werden künstliche neuronale Netze, d. h. Nachbildungen von Nervensystemen, mit zahlreichen Zwischenschichten zwischen der Ein- und der Ausgabeschicht verwendet.

Die Anwendungsmöglichkeiten von KI im Allgemeinen und maschinellem Lernen im Speziellen sind vielfältig (Scherk, et al., 2017). Hierzu gehören Wetterprognosen, medizinische Forschung oder auch die Erstellung von Wirtschaftsmodellen. Ein typisches Anwendungsgebiet für Verkehrsleitsysteme ist die optische Erkennung und Rekonstruktion von Mustern, insbesondere mit der Analyse von Bildern. Hier gibt es schon Anwendungen im Automotive-Bereich: Tesla verwendet KI zur Rekonstruktion dreidimensionaler Bilder und Mercedes zur räumlichen Szenenerkennung bei den S-Klasse-Modellen.

Die KI ist eine grundlegende Technologie, welche ebenfalls bei den nachfolgend beschriebenen Technologien zum Einsatz kommen kann, z. B. bei Affective Computing (siehe nächster Abschnitt), oder auch bei allen sonstigen Technologien, die mit der Automatisierung von bisher menschlichen Aktionen verbunden sind.

### **Affective Computing**

Affective Computing ist ein Bereich innerhalb des Cognitive Computing und künstlicher Intelligenz und beschäftigt sich mit dem Sammeln von Daten aus Stimmen, Gesichtern und Körpersprache, um verschiedene psychische Zustände der Menschen zu erfassen und zu deuten. Daher wird Affective Computing auch als „Emotion AI“ bezeichnet. Ziel ist es, den psychischen Zustand der Person zu erfassen, mögliche Handlungsabsichten zu erkennen und entsprechend darauf zu reagieren sowie die Interaktion zwischen Mensch und Maschine zu humanisieren (ComputerWeekly, 2018).

Im Automotive-Bereich wird Affective Computing eingesetzt, um zum einen die Fahrsicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und zum anderen, um den Fahrspaß zu steigern. Negative psychische Zustände können negative Auswirkungen auf das Fahrverhalten haben, daher sollen Aggressivität, aber auch Müdigkeit, Stress, Verwirrtheit oder Nervosität beim Fahrer erkannt werden, um durch gezielte Maßnahmen intervenieren zu können. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Durch das Reduzieren von Sprachausgaben wird der Fahrer weniger abgelenkt. Auch adaptive Strategien, wie die Wortwahl, die Sprechmelodik oder die Artikulation entsprechend anzupassen, können dazu beitragen, dass Warnungen über schlechtes Fahrverhalten effektiver wahrgenommen und umgesetzt werden. So hilft es zum Beispiel, wenn Warnhinweise sich auf die Fahrumgebung beziehen anstatt auf die Verantwortung der fahrzeugführenden Person. Die Übermittlung des Emotionszustandes an andere Fahrzeuge in der Nähe, damit diese wiederum deren Fahrer warnen können, wird ebenfalls erforscht.

Für den Fahrspaß soll durch Affective Computing die Mensch-Maschine-Interaktion stimmungsbezogen angepasst werden, beispielsweise durch die zuvor genannten adaptiven Strategien. Hierbei soll Affective Computing eher wie ein vernünftiger, observierender, menschlicher Beifahrer agieren und als solcher wahrgenommen werden. Oftmals wollen Fahrende, vor allem auf langen Fahrten, nebenbei noch weitere Aufgaben erledigen, wie zum Beispiel Telefonieren, die Wettervorhersage überprüfen oder E-Mails lesen. Auch hierbei soll die KI unterstützen und Aufgaben übernehmen. Dies soll das Stressniveau senken und die Produktivität erhöhen, wodurch der Fokus stärker auf die Straße gelenkt wird. Damit die fahrzeugführende Person solche Aufgaben jedoch abgibt, muss die Interaktion mit dem System intuitiv erfolgen und sich natürlich anfühlen, eben wie ein menschlicher Beifahrer. Um diese Effekte zu erzielen, werden ebenfalls die adaptiven Möglichkeiten von Affective Computing genutzt. (Eyben, et al., 2010).

Im Umfeld der Bahn wurde bereits ein Zusammenhang von emotionalen Zuständen und Kontextfaktoren untersucht, die Hinweise auf die Customer-Experience liefern (Costa, et al., 2013).

### **Big Data**

Unter dem Begriff Big Data versteht man umfangreiche Mengen an digitalen Daten, die bei bestimmten Prozessen anfallen und aufgrund ihres Umfangs von konventionellen Datenbanksystemen und Datenverarbeitungssoftware nicht mehr in Echtzeit bearbeitet werden können. Häufig wird der Begriff aber auch zur Bezeichnung technischer Lösungen verwendet, um derartige Datenmengen zu verarbeiten.

Zur Durchführung derartiger Big Data-Analysen gibt es vielfältige technische Lösungen, jedoch keine zu diesem Zweck standardisierten Technologien. Beispiele für häufig eingesetzte Technologien sind die künstliche Intelligenz und das maschinelle Lernen (siehe oben) sowie cloudbasierte Lösungen.

Big Data ist gerade bei intelligenten Transportsystemen von Bedeutung. Hier hat man es mit sich schnell bewegenden Objekten zu tun, welche ständig neue, insbesondere auch ortsbezogene Daten liefern, welche zum Zwecke einer effizienten und sicheren Steuerung des Systems in Echtzeit ausgewertet werden müssen.

### **Internet of Things**

Das Internet of Things (IoT) ist ein Konzept zur Verbindung von Geräten mit dem Internet und anderen gekoppelten Geräten. Das IoT ist somit ein großes Netzwerk verschiedenartiger Geräte. Diese Geräte sammeln zudem Daten über die Art und Weise, wie und wann sie genutzt, sowie über die Umgebung, in der sie genutzt werden. Durch diese Daten kann eine IoT-Plattform mithilfe von Analysetechniken für jeden Anwendungsfall die optimalen Informationen filtern, um beispielsweise Muster zu erkennen, Empfehlungen herauszugeben oder mögliche Probleme entdecken, bevor sie auftreten (Clark, 2016).

In der Automobilindustrie gibt es viele mögliche Anwendungsfälle für das Internet of Things. Eine Möglichkeit ist zum Beispiel Fleet Management, Connected Cars, Automotive Maintenance System, Autonome Fahrzeuge, oder In-Vehicle Infotainment und Telematik (Biz4Intellia, n.d.).

In Bezug auf die Bahnindustrie ist das IoT besser bekannt als das Internet of Railway Things (IoRT). Auch hier gibt es verschiedenste Anwendungsfälle, wie zum Beispiel die Überwachung von Fahrzeugen, Bahnübergängen und der streckenseitigen Infrastruktur (Deutsche Bahn, 2020).

### **Fog-, Edge- und Cloud-Computing**

Bei Cloud-Computing werden IT-Leistungen oder -Infrastrukturen, wie zum Beispiel Rechenleistung, Speicher oder Anwendungen, als Service über das Internet oder ein anderes Kommunikationsnetzwerk bereitgestellt (novadex, n.d.). In der Automobilindustrie wird Cloud-Computing bereits im Bereich des Produktdesigns sowie dessen Herstellung (Smart Factory) genutzt. Auch Anwendungen für vernetzte Fahrzeuge existieren bereits, wie zum Beispiel bei BMW oder Volkswagen (Stroh, 2019).

Im Gegensatz dazu steht Edge-Computing. Hierbei werden Daten dezentral am Entstehungsort anstatt in einem zentralen Rechenzentrum verarbeitet. Edge-Computing bringt verschiedene Vorteile mit sich. Zum einen können latenzsensible Daten, welche beispielsweise bei autonomen Fahrzeugen eine große Rolle spielen, schneller verarbeitet werden (Martins, et al., 2019). Zum anderen erhöht es auch die Skalierbarkeit des Netzwerks, da weniger Daten über dieses verarbeitet werden (Lück & Donner, 2020). In der Automobilindustrie wird Edge-Computing auch immer häufiger in der Fertigung eingesetzt, indem immer mehr Rechenleistung nah an die Sensoren verlagert wird (Stroh, 2019).

Fog-Computing ist die Hybrid-Lösung von Cloud- und Edge-Computing. Hierbei werden Daten weder am Entstehungsort verarbeitet noch direkt bis in die Cloud transferiert, sondern werden zuerst an externe Gateways weitergeleitet. Die Fog-Architekturen verteilen die Cloud-Ressourcen an die Endgeräte, um die Geschwindigkeit der Datenverarbeitung an strategischen Punkten zu beschleunigen und Echtzeit-Entscheidungen zu ermöglichen (Martins, et al., 2019).

Besonders um Sicherheitsbedenken vorzubeugen, besteht die Möglichkeit eines spezialisierten Rechenzentrums für einen bestimmten Sektor oder ein bestimmtes Unternehmen, die sogenannte Private Cloud.

### **Moderne Sensorik durch Kameras, Lidare, Radare und Ultraschall**

Die automatische Erkennung der Umgebung, insbesondere möglicher Gefahren und Hindernisse, ist beim automatisierten Bahnbetrieb ebenso wichtig, wie beim autonomen Fahren bei Fahrzeugen auf der Straße. Für diesen Zweck stehen verschiedene moderne Sensoriken zur Verfügung, die bei Automobilen bereits im Einsatz sind und sich ebenfalls für den Bahnbetrieb eignen.

Kameras stellen eine einfache Sensorik dar, welche ein optisches Bild der Umgebung liefern. Mit Hilfe dieses Bildes kann man den Fahrbetrieb von intelligenten Fahrzeugen und Bahnen aus der Ferne überwachen und bei Bedarf in den Betrieb eingreifen. Diese Sensorik setzt somit noch die Präsenz und die mögliche Interaktion einer Person voraus, um einen sicheren Fahrbetrieb zu gewährleisten.

Andere Sensoriken liefern genauere quantitative Informationen über die Umgebung, welche dann auch zur automatischen Überwachung und Steuerung ohne weitere menschliche Interaktionen verwendet werden können. Hierzu zählen Radar- und Lidar-Techniken. Beide Techniken basieren auf der Zeitmessung für die Hin- und Rücksendung von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit und können zur Abstand- und Geschwindigkeitsmessung verwendet werden. Im Unterschied zu Radaren, bei denen elektromagnetische Wellen gesendet werden, kommen bei der Lidar-Technik optische Laserstrahlen zum Einsatz.

Für Abstandsmessungen im Nahbereich besteht eine weitere, intelligente Sensor-Technik in der Verwendung von Ultraschall-Sensoren. Ein mögliches Anwendungsfeld im Automotive- und Bahnbereich ist der Rangierbetrieb.

### **Maschine-Maschine-Kommunikation (M2M)**

Unter Maschine-Maschine-Kommunikation (M2M) versteht man den automatischen Informationsaustausch zwischen Endgeräten wie Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Containern untereinander oder mit zentralen Leitstellen. M2M vereinfacht somit Arbeitsabläufe, verschlankt Prozesse und ermöglicht neue Geschäftsmodelle in allen Wirtschaftsbereichen, von Logistik und Automotive, über Energie, Gesundheit und Handel bis hin zum öffentlichen Sektor (Telekom, n.d.). Das Projekt „Rail2X“ realisiert verschiedene Anwendungsfälle („Service und Diagnose“, „Anrufschranke“, „Bedarfshalt“) mittels M2M, mit deren Hilfe Bahnbetreiber verbesserte Dienstleistungen und Services anbieten können (Rail2X, 2019).

Im Automotive-Bereich unterscheidet man zwischen fünf Kategorien der Maschine-Maschine-Kommunikation (RGBSI, n.d.):

- Vehicle-to-Vehicle (V2V),
- Vehicle-to-Infrastructure (V2I),
- Vehicle-to-Pedestrian (V2P),
- Vehicle-to-Network (V2N) und
- Vehicle-to-Grid (V2G).

Die fünf Kategorien werden unter den Begriff Vehicle-to-Everything-Kommunikation (V2X) zusammengefasst. V2X-Kommunikation umfasst somit die gesamte Fahrzeugkommunikation mit allen möglichen externen Quellen/Kommunikationspartnern. Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden genauer erklärt (McLellan, 2019).

V2V-Kommunikation bezeichnet die Kommunikation zwischen Fahrzeugen. Diese kann genutzt werden, um von Fahrzeugen, die sich im weiteren Verlauf der Reisestrecke befinden, Informationen über Verkehr und dessen Behinderungen (Stau, Unfall, Objekte auf der Straße) zu erhalten. Das Fahrzeug kann diese Informationen verarbeiten und je nach den aktuellen Gegebenheiten (Art der Verkehrsbehinderung, Automatisierungsgrad etc.) reagieren. Diese Reaktion könnten Warnungen an den Fahrer, Unterstützung/Verbesserung des Brems- oder Lenkvorgangs oder gegebenenfalls die Übernahme der kompletten Steuerung sein. Im Falle von autonomen Fahrzeugen werden diese Informationen auch benötigt, um auf Ereignisse reagieren zu können (Ali, 2019). Weiterhin können dadurch Konzepte wie Car-Platooning realisiert werden. Bei Car-Platooning fahren mehrere Fahrzeuge in einer Kolonne. Das vorderste Fahrzeug gibt dabei die Richtung und die Geschwindigkeit vor. Durch V2V-Kommunikation können die Fahrzeuge sehr nah hintereinanderfahren, auch bei hohen Geschwindigkeiten. Vorteile wären dadurch beispielsweise eine höhere aerodynamische Effizienz und Treibstoffeinsparungen (Cottingham, n.d.). Diese Art der Kommunikation ist vergleichbar mit der Train-to-Train-Kommunikation im System Bahn.

V2I-Kommunikation bezeichnet die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Dabei handelt es sich um Komponenten wie Spurmarkierungen, Straßenschilder und Verkehrsampeln. Hierfür werden auch teilweise die Begriffe Vehicle-to-Roadway oder Vehicle-to-Roadside verwendet (RGBSI, n.d.). Im Bahnbereich ist die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur besonders in der Signaltechnik und Zugsicherung von Bedeutung, da hier streckenseitig die Erlaubnis zur Fahrt über drahtlose Kommunikation erteilt wird.

Auch bei V2P-Kommunikation handelt es sich um M2M-Kommunikation, da hierbei das Fahrzeug mit technischen Geräten des Fußgängers kommuniziert. Umgesetzt wird dies zum Beispiel durch Kommunikation mit dem Smartphone des Passanten oder durch einen RFID-Chip, welcher vom Fußgänger mitgeführt werden muss. Ziel dabei ist es, dass die Fußgänger früher vom Fahrzeug erkannt werden und somit Unfälle minimiert werden (Togashi & Yamada, 2009).

V2N-Kommunikation bezeichnet die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Servern. Die Kommunikation läuft dabei über das Mobilfunknetz (5G), welches unter anderem von Forschern der Universität Erlangen-Nürnberg (Deinlein, et al., 2020) bereits in zwei verschiedenen Szenarien (Autobahnfahrt und Stadtverkehr) untersucht wurde.

V2G-Kommunikation beschreibt die Kommunikation zwischen Fahrzeug und dem Smart Grid, welches für die Ladung elektrischer Fahrzeuge zuständig ist. Per V2G ist es möglich, Plug-in elektrische Fahrzeuge zu laden oder entladen (Chukwu & Mahajan, 2017).



Weitere Begriffe, welche im Kontext der M2M-Kommunikation auftauchen, jedoch aus unserer Sicht mit bereits vorgestellten Begriffen überlappen, sind:

- Vehicle-to-Home (V2H): beschreibt die Kommunikation mit dem Smart Home u. a. auch zum Laden des Fahrzeugs zuhause (Köllner, 2020)
- Vehicle-to-Cloud (V2C): beschreibt die Kommunikation mit Cloud Systemen, ermöglicht durch V2N (RGBSI, n.d.)
- Vehicle-to-Device (V2D): beschreibt die Kommunikation mit (smarten) Geräten, üblicherweise per Bluetooth (RGBSI, n.d.)

### **Mobilfunk der kommenden Generation wie 5G und Nachfolgetechnologien**

Mobilfunk, auch Cellular-Verbindung genannt, war ursprünglich nur für Telefonie vorgesehen und wird inzwischen auch für die V2X-Kommunikation verwendet. Die Mobilfunk-Technologien haben mehrere Generationen durchlaufen, angefangen von 2G (GSM) über 3G und 4G (LTE) bis hin zur neuesten Generation 5G. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal der verschiedenen Mobilfunk-Generationen ist die immer größere Übertragungsrate, so dass der Mobilfunk jetzt auch zur Echtzeit-Übertragung größerer Datenmengen zur Steuerung von Infrastrukturen geeignet ist. Dieses Potential ist im Bahnbereich heute noch nicht ausgeschöpft.

Die 4G-Technologie ist derzeit die schnellste flächendeckend verfügbare Technologie und insbesondere im Bereich V2X-Kommunikation befindet man sich in der Phase der Migration zu 5G. Derzeitige Einsatzfelder im Bereich V2X sind unter anderem die Kommunikation mit Backend-Systemen oder mit mobilen Endgeräten (Zelle et al., 2020). Mit der Förderung des Einsatzes von 5G für das Autonome Fahren befasst sich insbesondere der Verband von Telekom- und Automobil-Industrie 5GAA<sup>25</sup> (Rebbeck, et al., 2017).

### **Satellitenfunk**

Satellitenbasierte Kommunikationssysteme bieten eine Alternative zu rein terrestrischer Kommunikation, wie heute GSM/GSM-R, LTE und künftig FRMCS. Erste Systeme wie beispielsweise Starlink<sup>26</sup> befinden sich in der Erprobungsphase. Das von der Alphabet Inc. gestartete Project Loon<sup>27</sup> versuchte einen Internetzugang über Stratosphärenballons zur Verfügung zu stellen, wurde aber im Jahr 2021 eingestellt. Satellitensysteme bieten den Vorteil, dass keine bodengebundenen Basisstationen notwendig sind, wodurch sich eine hohe Netzabdeckung einfach erzielen lässt, die auch auf für Funkzellen unwirtschaftliche Gebiete abdeckt.

### **Drahtlose Kommunikationsnetzwerke: SigFox, ZigBee, LoRa, LPWAN, Bluetooth**

Im Bereich der drahtlosen Kommunikation haben sich verschiedene Technologien für unterschiedliche Anwendungsfelder entwickelt.

Die Kommunikationstechnologie von SigFox ist auf Verbindungen einer hohen Anzahl kostengünstiger Geräte ausgerichtet. Das ursprünglich französische Unternehmen SigFox ist inzwischen international vertreten und bringt seine Technologie weltweit zum Einsatz.

---

<sup>25</sup> [www.5gaa.org](http://www.5gaa.org)

<sup>26</sup> <https://www.starlink.com/>

<sup>27</sup> <https://loon.com/>

Für drahtlose Netze mit geringem Datenaufkommen und geringem Stromverbrauch wurde die Technologie ZigBee spezifiziert. Hier besteht ein Zusammenschluss einer Vielzahl von Unternehmen zur sogenannten ZigBee-Allianz mit dem Ziel der Verbreitung dieser Technologie. Die Reichweiten dieser drahtlosen Kommunikation sind begrenzt. Unter günstigen Bedingungen beträgt sie bis zu 100 m, meistens jedoch nur bis 20 m.

Zur stromsparenden Übertragung mit großen Reichweiten eignet sich die vom Halbleiter-Hersteller SemTech entwickelte LoRa-Technologie (kurz für Long Range). Diese Technologie basiert auf der Modulation sich zeitlich ändernder Spektren – sogenannte Chirp Spread-Spektren (CSS). Sie kommt vorwiegend in Umgebungen zum Einsatz, in denen andere Technologien wie z. B. Mobilfunk ungeeignet sind.

Basierend auf der LoRa-Technologie wurde von der LoRa Alliance das Netzwerk-Protokoll Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) spezifiziert. Es zählt zur Klasse der Netzwerkprotokolle zur Verbindung von Niedrigenergiegeräten, sogenannte Low Power Wide Area Networks (LPWANs).

Bluetooth ist ein weit verbreiteter Industriestandard zur drahtlosen Kommunikation über kurze Entfernungen. Er wird bei der V2X-Kommunikation vornehmlich für die Verbindung zu mobilen Endgeräten eingesetzt (siehe u. a. Zelle et al., 2020). Von Bedeutung ist hier auch die stromsparende Bluetooth Low Energy (BLE) Technik.

### **Blockchain, Smart Contracts und Distributed Ledgers**

Eine Technologie, die aktuell erhöhte Aufmerksamkeit genießt, ist die Blockchain und damit verbunden Distributed Ledger (frei übersetzt: verteiltes Kassenbuch) sowie Smart Contracts. Die Blockchain ist eine Datenstruktur, in der durch kryptographische Verfahren konsensbasiert Daten angehängt werden können, die dann manipulationssicher öffentlich zur Verfügung stehen. Damit ist die Blockchain-Technologie die bekannteste Form des Distributed Ledgers, da in ihr die durchgeführten Transaktionen dokumentiert werden. Mit Kenntnis des gesamten Inhalts der Blockchain lassen sich somit die Bestände aller enthaltenen Konten rekonstruieren. Verwendung findet die Blockchain bereits in digitalen Währungen wie Bitcoin oder Ether. In diesem Zusammenhang sind Smart Contracts so konstruiert, dass die Erfüllung eines vereinbarten Zieles eine Transaktion der digitalen Währung auslöst. Dies wurde zur automatischen Entrichtung des Trassenentgelts bereits vorgeschlagen (Kuperberg, et al., 2019).

Das Projekt RailChain<sup>28</sup> untersucht die Anwendbarkeit von Blockchain- und Distributed Ledger-Technologien im Bahnbereich. Eine mögliche Anwendung ist hier der fälschungssichere Datenspeicher zur Ereignisaufzeichnung (Juridical Recorder), zur Bereitstellung von vertrauenswürdigen Sensordaten und digitalen Lebensläufen für Komponenten des Bahnbetriebs.

### **Quantencomputer**

Quantencomputer nutzen Quantenphysik, um Berechnungen durchzuführen. Herkömmliche Computer nutzen On-off Logik oder True-false Statements, Quantencomputer sind jedoch nicht darauf limitiert. Quantenbits, sogenannte qubits, können „0“, „1“ oder beides gleichzeitig darstellen, auch bekannt als Quantenüberlagerung (Quantum Superposition). Da die qubits das Superpositionsphänomen, auch bekannt als Quantenverschränkung (Quantum Entanglement), ausnutzen, ist es nahezu unmöglich einen eindeutigen Zustand zu bestimmen. Zusammen mit diesen beiden Effekten und Quantentunneln kann die Rechenleistung beschleunigt werden (Singh & Singh, 2016).

---

<sup>28</sup> <https://railchain.berlin/>

D-Wave stellte bereits im Jahr 2015 einen Quantencomputer mit 1000+ qubits vor, dessen Prozessor  $2^{1000}$  Lösungen zur gleichen Zeit evaluieren kann (Singh & Singh, 2016). IBM ermöglicht seit 2016 die Umsetzung von Algorithmen und Experimenten auf einem Quantencomputer mit 5-qubit Prozessor über die IBM Cloud (Singh & Singh, 2016). Weiterhin veröffentlichte IBM 2020 einen 65-qubit Quantenprozessor für Mitglieder des IBM Quantum Networks (Gambetta, 2020). Ebenfalls im Jahr 2020 kündigte D-Wave die allgemeine Verfügbarkeit eines 5000-qubit Quantencomputers zur Nutzung von Unternehmen an (D-Wave Systems Inc., 2020).

Ein möglicher Anwendungsfall von Quantencomputern liegt im Bereich der Künstlichen Intelligenz. Diese würde durch die schnelleren Berechnungen in die Lage versetzt, riesige Datensets schnell zu analysieren und somit komplexe Entscheidungen genauer zu treffen. Auch bei Logistik und Lieferkette können Quantencomputer helfen kritische Entscheidungen zu optimieren, da sie alle komplexen Berechnungen ausführen und miteinander vergleichen können. Die Ausführung aller Möglichkeiten würden für herkömmliche Computer zu viel Rechenleistung benötigen. In der Mobilitätsindustrie können Quantencomputer für eine Vielzahl von Anwendungen verwendet werden, wie zum Beispiel der Organisation von Verkehr und autonomen Fahrzeugen (FutureBridge, 2020).

Einige Automobilhersteller arbeiten bereits an konkreten Ideen zur Nutzung von Quantencomputern. So arbeiten zum Beispiel VW gemeinsam mit Google und D-Wave daran, Verkehrsstörungen mithilfe von Quantencomputern zu reduzieren. Dabei werden die Verkehrsdaten von Smartphones und Transmittern aufgezeichnet und ein Non-Quanten-Algorithmus bestimmt daraufhin die Verkehrsdichte und wie viele Kunden ein Transportmittel benötigen. Diese Informationen werden wiederum von einem Quanten-Algorithmus verarbeitet, um beispielsweise durch Umleitung von Taxis oder öffentlichen Transportmitteln, die Zahl der verfügbaren und der von Kunden benötigten Transportmittel zu optimieren. Diese Funktion ließe sich künftig ebenso für autonome Fahrzeuge verwenden. Auch Daimler kollaboriert mit Google, um Quantencomputer zu nutzen, beispielsweise für die Entwicklung neuer Materialien zur Produktion von Batteriezellen, autonome Fahrzeuge, logistische Planungen, zur Maximierung der Produktionsplanung und für Künstliche Intelligenz. Ford hingegen arbeitet mit der NASA zusammen, um Anwendungen für Quantencomputern zu entwickeln (FutureBridge, 2020).

### **High Performance Computing und Exascale Computing**

Steigerungen in der Rechenleistung oder der Aufbau von Supercomputern zur Nutzung im System Bahn bieten die Plattform für Anwendungen, die mit heutigen Ressourcen nicht umsetzbar wären. Ein Beispiel für die zukünftige Nutzung ist die Echtzeitprognose für Zugfahrten in einem großen Bereich oder sogar der kompletten Infrastruktur.

### **Digitaler Zwilling**

Beim digitalen Zwilling handelt es sich um die Erstellung eines digitalen Abbildes eines real existierenden Objektes. Ein Digitaler Zwilling besteht aus drei Komponenten: das reale Objekt, das digitale (virtuelle) Abbild sowie der Daten- und Kommunikationsverbindung zwischen beiden Objekten.

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten der Anwendung. Im einen Fall wird zunächst ein virtuelles Bild eines real noch nicht existierenden Objektes erstellt. Diese Anwendung findet man im Industrie 4.0-Bereich bei der Vorab-Simulation der Produktion von Gegenständen, d. h. das virtuelle Objekt dient als digitaler Prototyp. Bei der anschließenden, realen Produktion werden die digitalen Daten des virtuellen Objektes verwendet und an die Produktionsmaschinen geschickt.

Im umgekehrten Fall wird von einem bereits real existierenden Objekt ein digitales Abbild erstellt. Diese Vorgehensweise kann verwendet werden, um z. B. das Verhalten des Objektes in einem System zu steuern.

Beide Vorgehensweisen können im Bereich von Transportsystemen Anwendung finden: Die eine Vorgehensweise bei der Konstruktion von Fahrzeugen mit bestimmten Eigenschaften, die zweite zur Steuerung des in Betrieb befindlichen Transportsystems. Unabhängig davon, ob das reale Objekt bereits existiert oder nicht, kann ein virtuelles Objekt zur Unterstützung von Training und Ausbildung verwendet werden. Ein Beispiel, welches schon eingesetzt wird, ist der Flug-Simulator in der Ausbildung von Fluglotsen und Piloten.

### **Mensch-Maschine-Interaktion**

Mensch-Maschine-Interaktion beschreibt wie Mensch und Maschine über eine Benutzerschnittstelle kommunizieren und interagieren. Diese Schnittstelle kann beispielsweise ein Schalter, eine Maus, die Tastatur oder ein Touchscreen sein, aber auch Sprach- oder Gestenerkennung. Bei Technologien zur Steuerung wird zwischen direkter und automatischer Steuerung unterschieden. Bei direkter Steuerung ist eine aktive Aktion des Menschen erforderlich, beispielsweise Tippen auf einen Touchscreen oder verbaler Befehl per Sprachsteuerung. Über text- oder sprachbasierte Chatbots kann der Mensch in Interaktion mit der Maschine treten, die ihm Fragen aus einer Wissensdatenbank beantwortet oder Arbeitstätigkeiten durch das Bereitstellen von Prozessdaten oder Protokollieren von Vorgängen unterstützt. Bei automatischer Steuerung hingegen werden die Bedürfnisse und Absichten ohne aktive Interaktion des Menschen vom System erfasst und entsprechende adaptive Anpassungen vorgenommen. Ein Beispiel ist das automatische Umschalten von Ampeln je nach Verkehrsaufkommen. Manche Technologien der Mensch-Maschine-Interaktion fokussieren sich anstatt auf Steuerung auf die Unterstützung der menschlichen Wahrnehmung, wie zum Beispiel Virtual-Reality-Brillen (Infineon Technologies, 2018).

### **Augmented und Virtual Reality**

Augmented und Virtual Reality setzen sich als Technologietrend immer mehr durch und werden in anderen Branchen bereits verwendet. Die Automobilbranche nutzt diese Technologien für verschiedene Anwendungen, beginnend mit der Konzeptionierung neuer Prototypen, über Wartung, virtuelle Ausstellungs- und Verkaufsräume bis hin zur Navigation im Head-Up-Display (Lucas, 2017).

Auch im Bereich der Bahn gibt es bereits erste Anwendungen für Augmented Reality. Am Hauptbahnhof von Shanghai wird Augmented Reality vom Personal genutzt, welche mit Hilfe von Smart Glasses Überfüllungen erkennen und entsprechende Maßnahmen einleiten können. Am Hauptbahnhof Zürich wird Passagieren auf ihren Smartphones Augmented Reality als Wegweiser angeboten, mit deren Hilfe sie sich einfacher orientieren können sollen. Hauptsächlicher Einsatz ist bisher die Reisendenstromlenkung an stark überfüllten Orten. Weitere Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich bei der Infrastrukturplanung und -instandhaltung, Safety Management oder Aus- und Weiterbildung des Personals (Ferrari, 2020).

### **Automated Personal Assistant**

Im herkömmlichen Sinn versteht man unter Personal Assistant eine Person, die einer andere Person individuelle Dienste anbietet. Aufgaben eines Personal Assistants sind typischerweise das tägliche Terminmanagement oder die Organisation von Veranstaltungen. Aus diesem Begriff abgeleitet ist die Bezeichnung für die hier betrachtete Technologie, der sogenannte Automated Personal Assistant. Dies beinhaltet eine intelligente Software-Lösung, die einem Benutzer bestimmte Dienste anbietet und dabei auch auf Umgebungsinformationen reagiert.

Hier kann man zwei Formen von Automated Personal Assistants unterscheiden. Bei der ersten Form erfolgt, ähnlich wie beim Personal Assistant realer Personen, eine Reaktion auf die Frage nach bestimmten Diensten des Benutzers. Sie werden auch als Intelligent Assistants bezeichnet, da sie eine Art Intelligenz besitzen, auf bestimmte Hinweise antrainierte Reaktionen zu zeigen. Die zweite, fortentwickelte Form, sogenannte Smart Personal Assistants, reagieren ohne Anweisungen des Benutzers auf Vorgänge in der

Umgebung, z. B. den Erhalt zugesandter Daten. Letztgenannte Form ist vorwiegend für das autonome Fahren von Bedeutung.

### **Neuromorphic Hardware**

Neuromorphe Hardware ist vom menschlichen Gehirn inspiriert und basiert auf einer speziellen Rechnerarchitektur, welche die Struktur neuronaler Netze widerspiegelt. Hierbei wird die Funktionsweise durch dedizierte Verarbeitungseinheiten direkt in der Hardware nachempfunden. Diese Einheiten sind über ein physisches Verbindungsnetz (Bus-Systeme) verbunden, welches für einen schnellen Informationsaustausch sorgt. Erforscht wird diese Technologie im Zusammenhang mit autonomen Fahrzeugen (Fraunhofer IIS, 2021).

### **3D-Druck**

3D-Druck-Technologien werden immer fortgeschrittener und ermöglichen dadurch die Herstellung von Teilen in allen möglichen Branchen. Ihr größter Vorteil ist die Zeit- und Kosteneinsparung bei der Herstellung von Prototypen. In der Automobilindustrie werden zudem Teile wie Reifen (bei HRE Wheels) oder Bremssattel (bei Bugatti) per 3D-Druck hergestellt. Genauso könnte 3D-Druck zur Produktion von Prototypen, aber auch zur schnellen Erzeugung von Ersatzteilen genutzt werden (Guggenberger, 2019).

### **Biometrische Personenerkennung**

Auch beim automatisierten Betrieb von Fahrzeugen und sonstigen Infrastrukturen sind regelmäßig noch menschliche Interaktionen notwendig. Gerade beim Fernzugriff ist es wichtig, dass nur autorisierte Personen Zugriff auf das System erlangen und bestimmte Aktionen ausführen können. Hier bietet sich zur Autorisierung die biometrische Personenerkennung an, bei der sich eine Person, im konkreten Fall der Benutzer des Systems, durch personengebundene, sogenannte biometrische Merkmale ausweist. Diese Merkmale haben gegenüber anderen Kenndaten, wie z. B. PINs oder Passwörtern, den Vorteil, dass man sie nicht verlieren, vergessen oder an andere Personen weitergeben kann. Inzwischen ist eine Vielzahl biometrischer Erkennungsverfahren im Einsatz. Es werden zwei grundlegende Arten von biometrischen Merkmalen unterscheiden. Feststehende physikalische Merkmale sind beispielweise Fingerabdrücke, Gesichts- oder Irisbilder. Andere Verfahren basieren auf Verhaltensmerkmalen, die nur bei einer bestimmten Benutzer-Aktion in Erscheinung treten, z. B. Sprache oder dynamische Unterschriftenmerkmale, wie Druck oder Schreibgeschwindigkeit.

Bei der Benutzer-Registrierung (Enrolment) werden die biometrischen Daten mit geeigneten Sensoren aufgenommen und in digitalisierter Form als sogenannte Referenzdaten gespeichert. Bei der späteren Benutzer-Erkennung werden die biometrischen Daten erneut aufgenommen und mit den Referenzdaten verglichen. Im Falle einer Übereinstimmung innerhalb vordefinierter Toleranzgrenzen gilt der Benutzer als der Inhaber der gespeicherten Daten erkannt.

Grundsätzlich werden zwei Arten der biometrischen Personenerkennung unterschieden: Bei der sogenannten Identifikation werden die aktuell aufgenommenen Daten gegen eine Datenbank von Referenzdaten abgeglichen, um herauszufinden, um welche Person es sich handelt. Dieser Erkennungsmodus kommt überall dort zum Einsatz, wo es um die Feststellung der Identität von Personen geht. Beim Zugriffsschutz für Systeme, d. h. bei der Erkennung berechtigter Benutzer, wird dagegen meist eine sogenannte Verifikation durchgeführt; hier erfolgt ein 1-1-Vergleich gegen einen einzelnen Referenzdatensatz, um zu prüfen, ob es sich wirklich um die berechtigte Person handelt, der die Referenzdaten zugeordnet sind.

Die biometrische Benutzer-Erkennung ist im Automotive-Bereich bereits bei elektronischen Wegfahrsperren sowie bei personalisierten Fahrzeugeinstellungen im Einsatz.

### Open Data

Die Bereitstellung und der Austausch von Daten jeglicher Art wird künftig zunehmend an Bedeutung gewinnen. Durch das Zusammenführen und Auswerten von Daten aus mehreren Quellen kann ein Mehrwert für Betreiber sowie Kunden entstehen, wie es allen voran große Tech-Firmen wie Google/Alphabet heute schon demonstrieren. Die Deutsche Bahn hat bereits damit begonnen, verschiedene Datensätze und APIs über ihre Infrastruktur maschinenlesbar zur Verfügung zu stellen<sup>29</sup>. Diese oder ähnliche Formen von Datenaustausch zwischen Akteuren der Bahnindustrie bilden die Grundlage für einige künftige Anwendungsfälle, die für einen einzigen Akteur sonst nicht realisierbar wären.

## 4.3 Trends und Standards aus der Automotive-Industrie

Zahlreiche Technologien, die in der Automotive-Industrie bekannt sind, wurden bereits in den Abschnitten 4.1 und 4.2 vorgestellt und ihre Bedeutung für den Schienenverkehr diskutiert. In diesem Abschnitt werden darüber hinaus das Konsortium AUTOSAR und die Automatisierungslevels aus dem Automotive-Bereich beschrieben.

### AUTOSAR

AUTOSAR<sup>30</sup> ist ein Konsortium aus verschiedenen Herstellern und akademischen Partnern aus dem Automotive-Umfeld. Gemeinsame Ziele der Partner des Konsortiums sind die effiziente Nutzung von Architekturen mit dem Austausch von Software-Modulen sowie die Schaffung von Standards für Software-Architekturen.

Zu Beginn wurde zunächst die AUTOSAR Classic Platform (CP)-Architektur entwickelt mit dem Ziel der Schaffung eingebetteter Systeme mit Echtzeit-Anforderungen. Mit den zunehmend komplexer werdenden Anwendungsfeldern im Automotive-Bereich entstand später die AUTOSAR Adaptive Platform (AP)-Architektur, welche auch stärker auf externe Kommunikation ausgerichtet ist. Die AP arbeitet mehr serviceorientiert als signalbasiert und ermöglicht die dynamische Einbindung von Diensten zur Laufzeit von Anwendungen.

Einer der wesentlichen Fortschritte der AP gegenüber der CP liegt in der sicheren On-Board-Kommunikation. Für die CP steht nur das spezielle Secure Onboard Communication (SecOC)-Protokoll auf der Sicherungsschicht (OSI-Layer 2) zur Verfügung (AUTOSAR, 2020); es ist multicast-fähig, unterstützt aber keine Verschlüsselung. Für das Kommunikationsmanagement der AP (AUTOSAR, 2020) steht dagegen auch eine Absicherung auf höheren Schichten mittels Internet Protocol Security (IPSec) und Transport Layer Security (TLS) zur Verfügung.

### Automatisierungslevels der Society of Automotive Engineers (SAE)

Für das autonome Fahren hat die Society of Automotive Engineers (SAE), eine Vereinigung von Unternehmen im Bereich Automobiltechnik (heute genannt SAE International) eine Skala von Automatisierungsstufen (sogenannte SAE-Levels) entwickelt.

---

<sup>29</sup> <https://data.deutschebahn.com/>

<sup>30</sup> [www.autosar.org](http://www.autosar.org)

Die Skala umfasst sechs Stufen:

- In der Stufe 0 – keine Automatisierung – übernimmt der menschliche Fahrer allein alle Aktionen.
- In Stufe 1 – Fahrerassistenz – übernimmt ein Fahrerassistenzsystem bestimmte Grundfunktionen, wie Beschleunigen, Lenken und Bremsen. Die sonstigen Funktionen des dynamischen Fahrens übernimmt weiterhin der menschliche Fahrer.
- Bei der Teilautomatisierung – Stufe 2 – kommen weitere Funktionen, wie z. B. Notbrems- und Spurhalteassistenten, dazu und ermöglichen eine erweiterte Nutzung der Fahrerassistenz aus Stufe 1.
- Die Stufe 3 beinhaltet eine Teilautomatisierung, bei der ein autonomes Fahrsystem die Steuerung des Fahrzeuges übernimmt. Der Fahrer muss jedoch noch immer in der Lage sein, nach gewissen Aufforderungen selbst aktiv in den Fahrvorgang einzugreifen.
- Bei der Hochautomatisierung – Stufe 4 – arbeitet das autonome Fahrsystem in zahlreichen Fahrsituationen selbständig ohne menschliches Handeln des Fahrers.
- Die Stufe 5 der Vollautomatisierung erweitert die Stufe der Hochautomatisierung auf alle Fahrsituationen unter allen denkbaren Umwelteinflüssen.

Der aktuelle Stand der Technik befindet sich bei der Stufe 2 der Teilautomatisierung. Nach Aussage von Experten, die im Rahmen der Heinz-Böckler-Studie (Roos & Siegmann, 2020) befragt wurden, ist mit der bedingten Automatisierung (Stufe 3) ab Mitte der 2020er-Jahre zu rechnen. Die Stufe 4 der Hochautomatisierung ist ab 2045, die Stufe 5 der Vollautomatisierung ab 2050 zu erwarten.

Die Skala der Automatisierungslevels nach SAE weist starke Ähnlichkeiten mit den GoA-Levels (Grade of Automation) im Bahnbereich (siehe Abschnitt 4.1 zu ATO) auf.

### **Automatisierungsstufen nach VDA**

Der deutsche Verband der Automobilindustrie (VDA) verwendet für die Automatisierungsstufen beim autonomen Fahren ein einfacheres Schema mit weniger Stufen (siehe auch hierzu (Roos & Siegmann, 2020)):

Wie bei SAE gibt es zunächst die Stufe 0 ohne jede Automatisierung. Die Stufe 1 – assistiertes Fahren – erlaubt dem Fahrer bereits Nebentätigkeiten während des Fahrens, er muss das Fahrzeug jedoch noch selbst beherrschen können. Beim automatisierten Fahren – Stufe 2 – übernimmt das technische System bereits alle Fahraufgaben, der Fahrer muss jedoch noch auf Aufforderungen zum Eingreifen reagieren. Die Stufe 3 beinhaltet bereits das autonome Fahren ohne jeglichen menschlichen Eingriff durch einen Fahrer.

Der VDA rechnet bereits mit einer Realisierbarkeit der Stufe 3 des autonomen Fahrens ab Mitte der 2020er-Jahre, sofern die rechtlichen Rahmenbedingungen erfüllt sind.

## 5 Anwendungsfälle

In diesem Abschnitt werden die im Rahmen von Workshops identifizierten Technologien in der Form von Anwendungsfällen („Use Cases“) dargestellt und dokumentiert. Diese zeigen, wie die neuen Technologien eingesetzt werden könnten, in welchen bahnspezifischen Prozessen diese eine Rolle spielen, wie die Schnittstellen zwischen den Systemen gestaltet sein können und wie diese gegenseitig interagieren. Die Anwendungsfälle setzen die identifizierten Technologien in den Bezug zur aufgestellten Definition des Systems Bahn und zeigen so ihre Anwendbarkeit und Zusammenhänge auf. Dabei ist es naheliegend, dass mehrere Technologien genutzt werden können, um einen Anwendungsfall zu erstellen. Gleichzeitig können Anwendungsfälle auch durch unterschiedliche Technologien oder Technologiekombinationen realisiert werden. Umgekehrt können Technologien auch bei der Realisierung verschiedener Anwendungsfälle zum Einsatz kommen.

Eine wichtige Rolle in künftigen IT-Sicherheitskonzepten für das System Bahn wird der Schutz der erhobenen und ausgetauschten Daten spielen. Daher ist es bereits in der Technologieprognose wichtig, auf die Beziehungen zwischen den Komponenten des Systems Bahn einzugehen und ihren Bedarf an Informationsaustausch abzuschätzen. Zu diesem Zweck betrachten wir in den Anwendungsfällen die Semantik des Informationsaustausches und analysieren den ausgetauschten Informationstyp sowie die Richtung des Informationsflusses zwischen den beteiligten Personen und Systemen.

Die Anwendungsfälle skizzieren mögliche Einsatzfelder der identifizierten Technologien, um deren Potential für das System Bahn aufzuzeigen. Der Detailgrad der Beschreibung ist auf dem notwendigen Abstraktionslevel, um später eine IT-Sicherheitsbetrachtung der Technologien vornehmen zu können. Die genaue technische Umsetzung und der exakte Umfang der Implementierung eines Anwendungsfalles in der Zukunft bleibt unberücksichtigt, da dies nicht von Relevanz für die Abschätzung der Sicherheitskonzepte ist. Insofern beschreiben die Anwendungsfälle maximale Ausbaustufen, die künftig ganz, nur in Teilen oder möglicherweise gar nicht umgesetzt werden.

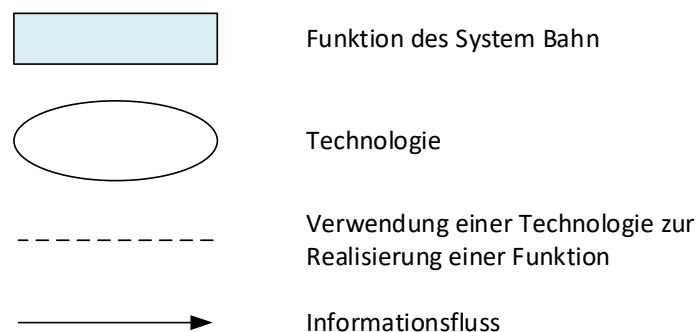


Abbildung 5: Legende der Anwendungsfälle



## 5.1 Cloud-Stellwerk (Private Cloud)

Die Anwendung „Cloud-Stellwerk“ ist in Abbildung 6 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an. In Tabelle 1 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

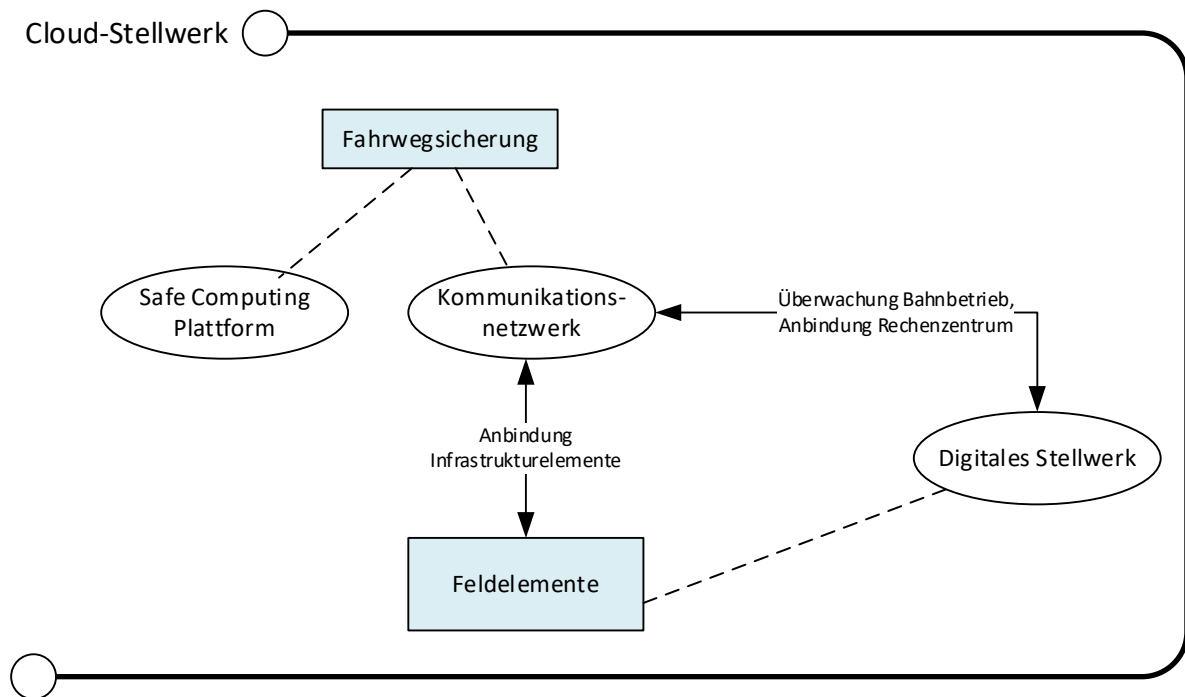


Abbildung 6: Anwendungsfall „Cloud-Stellwerk“

TABELLE 1: ANWENDUNGSFALL „CLOUD-STELLWERK“

Titel:	Cloud-Stellwerk
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Fahrwegsicherung Signale und Gleisfreimeldeanlagen Bahnübergänge
Betroffene Nutzer:	Fahrdienstleiter Triebfahrzeugführer
Beschreibung (User Story):	Die Zentralisierung der Stellwerke wird bis hin zum zentralen Cloud-Stellwerk (Private Cloud) fortgeführt, das in der Lage ist, die gesamte Infrastruktur aus einem einzigen Rechenzentrum zu kontrollieren. Das Cloud-Stellwerk wird als Dienstleistung für Infrastrukturunternehmen angeboten. Für kleinere Netze ist dieser Service möglicherweise attraktiver, als selbst in Technologie und Know-how für wenige Stellwerke zu investieren.

	Das Cloud-Stellwerk setzt eine sichere („safe“) Plattform und Kommunikationstechnik zwischen Rechenzentrum und Infrastruktur (Feldelemente) voraus. Vorteile ergeben sich aus der zentralen Wartung, Verfügbarkeit von Ersatz-Ressourcen, Standardkomponenten (COTS) und dem zentralen Einsatz von Personal.	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrwegsicherung	Safe Computing Plattform	Die Stellwerkslogik wird in einem Rechenzentrum zentralisiert, das entsprechend der heutigen (verteilten) Stellwerke hohe Sicherheitsanforderungen (Safety) erfüllen muss, die grundsätzlich durch eine „Safe Computing Plattform“ bereitgestellt wird.
Fahrwegsicherung	Kommunikationsnetzwerk	Hochverfügbares Kommunikationsnetzwerk (drahtgebunden oder drahtlos), dass die gesamte Infrastruktur (ggf. landesweit) abdeckt, um die Kommunikation zwischen Feldelementen, Safe Computing Plattform und Bedienplätzen sicherzustellen.
Feldelemente	Digitales Stellwerk	Das Cloud-Stellwerk setzt die Digitalisierung der Feldelemente-Anbindung voraus (Object Controller), sodass Stellbefehle über weite Entfernungen übermittelt werden können.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Cloud-Stellwerk – Kommunikationsnetz	Rechenzentrumsseitige Anbindung an das Kommunikationsnetzwerk.	
Kommunikationsnetz – Feldelemente	Anbindung der ortsfesten Infrastrukturelemente zur Überwachung und Steuerung von Zugfahrten. Zu den Feldelementen zählen heute Signale, Weichen, Gleisfreimeldeanlagen und Bahnübergänge. Mit fortschreitender Digitalisierung (siehe weitere Anwendungsfälle) entfallen möglicherweise die Signale und streckenseitige Gleisfreimeldung (bereits mit ETCS L3).	
Kommunikationsnetz – Bedienplatz	Anbindung der Bedienplätze des Cloud-Stellwerkes für Personal, wie Fahrdienstleiter und Disponenten zur Überwachung und Steuerung des Bahnbetriebs.	

## 5.2 Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren

Die Anwendung „Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren“ ist in Abbildung 7 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

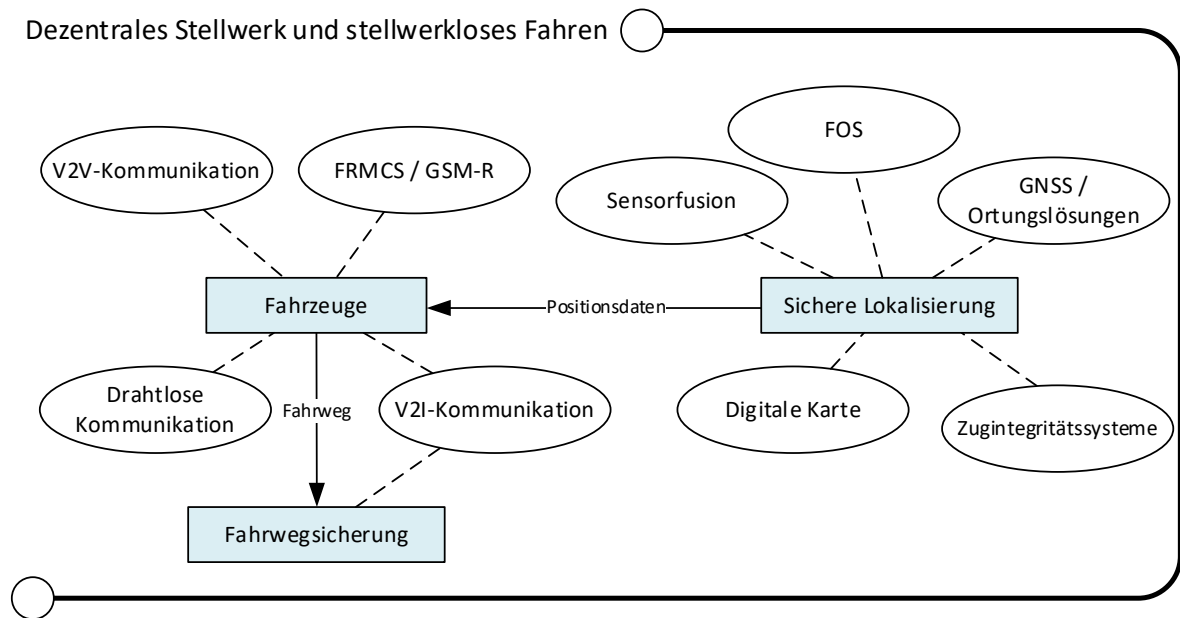


Abbildung 7: Anwendungsfall „Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren“

Die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

TABELLE 2: ANWENDUNGSFALL „DEZENTRALES STELLWERK UND STELLWERKLOSES FAHREN“

Titel:	Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Fahrwegsicherung Sichere Lokalisierung
Betroffene Nutzer:	Triebfahrzeugführer
Beschreibung (User Story):	Die zur Fahrwegsicherung erforderlichen Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturelementen (Gleisbelegung, Weichenstellung) wird vollständig dezentralisiert, sodass herkömmliche Stellwerke nicht mehr für die Fahrwegsicherung erforderlich sind. Stattdessen reservieren Fahrzeuge den gewünschten Fahrweg direkt in der Infrastruktur (V2I-Kommunikation) inkl. der notwendigen Weichenlage oder die Fahrzeuge stimmen sich per Direktverbindung (V2V-Kommunikation) über den Fahrweg ab. Zur Kommunikation mit anderen Fahrzeugen oder Infrastrukturelementen sind Mobilfunktechnologien, wie 5G und dessen Nachfolger genauso möglich, wie FRMCS.

	Zur sicheren Lokalisierung sowie Streckenplanung ist es notwendig, mittels Globaler Navigationssysteme (GNSS) oder anderen neuartigen Methoden die Positionen von Zügen und Infrastrukturelementen (Weichen, Bahnhöfe etc.) exakt zu bestimmen. Weiterhin werden diese Positionen auf der digitalen Karte gespeichert / verfolgt.	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrwegsicherung	V2V-Kommunikation	Die Fahrzeuge kommunizieren untereinander, um die Reservierung von Fahrwegelementen auszuhandeln.
Fahrwegsicherung	V2I-Kommunikation	Das Fahrzeug kommuniziert mit der Infrastruktur, um Fahrwegelemente für eine sichere Zugfahrt zu reservieren und Weichen für den gewünschten Laufweg zu stellen.
Sichere Lokalisierung	Digitale Karte	Zur sicheren Lokalisierung und Abstimmung über den Fahrweg ist eine genaue und vertrauenswürdige digitale Infrastrukturkarte als Referenz notwendig, um die von einem gewünschten Fahrweg betroffenen Infrastrukturelemente identifizieren zu können.
Sichere Lokalisierung	GNSS Ortungslösungen Sensorfusion	Die Position des Fahrzeuges auf der digitalen Karte muss hinreichend genau festgestellt werden können.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Fahrzeug – Fahrzeug	Abstimmung der Reservierung von Fahrwegelementen für den gewünschten Laufweg.	
Fahrzeug – Weiche	Stellen der Weiche für den vom Fahrzeug gewünschten Laufweg.	

## 5.3 Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz

Die Anwendung „Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz“ ist in Abbildung 8 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

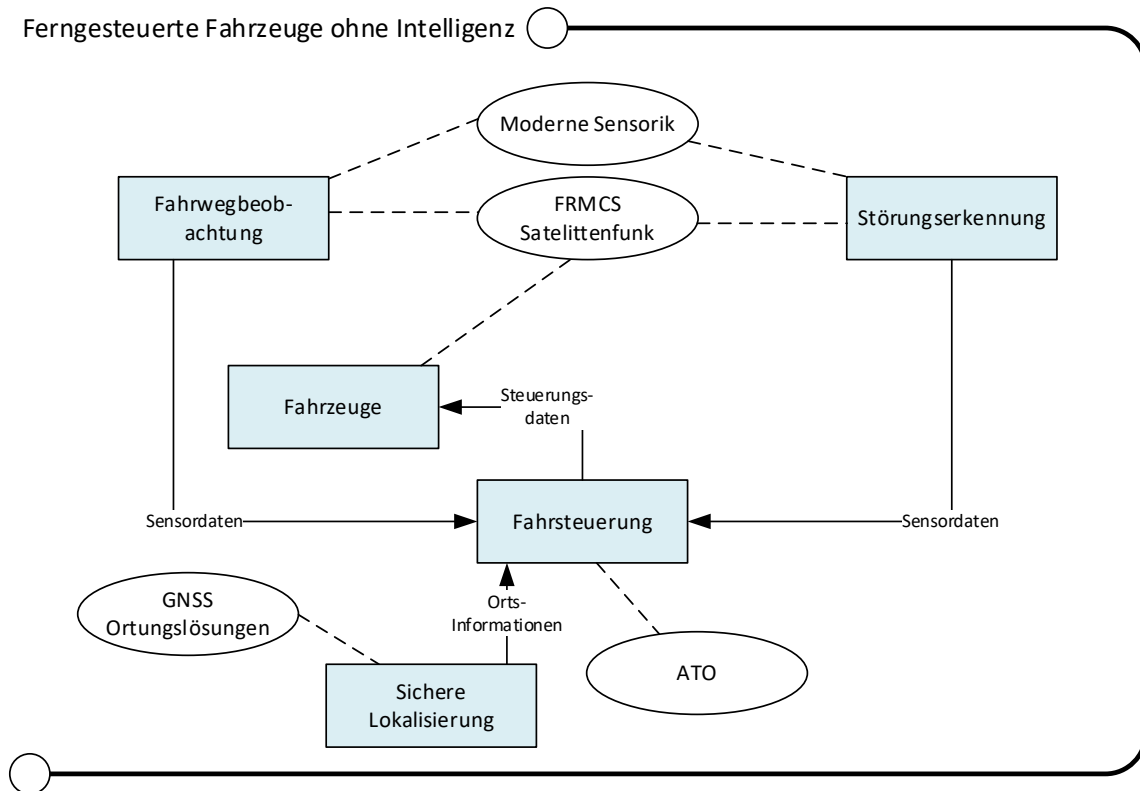


Abbildung 8: Anwendungsfall „Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz“

Tabelle 3 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 3: ANWENDUNGSFALL „FERNGESTEUERTE FAHRZEUGE OHNE INTELLIGENZ“

<b>Titel:</b>	Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Zugfahrten, Rangierfahrten Fahrwegbeobachtung, Kollisionserkennung Sichere Lokalisierung Störungserkennung im Fahrzeug
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Fahrdienstleiter Disponenten

Beschreibung (User Story):	Um den beschränkten Platz auf den Fahrzeugen bestmöglich für den Transport von Passagieren oder Fracht zur Verfügung zu stellen, werden die Fahrzeuge mit so wenig Technik wie möglich ausgestattet. Dies kann darauf hinauslaufen, dass das Fahrzeug auf die notwendige Sensorik reduziert wird und darüber hinaus keinerlei weitere Technik und Intelligenz verbaut ist. Das Fahrzeug wird aus einer Betriebszentrale ferngesteuert oder fährt vollautomatisiert den Fahrplan ab. Voraussetzung für dieses Szenario ist eine hoch verfügbare drahtlose Kommunikationsmöglichkeit zwischen Fahrzeug und Betriebszentrale entlang aller möglichen Fahrwege. Diese kann beispielsweise über FRMCS bereitgestellt werden und muss die notwendige Bandbreite bieten, um die umfangreichen Sensordaten an die Betriebszentrale und Steuerdaten an das Fahrzeug zu übertragen. Durch die Zentralisierung der Fernsteuerung können Probleme durch Lenkzeitüberschreitung reduziert werden, da die Ablösung von Triebfahrzeugführern in einer Zentrale einfacher gehandhabt werden kann, als verteilt entlang der Strecke.	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrwegbeobachtung	Moderne Sensorik	Z. B. Kameras, Lidare, Radare oder Ultraschallsensoren erstellen ein digitales Abbild des Fahrweges, um die Prüfung auf Hindernisse automatisiert zu ermöglichen.
Störungserkennung	Moderne Sensorik	Die Fahrzeugsensorik muss in der Lage sein, Störungen zu erkennen und zu beheben, die heute durch das Zugpersonal behandelt werden.
	FRMCS Satellitenfunk	Übertragung der Sensor- und Aktuatordaten zwischen Fahrzeug und Betriebszentrale.
Fahrsteuerung	ATO	Siehe auch: Anwendungsfall ATO
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Fahrzeug – Betriebszentrale	Übertragung der Sensordaten zur Betriebszentrale und der Steuerinformation zum Fahrzeug.	

## 5.4 Steuernder Durchgriff der Disposition

Die Anwendung „Steuernder Durchgriff der Disposition“ ist in Abbildung 9 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

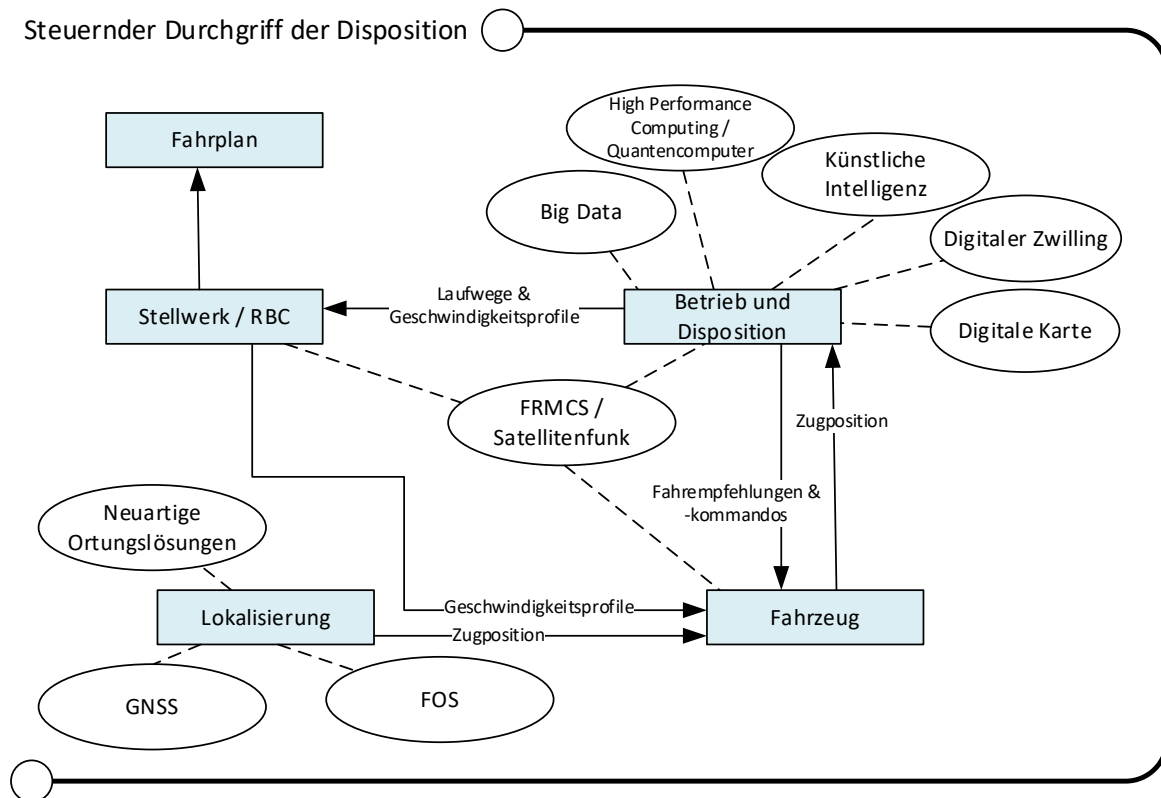


Abbildung 9: Anwendungsfall „Steuernder Durchgriff der Disposition“

In der Tabelle 4 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 4: ANWENDUNGSFALL „STEUERNDER DURCHGRIFF DER DISPOSITION“

Titel:	Steuernder Durchgriff der Disposition
Referenzen:	Automatisiertes Störmanagement Capacity Traffic Management System Echtzeitoptimierung Anpassung der Zugfrequenz und Zuglänge
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Disposition bei Störungen Störungserkennung (Infrastruktur) Konflikterkennung und Beseitigung
Betroffene Nutzer:	Disponenten Triebfahrzeugführer

<p>Beschreibung (User Story):</p>	<p>Die Disposition in der Betriebszentrale nutzt standardisierte Schnittstellen, um dispositive Eingriffe unmittelbar durchzuführen. In der Betriebszentrale werden anhand eines digitalen Zwillings des Bahnsystems präzise Prognosen erstellt, die auf dem aktuellen Zustand des Bahnsystems basieren. Zur Erstellung und Optimierung der Prognose für das gesamte Netzwerk in Echtzeit ist eine hohe Rechenleistung erforderlich, die künftig durch Quantencomputer oder Exascale Computing bereitgestellt werden kann. Die daraus resultierenden schnellen und flexiblen Anpassungsmöglichkeiten ermöglichen das kurzfristige Buchen von Ad-hoc-Trassen „on-the-fly“, sodass freie Kapazitäten ausgenutzt werden können. Außerdem kann dynamisch und kurzfristig auf den aktuellen Transportbedarf (z. B. wartende Fahrgäste) durch den Einsatz zusätzlicher Fahrzeuge (Zugfrequenz) oder Fahrzeuge mit höherer Kapazität (Zuglänge) reagiert werden. Die durch die Disposition vorgesehenen Maßnahmen werden unmittelbar in Form von Geschwindigkeitsprofilen und Fahrwegen an die Fahrzeuge, Stellwerke und RBCs übermittelt, sodass sie schnellstmöglich umgesetzt werden können.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
<p>Funktion</p>	<p>Technologie</p>	<p>Beschreibung der Anwendung</p>
<p>Disposition bei Störungen</p>	<p>Quantencomputer High Performance Computing</p>	<p>Echtzeitprognosen für die Auswirkungen auf das gesamte Bahnsystem übersteigen die Rechenkapazität heutiger Systeme. Durch Quantencomputer könnten künftig die Berechnungen parallelisiert werden, sodass eine Prognose in hinreichend kurzer Zeit möglich ist. Auch mit gesteigerter Rechenkapazität (High Performance Computing) lassen sich künftig räumliche Beschränkungen in der Prognose erweitern sowie der Detailgrad für präzisere Vorhersagen erhöhen.</p>
<p>Disposition bei Störungen</p>	<p>Big Data Künstliche Intelligenz</p>	<p>Die Historie der Systemzustände, abgebildet im Digitalen Zwilling stellt eine große Datensammlung dar (Big Data) mit deren Hilfe die Prognosen zur Disposition verbessert werden können.  Hierzu kommen Algorithmen des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz in Frage, um Nutzen aus der Datensammlung zu ziehen und die große Menge handhabbar zu machen.</p>
	<p>Digitale Karte</p>	<p>Für den Digitalen Zwilling wird eine präzise Karte benötigt, die die Infrastruktur, Entfernungen, Steigungen, Signalstandorte und weitere Infrastrukturdetails abbildet.</p>
	<p>FRMCS Satellitenfunk</p>	<p>Kommunikation zwischen Betriebszentrale und Fahrzeugen.</p>



	Digitaler Zwilling	Detaillierte Abbildung des aktuellen Zustands der Infrastruktur mit aktueller Position und Geschwindigkeit aller Züge. Der digitale Zwilling muss ebenso die Fahrzeugeigenschaften (z. B. Beschleunigungs- und Bremsvermögen, Höchstgeschwindigkeit usw.) enthalten. Veränderliche Daten werden kontinuierlich aktualisiert, sodass stets Prognosen auf Basis des echten, aktuellen Zustandes möglich sind.
Lokalisierung	GNSS FOS Neuartige Ortungslösungen	Zur Befüllung des digitalen Zwillings mit genauen Positionsdaten wird eine präzise Ortung benötigt.
Fahrplanerstellung		Anhand der ermittelten Laufwege und Geschwindigkeitsprofile wird der Fahrplan erstellt oder gegebenenfalls aktualisiert.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Betriebszentrale – Fahrzeug	Übermittlung von Echtzeit-Positionsdaten aller Fahrzeuge zur Betriebszentrale. Übermittlung von Fahrempfehlungen oder Fahrkommandos an Fahrzeuge.	
Betriebszentrale – Stellwerk/RBC	Übermittlung von Laufwegen und Geschwindigkeitsprofilen (Fahrplänen) für Fahrzeuge an Stellwerke und RBCs.	
Stellwerk/RBC – Fahrzeug	Übermittlung der Geschwindigkeitsprofile an die Fahrzeuge.	

## 5.5 Intermodale Reisekette

Die Anwendung „Intermodale Reisekette“ ist in Abbildung 10 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

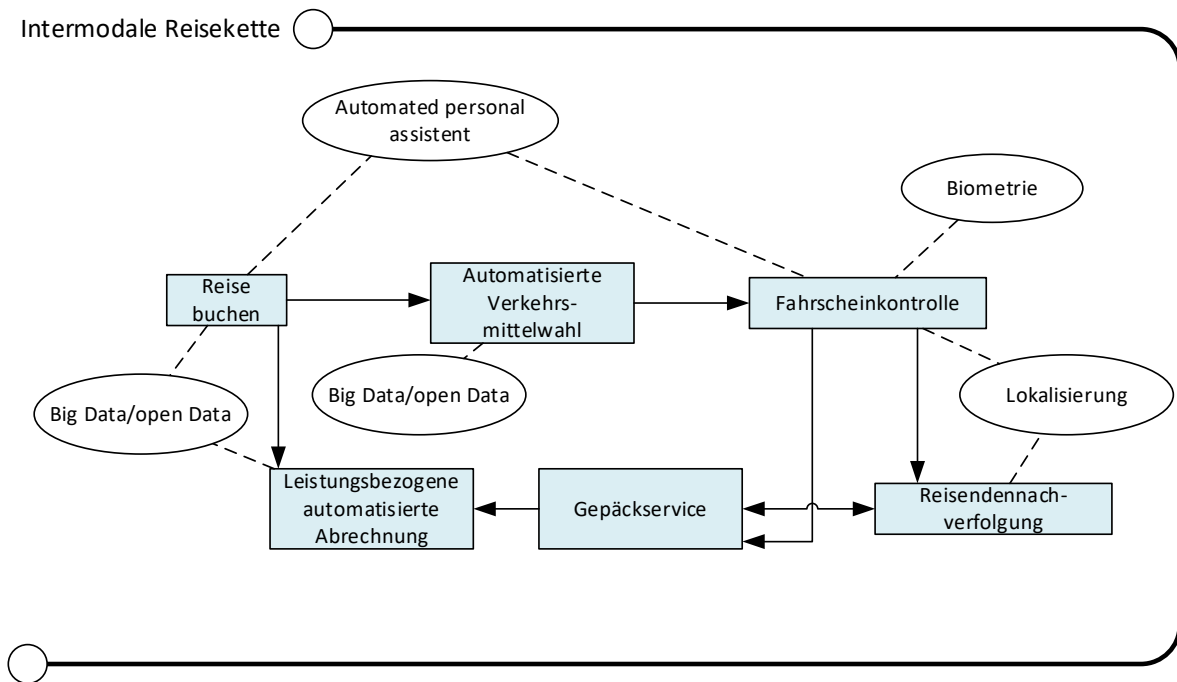


Abbildung 10: Anwendungsfall „Intermodale Reisekette“

In der Tabelle 5 sind die User Story, sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 5: ANWENDUNGSFALL „INTERMODALE REISEKETTE“

<b>Titel:</b>	Intermodale Reisekette
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Reisende
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Reisende
<b>Beschreibung (User Story):</b>	Mobilität ist bereits im Wandel und wird in Zukunft auf eine Dienstleistung hinauslaufen, welche für eine bestimmte Reise nicht nur auf ein einziges Verkehrsmittel zurückgreift. Reisende möchten trotz der Nutzung mehrerer Verkehrsmittel nicht jedes einzeln buchen. Daher ist es notwendig, dass Mobilitätsdienstleister ihre Daten teilen, um eben eine solche intermodale Reise als ein Gesamtpaket anbieten zu können, welche auch nur einmal und an einer Stelle bezahlt wird. Die Anteile könnten durch Smart Contracts und Kryptowährungen an die jeweiligen Dienstleister verteilt werden. Vor allem für Reisen, welche Zug und Flugzeug enthalten, sollte es möglich sein, nur einen Check-In auszuführen. Hierbei können Automated Personal Assistants helfen. Zudem können diese

	<p>ebenfalls die nötigen Daten im Grenzverkehr weiterleiten. Durch den Einsatz von Biometrie können sogar Personenkontrollen durchgeführt werden. Durch globale Ortungstechnologien oder drahtlose Kommunikation für kurze Distanzen, wie Bluetooth oder NFC, kann das Betreten und Verlassen eines Verkehrsmittels registriert werden, was eine kontaktlose Fahrscheinkontrolle ermöglicht. Durch den Einsatz von Roboterassistenten könnte auch die automatische Gepäckweitergabe zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln umgesetzt werden.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Reise buchen	Big Data/Open Data	Um eine intermodale Reise zur Verfügung zu stellen, muss der Informationsaustausch verschiedener Mobilitätsdienstleister gewährleistet sein.
Reise buchen	Automated Personal Assistant	Reisende haben die Möglichkeit über einen Automated Personal Assistant eine Reise zu buchen, welche ihre Präferenzen (kürzeste/schnellste/umweltfreundlichste Strecke) entspricht, und dabei nicht nur auf ein Verkehrsmittel zurückgreift.
Fahrscheinkontrolle	Automated Personal Assistant	Durch einen Check-In am Smartphone/Automated Personal Assistant ist es möglich die Fahrscheinkontrolle nur einmal durchführen zu müssen. Dies ist bereits zuhause oder am Start der Reise möglich. Die Funktion kann durch Lokalisierung unterstützt werden.
Fahrscheinkontrolle	Biometrie	Sofern eine Identifikation des Reisenden erforderlich ist, beispielsweise in Kombination mit einem Flug oder bei Grenzübertritt, kann diese mit Hilfe von Biometrie-Messgeräten erfolgen.
Leistungsbezogene, automatisierte Abrechnung	Smart Contracts/Kryptowährung	Das Entgelt für die verschiedenen Mobilitätsdienstleister wird mittels Smart Contracts automatisch verteilt.
Gepäckservice	Roboterassistenten	Roboterassistenten können das Gepäck von Reisenden einer intermodalen Reise automatisch zum nächsten Verkehrsmittel transportieren.
Reisende nachverfolgen	GNSS, drahtlose Kommunikationsnetzwerke	Durch globale Ortungssysteme oder drahtlose Kommunikationsnetzwerke, wie Bluetooth oder NFC, können Reisende nachverfolgt werden und ihre Anschlüsse vorgemeldet oder optimiert werden.

Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
Servicezentrum – Betriebszentrum	Abfrage der Reiseinformationen.
Smartphone – Zug	Autorisierung des Fahrgastes durch Erkennung eines persönlichen Gerätes.
Zug – Rechenzentrum	Abgleich der Fahrscheindaten und Bereitstellung von Rechenleistung.
Automated Personal Assistant – Servicezentrum	Abfrage der Reiseinformationen sowie Buchung von Tickets, Plätzen oder Serviceangeboten.
Servicezentrum – Externes Rechenzentrum/Externe Cloud	Weitergabe der Reiseinformationen an Dritte (andere Verkehrsdienstleister, Reisevermittler).
Roboterassistenten – Servicezentrum	Buchung eines Roboterassistenten für Gepäckservice. Servicezentrum übermittelt die Daten der Buchung an den Roboter.
Roboterassistenten – Smartphone	Buchung eines Roboterassistenten für Gepäckservice.

## 5.6 Intermodale Güterabfertigung

Die Anwendung „Intermodale Güterabfertigung“ ist in Abbildung 11 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

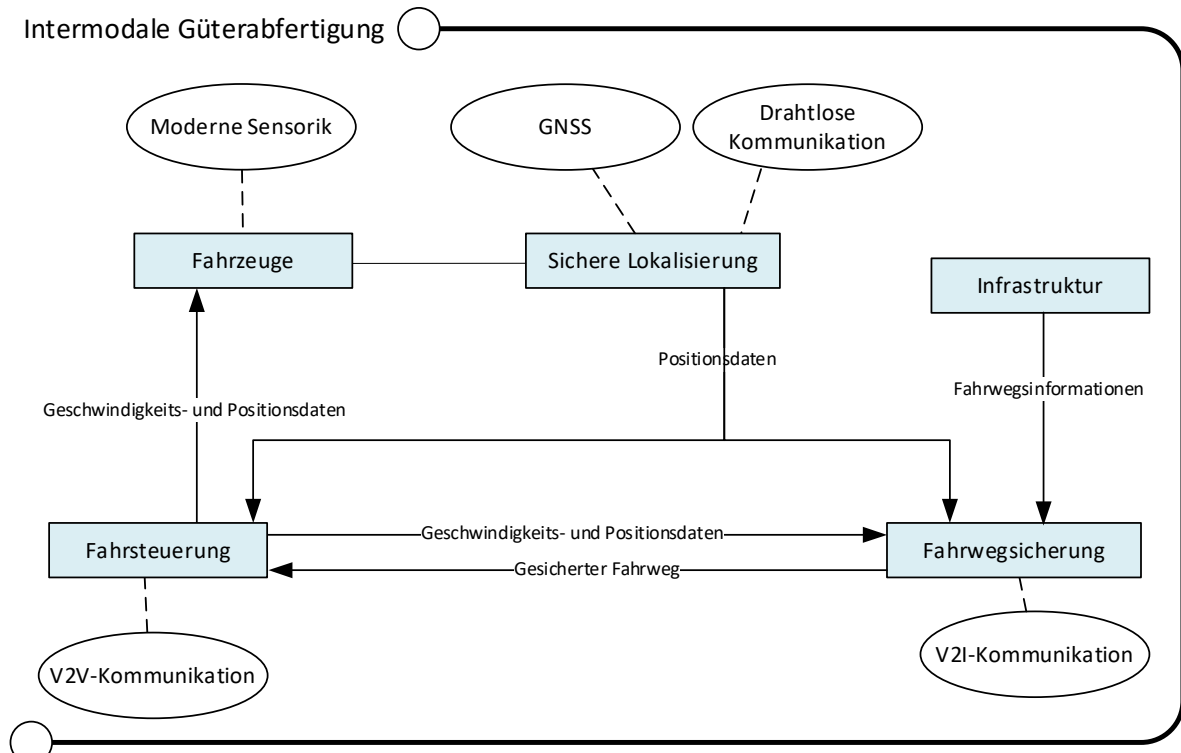


Abbildung 11: Anwendungsfall „Intermodale Güterabfertigung“

Die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie sind in Tabelle 6 aufgeführt.

TABELLE 6: ANWENDUNGSFALL „INTERMODALE GÜTERABFERTIGUNG“

<b>Titel:</b>	Intermodale Güterabfertigung
<b>Referenzen:</b>	Intermodalität zwischen Verkehrssystemen Schiene und Straße verschmelzen Autonome Züge und Einzelwagen Virtuelles Kuppeln
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Güter transportieren Intermodale Abfertigung Innovative Antriebe
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Kunden Logistik/Fracht Rangierpersonal Disponenten

<p>Beschreibung (User Story):</p>	<p>Im Szenario der intermodalen Güterabfertigung wird die fortgeschrittene Integration verschiedener Verkehrsträger zum Gütertransport beschrieben. Über das virtuelle Kuppeln von Zügen hinaus könnten zukünftig Einzelwagen mit eigenem Antrieb zum Transport von standardisierten Containern (bspw. Wechselbrücken oder ISO-Container) verwendet werden. Die Einzelwagen sind sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene (Zweiwege-LKW) oder künftig in anderen spurgebunden Verkehrssystemen, wie dem Hyperloop, einsetzbar. Der Übergang zwischen den Systemen erfolgt an definierten Punkten, wie z. B. Bahnhöfen. Auf der Straße, im Hyperloop und auf der Schiene werden die Einzelwagen zu größeren logischen Verbänden zusammengefasst (Platooning bzw. virtuelles Kuppeln) und legen so größere Distanzen unter besserer Ausnutzung der Infrastruktur zurück. Je nach Verkehrsträger lässt sich ein fahrerloses, ferngesteuertes oder sogar autonomes Konzept umsetzen. Mit Hilfe von V2I- und V2V-Kommunikation zur Synchronisation der Geschwindigkeiten und Position ist auch das Herauslösen und Einfügen einzelner Wagen aus dem Verbund während der Fahrt möglich, sodass die verbleibenden Wagen ohne Verzögerung die Fahrt fortsetzen können. Leistungsstarke Multicopter vorausgesetzt, ist auch der Übergang zum Lufttransport (ggf. sogar während der Fahrt) möglich.</p> <p>Die Steuerung der Infrastruktur und Koordination der Fahrten kann wie im Anwendungsfall „Stellwerkloses Fahren“ oder „Cloud-Stellwerk“ erfolgen und wird in diesem Szenario nicht weiter betrachtet.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
<p>Funktion</p>	<p>Technologie</p>	<p>Beschreibung der Anwendung</p>
<p>Güter transportieren</p>	<p>Güterzug Güter-Einzelwagen Hyperloop Multicopter Zweiwege-LKW</p>	<p>Unterschiedliche Verkehrsträger für den intermodalen Gütertransport.</p>
<p>(Sichere) Lokalisierung</p>	<p>GNSS</p>	<p>Für das Platooning bzw. virtuelle Kuppeln erforderliche Positionsbestimmung der Wagen.</p>
<p>Fahrzeuge</p>	<p>Moderne Sensorik</p>	<p>Erkennung von Abständen bei virtuell gekuppelten Transporteinheiten.</p>
<p>Zugfahrten Fahrsteuerung</p>	<p>V2V-Kommunikation Drahtlose Kommunikation (z. B. WLAN)</p>	<p>Kommunikationstechnologie zur Synchronisation von Geschwindigkeit und Position zwischen den Fahrzeugen.</p>
<p>Fahrwegsicherung</p>	<p>V2I-Kommunikation</p>	<p>Einstellung des Fahrweges beispielsweise beim Lösen oder Einfügen in einen Fahrzeugverbund.</p>

Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
Fahrzeug – Fahrzeug	Gegenseitiger Informationsaustausch zur Durchführung des virtuellen Kuppelns bzw. Platoonings und zur Überwachung des ordnungsgemäßen Zustandes während der Fahrt.
Fahrzeug – Multicopter	Gegenseitiger Informationsaustausch zur Übergabe der Frachteinheit.
Fahrzeug – Infrastruktur	Informationsaustausch zum Festlegen des Fahrweges und zur Durchführung von Übergängen zwischen den Verkehrsträgern.
Leitsysteme	Zur Durchführung der Übergänge zwischen Verkehrsträgern ist ein Austausch zwischen den jeweiligen Leitsystemen notwendig, um den Übergang anzukündigen oder die Annahme eines weiteren Fahrzeuges zu bestätigen.

## 5.7 Virtuelles Kuppeln für HGV und Güter

Die Anwendung „Virtuelles Kuppeln für HGV und Güter“ ist in Abbildung 12 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

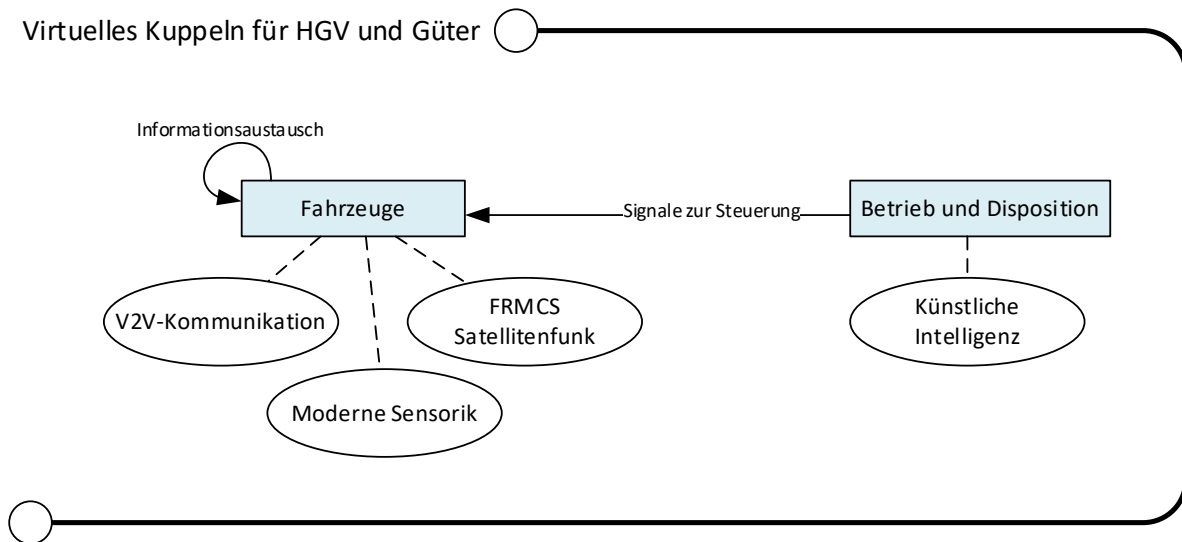


Abbildung 12: Anwendungsfall „Virtuelles Kuppeln für HGV und Güter“

In der Tabelle 7 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 7: ANWENDUNGSFALL „VIRTUELLES KUPPELN FÜR HGV UND GÜTER“

Titel:	Virtuelles Kuppeln für Personen- und Güterverkehr
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Fahrzeuge Betrieb und Disposition
Betroffene Nutzer:	Disponenten Triebfahrzeugführer Fahrdienstleiter
Beschreibung (User Story):	Sowohl im Personenverkehr als auch im Güterverkehr hat man es mit Transporteinheiten zu tun, welche eine gewisse Strecke gemeinsam zurücklegen, dann aber getrennt werden und zu unterschiedlichen Zielen weiterfahren bzw. von unterschiedlichen Startpunkten kommen und unterwegs zusammengekuppelt werden. Ein Güterzug besteht häufig aus Wagons mit unterschiedlichen Start- und Zielpunkten. Aber auch im Personenverkehr gibt es zweigeteilte Züge, welche unterwegs getrennt oder zusammengesetzt werden. Das Kuppeln und Trennen verschiedener Transporteinheiten geschieht bislang auf mechanischem Weg und kann in der Regel nur bei Stillstand erfolgen, was dann zu Zeitverzögerungen beim Transportweg führt.



	<p>Beim virtuellen Kuppeln wird auf die o. g. mechanische Verbindung verzichtet und die Transporteinheiten werden stattdessen mit entsprechenden Steuerungen versehen, so dass sie vorbestimmte Strecken gemeinsam hintereinander herfahren und an vorbestimmten Stellen auf getrennte Wege geleitet werden. Der Vorgang des virtuellen Kuppelns soll dabei während der Fahrt erfolgen, so dass kein extra Zwischenstopp zum An- und Abkuppeln von Transporteinheiten mehr notwendig ist.</p> <p>Moderne Personenzüge, auch im HGV, bieten hier gute Voraussetzungen, da sie meist aus Triebzügen ohne separate Lokomotive bestehen. Verschiedene Zugteile bestehen dann aus selbständigen Triebzügen und können unabhängig voneinander weiterfahren. Im Güterverkehr ist die Realisierung des virtuellen Kuppelns derzeit noch eine größere Herausforderung, da man hier einzelne Güterwagons mit eigener Intelligenz und eigenen Antrieben ausstatten oder aber einem Güterzug mehrere Triebfahrzeuge beifügen muss.</p>	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrzeuge	V2V-Kommunikation	Triebfahrzeuge führen virtuelle Kupplungsvorgänge durch.
Fahrzeuge	FRMCS Satellitenfunk	Triebfahrzeuge empfangen Signale von der Betriebszentrale zur Durchführung virtueller Kupplungsvorgänge.
Fahrzeuge	Moderne Sensorik	Erkennung und Regulierung von Abständen bei virtuell gekuppelten Transporteinheiten
Betrieb und Disposition	KI-gestützte Disposition	Optimale Planung und Zusammenstellung von Fahrten mit virtuellen Kupplungsvorgängen
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Fahrzeug - Fahrzeug	Gegenseitiger Informationsaustausch zur Durchführung des virtuellen Kuppelns und zur Überwachung des ordnungsgemäßen Zustandes während der Fahrt.	
Fahrzeug - Betriebszentrale	Sendung der Signale zur Steuerung virtueller Kupplungen von der Betriebszentrale an das Fahrzeug	

## 5.8 Automatisierte Planung und Planprüfung

Die Anwendung „Automatisierte Planung und Planprüfung“ ist in Abbildung 13 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

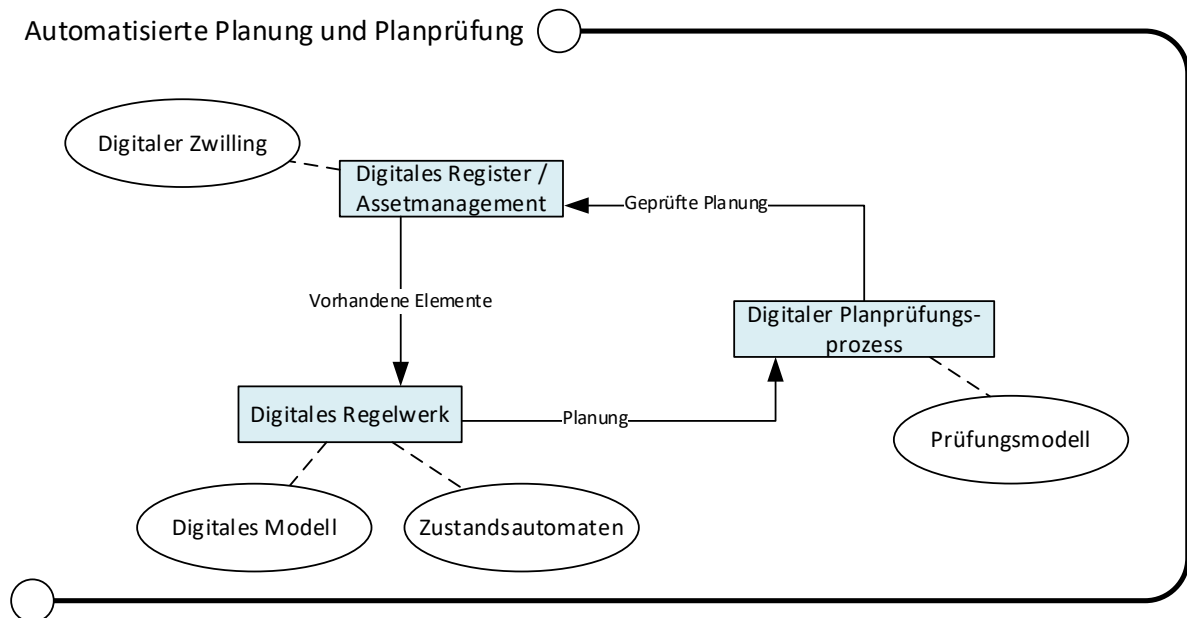


Abbildung 13: Anwendungsfall „Automatisierte Planung und Planprüfung“

In der Tabelle 8 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 8: ANWENDUNGSFALL „AUTOMATISIERTE PLANUNG UND PLANPRÜFUNG“

Titel:	Automatisierte Planung und Planprüfung
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Digitaler Zwilling Digitale Regelwerke
Betroffene Nutzer:	Kunde
Beschreibung (User Story):	Planungsprozesse laufen heute auf Basis von Regelwerken ab, welche in Prosa geschrieben sind. Die Planung erfolgt durch qualifizierte Planer. Die Planprüfung erfolgt durch qualifizierte Planprüfer. In beiden Arbeitsschritten bestehen Interpretationsmöglichkeiten durch die nicht durchgehenden formellen Beschreibungen der Regelwerke.  Eine vollständige, logische Abbildung der Planungsregelwerke in logischen Zusammenhängen (Mathematik, Verknüpfungen) ermöglicht die Ermittlung der besten und formal richtigen Lösung. Konflikte zu Zieldefinitionen können detektiert werden. Danach können Lösungen vorgeschlagen werden. Die Planung erfolgt vollständig digital. Manuelle Eingriffe erfolgen auch im System mit nachfolgender Auswirkungsprüfung.

	<p>Der gleiche Prozess kann auf die Planprüfung angewendet werden. Für die Prüfung werden andere logische Zusammenhänge verwendet, um die Unabhängigkeit zu gewährleisten und einen „logischen Kurzschluss“ zu vermeiden.</p> <p>Der automatisierte Planungs- und Planprüfungsprozess ermöglicht eine schnelle Prüfung von Umsetzungsvarianten und kurzfristige Umsetzung von Baumaßnahmen, wenn die entsprechenden Baustoffe verfügbar sind. Zusammen mit einer durchgehenden Toolkette zu Behörde und Lieferanten werden Missverständnisse, zeitliche Verzögerungen usw. vermieden.</p>	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Digitales Register/ Assetmanagement	Digitaler Zwilling	Alle bereits vorhandenen Elemente werden im digitalen Register bzw. Assetmanagement mit ihren jeweiligen Verknüpfungen aufgeführt. Dies gilt als Referenz.
Digitales Regelwerk	Digitales Modell/ Zustandsautomaten	Das Planungsregelwerk wird in ein digitales Modell mit Zustandsautomaten überführt und dabei optimiert. Doppelungen und Widersprüche werden entfernt. Das Modell ist in der Lage, eine Planungsanforderung aufzunehmen und mindestens eine Lösung zu ermitteln.
Digitaler Planprüfungsprozess	Prüfungsmodell	Die Regeln der Planungsregelwerke sind hier nicht von der gestaltenden Seite, sondern von der Schutzseite bzw. Zielseite abgebildet. Es wird damit überprüft, ob die Planung die Anforderungen des sicheren, konfliktfreien und optimierten Verkehrs ermöglichen. Die Planprüfung erfolgt voll automatisiert und unabhängig von der Planung.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Bestandsdaten digital/ Digitaler Zwilling	Digitales Abbild des Ist-Standes des Systems	
Umgebende Planungs- werke	Die Planung der LST hat Abhängigkeiten zu anderen Gewerken. Es sollen alle Planungsprozesse digitalisiert werden, um einen durchgehenden Planungsprozess unter Einbindung aller Schnittstellen zu ermöglichen. Vom Unterbau über Schiene und LST bis zur Oberleitung und den verkehrlichen und bahnbetrieblichen Aufgabenstellungen, die dem zu Grunde liegen.	

## 5.9 Reise- und Lebensmanagement

Die Anwendung „Reise- und Lebensmanagement“ ist in Abbildung 14 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

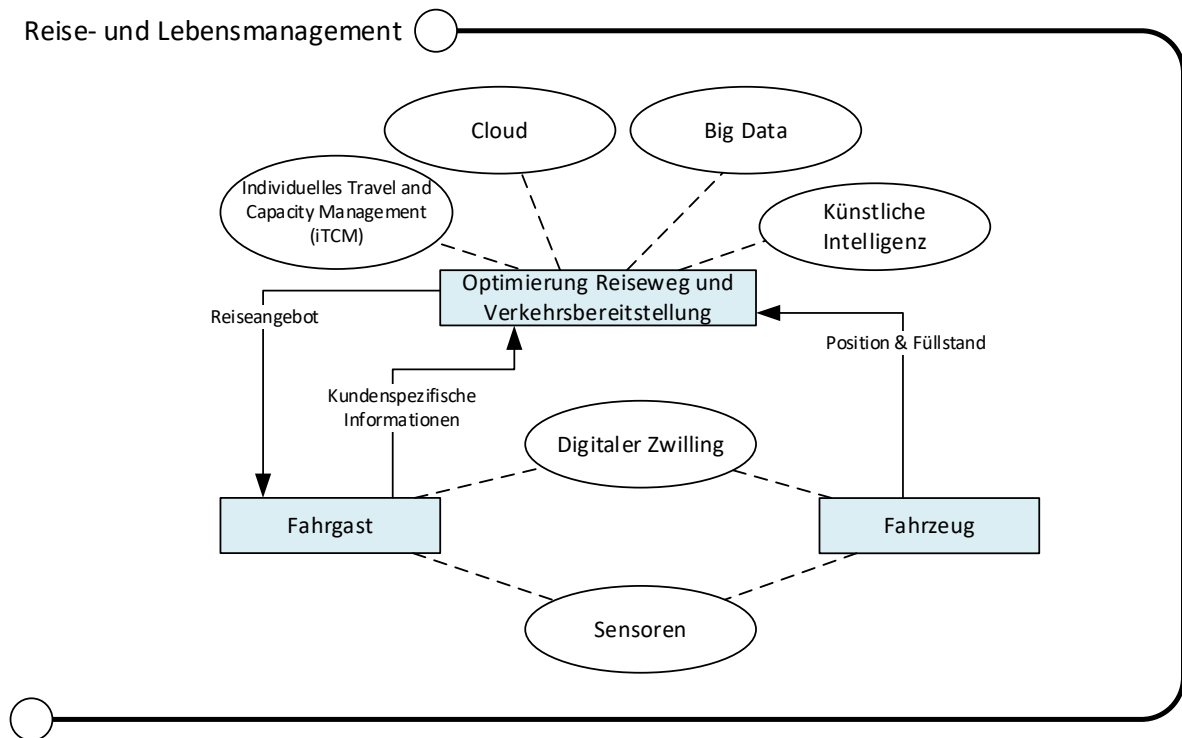


Abbildung 14: Anwendungsfall „Reise- und Lebensmanagement“

In der Tabelle 9 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 9: ANWENDUNGSFALL „REISE- UND LEBENSMANAGEMENT“

Titel:	Reise- und Lebensmanagement
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Verfügbares Reiseangebot (freie Sitzplätze, Verbindungen) Digitaler Zwilling System Bahn Digitaler Zwilling „Kunde“ Bewegungs- und Verhaltensmuster „Kunde“
Betroffene Nutzer:	Kunde
Beschreibung (User Story):	Alle Verkehrsmittel stehen heute in einer konkurrierenden Situation. Einen Vorteil erhält der Anbieter, der in der Lage ist, die Auswahl des Mittels zu steuern. Wege werden heute durch Apps, wie Google Maps vorgegeben. In die Zukunft hat die Bahn die Möglichkeiten, durch das Angebot vernetzter Verkehrsmittelwahl eine Dienstleistung für eine Ende-zu-Ende Begleitung des Kunden anzubieten. Mit dieser Möglichkeit können einerseits bevorzugt öffentliche Verkehrsmittel angeboten werden.

	<p>Insbesondere ist aber die Optimierung der öffentlichen Verkehrsmittel hinsichtlich Fahrzeiten und Kapazitäten möglich, so dass die Nachteile der starren Taktung vermindert werden. Letzte-Meile-Angebote über Carsharing, autonom fahrende Taxis, Fahrrad usw. ergänzen das Angebot. Grundlage ist eine vollständige digitale Abbildung des Verkehrs und des Kunden. Die Kombination erlaubt die vorherige Berechnung des optimalen Weges unter Berücksichtigung kundenspezifischer Anforderungen (Aufstehzeit, Gehgeschwindigkeit, Gang zum Bäcker etc.). Es entsteht ein individualisierter Reiseplan, der alle Gewohnheiten des Individuums berücksichtigt.</p>	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Virtuelles Abbild der Verkehrsmittel	Digitaler Zwilling	Es wird ein digitales Abbild des realen Verkehrs erarbeitet. Dies umfasst alle Verkehrsmittel von Fahrrad bis Flugzeug, beginnend beim Zugverkehr. Die Daten werden über entsprechende Sensorik zur Verfügung gestellt. Sensoren können hier auch Datenbanken und Vorhersagemodelle einzelner Verkehrsträger sein, die in dem digitalen Zwilling aggregiert werden.
Virtuelles Abbild des Kunden individuell	Digitaler Zwilling	Es wird ein digitales Abbild jedes Kunden erstellt. Die Bereitstellung der Daten erfolgt durch den erlaubten Zugriff auf eine Vielzahl von digitalen Fußabdrücken von Kartenabrechnung, über Ticketkauf, GNSS-Verfolgung, Zugriff auf Terminkalender etc.
Optimierung Reiseweg und Verkehrsbereitstellung	<p>Individuelles Travel and Capacity Management (iTCM)</p> <p>Cloud</p> <p>Big Data</p> <p>KI</p>	Die Verknüpfung der digitalen Zwillinge Verkehr und Kunde erfolgen durch das iTCM, das in erster Linie die Aufgabe hat, dem Kunden die bestmögliche Verbindung für den voraussichtlichen Tagesablauf vorzuschlagen und auf individuelle Eingaben zu reagieren. In der zweiten Instanz werden die Daten aller Kunden aggregiert und zur Optimierung der Angebotsplanung im Verkehr vorgenommen. Für einige Verkehrsarten können „On-Demand“-Services unterstützt bzw. gefördert werden.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
„Sensoren“ in allen Verkehrsmitteln	Entnahme von Daten aus den aktuellen Orten und Füllständen von Verkehrsmitteln.	
„Sensoren“ beim Kunden	Anbindung der verfügbaren Datenquellen des Kunden	

## 5.10 Güterwegemanagement

Die Anwendung „Güterwegemanagement“ ist in Abbildung 15 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

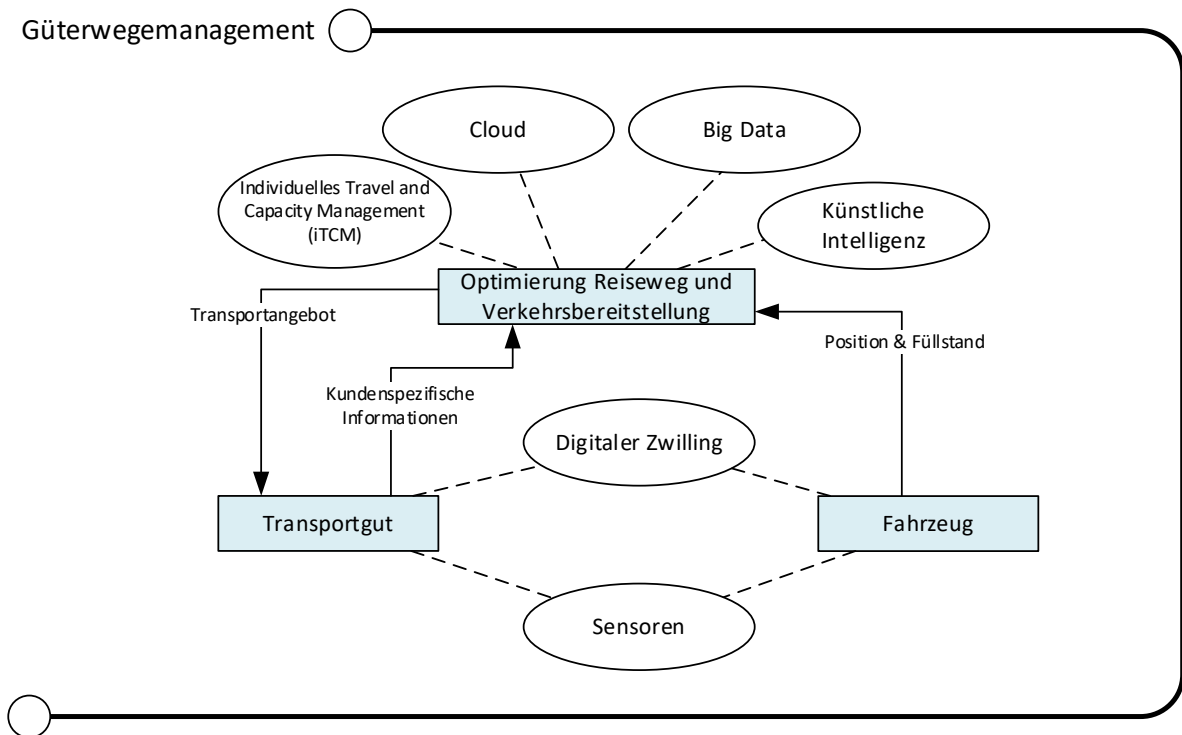


Abbildung 15: Anwendungsfall „Güterwegemanagement“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 9).

TABELLE 10: ANWENDUNGSFALL „GÜTERWEGEMANAGEMENT“

Titel:	Güterwegemanagement
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Güter verfolgen Güter transportieren Digitaler Zwilling System Bahn Digitaler Zwilling „Kunde“ Bewegungs- und Verhaltensmuster „Kunde“
Betroffene Nutzer:	Kunde (Logistik)
Beschreibung (User Story):	Alle Verkehrsmittel stehen heute in einer konkurrierenden Situation. Vorteil erhält der Anbieter, der in der Lage ist, die Auswahl des Mittels zu steuern. Wege werden heute durch Apps, wie Google Maps vorgegeben. Für die Zukunft hat die Bahn die Möglichkeiten, durch das Angebot vernetzter Verkehrsmittelwahl eine Dienstleistung für eine Ende-zu-Ende

	<p>Begleitung des Logistikkunden anzubieten. Mit dieser Möglichkeit können einerseits emissionsarme Transportwege bevorzugt werden, andererseits kann auch die Optimierung des Verkehrsweges nach benötigter Ankunftszeit, Kühlfähigkeit, Kritikalität für Verspätungen (Just-in-time-Anforderung) usw. berücksichtigt werden. Aus Sicht des Systems Bahn kann dann die vollständige Optimierung der verfügbaren Kapazitäten auf dem Schienennetz sowie mit verbundenen Verkehrsträgern, wie lokale Straßen- oder U-Bahnen erfolgen. Letzte-Meile-Angebote für die Lieferung an die notwendige Stelle kann für den in der Regel nicht vorhandenen Gleisanschluss durch autonom fahrende Straßenfahrzeuge oder, bei geringer Last, Drohnen bewerkstelligt werden. Grundlage ist eine vollständige digitale Abbildung des Verkehrs und der Kundenprozesse. Die Kombination erlaubt die vorherige Berechnung des optimalen Weges unter Berücksichtigung kundenspezifischer Anforderungen. Es entsteht ein individualisierter Reiseplan, der alle Anforderungen des Transportguts berücksichtigt.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
<p>Virtuelles Abbild der Verkehrsmittel</p>	<p>Digitaler Zwilling</p>	<p>Es wird ein digitales Abbild des realen Verkehrs erarbeitet. Dies umfasst alle Verkehrsmittel von Fahrrad bis Flugzeug, beginnend beim Zugverkehr. Die Daten werden über entsprechende Sensorik zur Verfügung gestellt. Sensoren können hier auch Datenbanken und Vorhersagemodelle einzelner Verkehrsträger sein, die in dem digitalen Zwilling aggregiert werden.</p>
<p>Virtuelles Abbild der Frachtstücke</p>	<p>Digitaler Zwilling</p>	<p>Es wird ein digitales Abbild der Frachtstücke oder Container erstellt. Die Bereitstellung der Daten erfolgt durch den erlaubten Zugriff auf eine Vielzahl von digitalen Fußabdrücken von Umweltsensoren, GNSS-Verfolgung, Zugriff auf Frachtbriefe etc.</p>
<p>Optimierung Reiseweg und Verkehrsbereitstellung</p>	<p>Individuelles Travel and Capacity Management (iTCM) Cloud Big Data KI</p>	<p>Die Verknüpfung der digitalen Zwillinge Verkehr und Kunde erfolgen durch das iTCM, das in erster Linie die Aufgabe hat dem Kunden die bestmögliche Verbindung unter Berücksichtigung der notwendigen Services Levels anzubieten oder sogar voll automatisch zu entscheiden und, bei Bedarf, auf individuelle Eingaben zu reagieren.</p>

Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
„Sensoren“ in allen Verkehrsmitteln	Entnahme von Daten aus den aktuellen Orten und Füllständen von Verkehrsmitteln.
„Sensoren“ beim Kunden	Anbindung der verfügbaren Datenquellen des Kunden



## 5.11 Kontaktlose Fahrscheinkontrolle

Die Anwendung „Kontaktlose Fahrscheinkontrolle“ ist in Abbildung 16 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

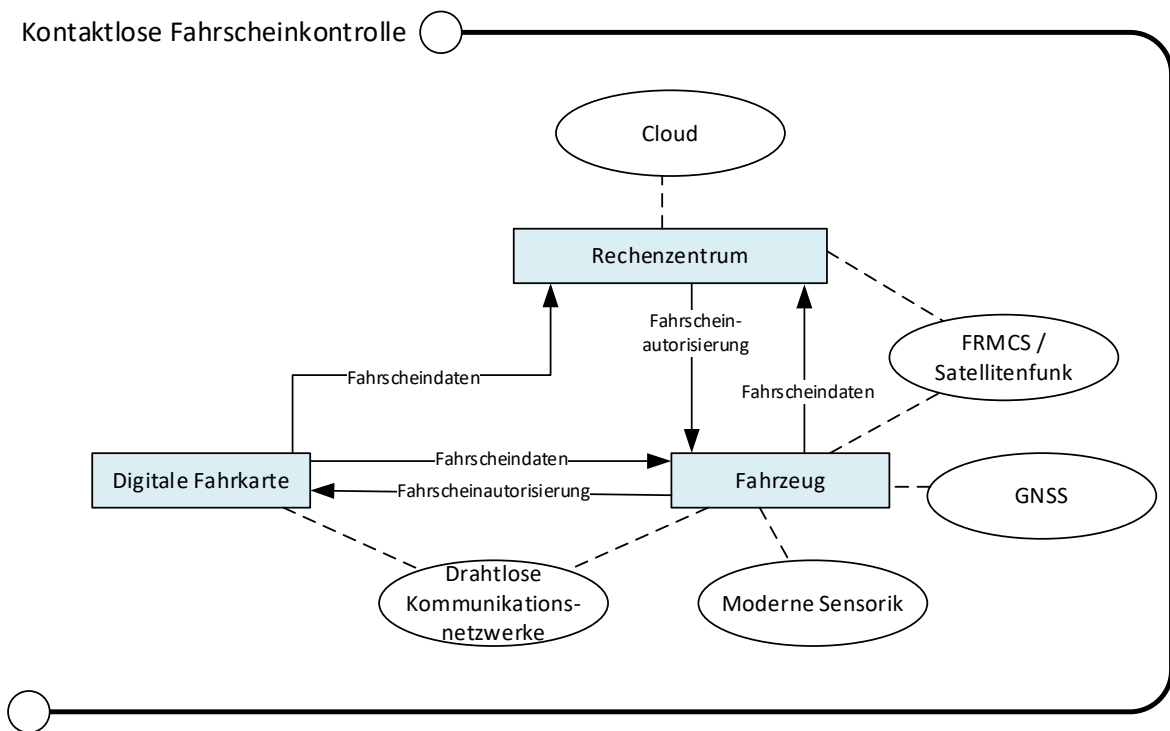


Abbildung 16: Anwendungsfall „Kontaktlose Fahrscheinkontrolle“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 11).

TABELLE 11: ANWENDUNGSFALL „KONTAKTLOSE FAHRSCHEINKONTROLLE“

Titel:	Kontaktlose Fahrscheinkontrolle
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Fahrscheinkontrolle Customer-Experience
Betroffene Nutzer:	Fahrgäste Zugpersonal
Beschreibung (User Story):	Das heute bereits mögliche Validieren des Fahrscheins durch den Fahrgast am eigenen Smartphone wird weiterentwickelt zu einer kontaktlosen Autorisierung des Fahrgastes ohne jegliche Interaktion mit dem Zugpersonal. Die manuelle Fahrscheinkontrolle des Fahrgastes soll auf ein Minimum reduziert werden oder bei geeigneten Techniken sogar komplett entfallen. Beim Betreten des Zuges wird der digitale Fahrschein erkannt. Die Erkennung kann dabei mit Hilfe von Geräten im Besitz des

	<p>Fahrgastes, wie ein Smartphone, geschehen. Durch drahtlose Kommunikation für kurze Distanzen (z. B. Bluetooth oder NFC) oder durch satellitenbasierte Ortung des Gerätes wird das Betreten und Verlassen des Zuges erkannt, sodass der digitale Fahrschein registriert werden kann. Dies erfordert einen Abgleich der Fahrscheindaten mit einer zentralen Stelle. Zur Kommunikation kommen hier FRMCS oder Satellitenfunk in Frage.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrscheinkontrolle	<p>Drahtlose Kommunikationsnetzwerke</p> <p>Moderne Sensorik (Kameras)</p>	<p>Erkennung des Fahrgastes durch persönliches Gerät (z. B. Smartphone, Smartwatch) oder Sensoren/Kameras</p>
Fahrscheinkontrolle	GNSS	<p>Ortung des Fahrgastes, um Betreten und Verlassen des Zuges zu erkennen (Geofencing).</p>
Fahrscheinkontrolle	Cloud	<p>Abgleich der Fahrscheindaten</p>
	<p>FRMCS</p> <p>Satellitenfunk</p>	<p>Bereitstellung breitbandiger Kommunikation zwischen Fahrzeug und Rechenzentrum.</p>
<p>Schnittstellen</p>		
Schnittstelle	Beschreibung	
Smartphone – Zug	<p>Autorisierung des Fahrgastes durch Erkennung eines persönlichen Gerätes.</p>	
Zug – Rechenzentrum	<p>Abgleich der Fahrscheindaten.</p>	
Fahrgast - Rechenzentrum	<p>Übermittlung der Fahrscheindaten durch Buchung.</p>	

## 5.12 Personenidentifizierung

Die Anwendung „Personenidentifizierung“ ist in Abbildung 17 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

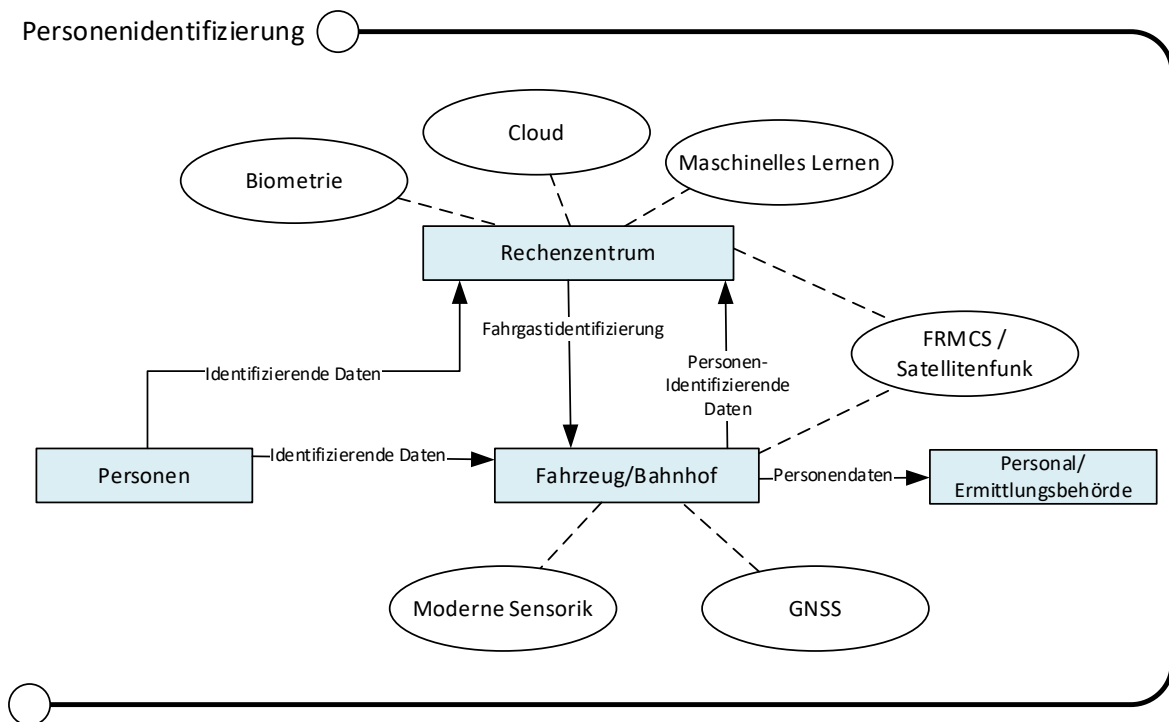


Abbildung 17: Anwendungsfall „Personenidentifizierung“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 12).

TABELLE 12: ANWENDUNGSFALL „PERSONENIDENTIFIZIERUNG“

Titel:	Personenidentifizierung
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Reisende nachverfolgen Gewaltprävention
Betroffene Nutzer:	Fahrgäste Personal
Beschreibung (User Story):	Einzelne Personen zu erkennen, kann aus verschiedenen Gründen von Nutzen sein. Zum einen kann dadurch das Verhalten einzelner Personen genauer analysiert werden, wodurch maßgeschneiderte Angebote möglich werden. Außerdem ermöglicht eine individuelle Verfolgung Mobilitätsnachfragen präziser zu ermitteln, um das Angebot bedarfsgerechter zu steuern.

	Zum anderen können auch Personen beim Ausführen krimineller Aktivitäten (z. B. Diebstahl, Gewalt, Fahren ohne Fahrkarte) sowie hilflose oder vermisste Personen erkannt und gezielt nachverfolgt werden. Mögliche Reaktionen beinhalten auch die Weitergabe dieser Daten an Sicherheits- oder Begleitpersonal sowie an Ermittlungsbehörden.	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Reisende nachverfolgen	Moderne Sensorik (Kameras)	Erkennung des Fahrgastes durch äußerliche Merkmale (z. B. Gesichtserkennung).
Reisende nachverfolgen	Maschinelles Lernen	Durch Algorithmen des maschinellen Lernens werden die individuellen Gesichtsmerkmale anhand von Kamerabildern extrahiert und zur Autorisierung des Fahrgastes mit einer Datenbank abgeglichen.
Reisende nachverfolgen	GNSS	Ortung des Fahrgastes, um Betreten und Verlassen des Zuges zu erkennen (Geofencing).
Personen identifizieren	Cloud	Durchführung von ressourcenintensiven Berechnungen (z. B. Gesichtserkennung)
Personen identifizieren	Biometrische Personenerkennung	Zur Erkennung des Fahrgasts anhand biometrischer Daten muss dieser in der Lage sein, diese Daten bereitzustellen. Weiterhin müssen die Daten im Rechenzentrum gespeichert werden.
	FRMCS Satellitenfunk	Bereitstellung breitbandiger Kommunikation zwischen Fahrzeug und Rechenzentrum.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Zug/Bahnhof – Rechenzentrum	Abgleich der Fahrgast-identifizierenden Daten und Bereitstellung von Rechenleistung.	
Fahrgast - Rechenzentrum	Bereitstellung und Übermittlung identifizierender Daten (z. B. biometrische Daten, Token) für spätere Authentifizierung.	
Zug/Bahnhof – Personal/Externe Ermittlungsbehörde	Teilen der Daten von Personen, welche wegen bestimmten Verhaltens (z. B. Diebstahl, Gewalt, Fahren ohne Fahrkarte) kontaktiert oder nachverfolgt werden müssen, mit dem entsprechenden Personal oder Ermittlungsbehörden.	

## 5.13 Reisendenlenkung durch den Bahnhof

Die Anwendung „Reisendenlenkung durch den Bahnhof“ ist in Abbildung 18 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

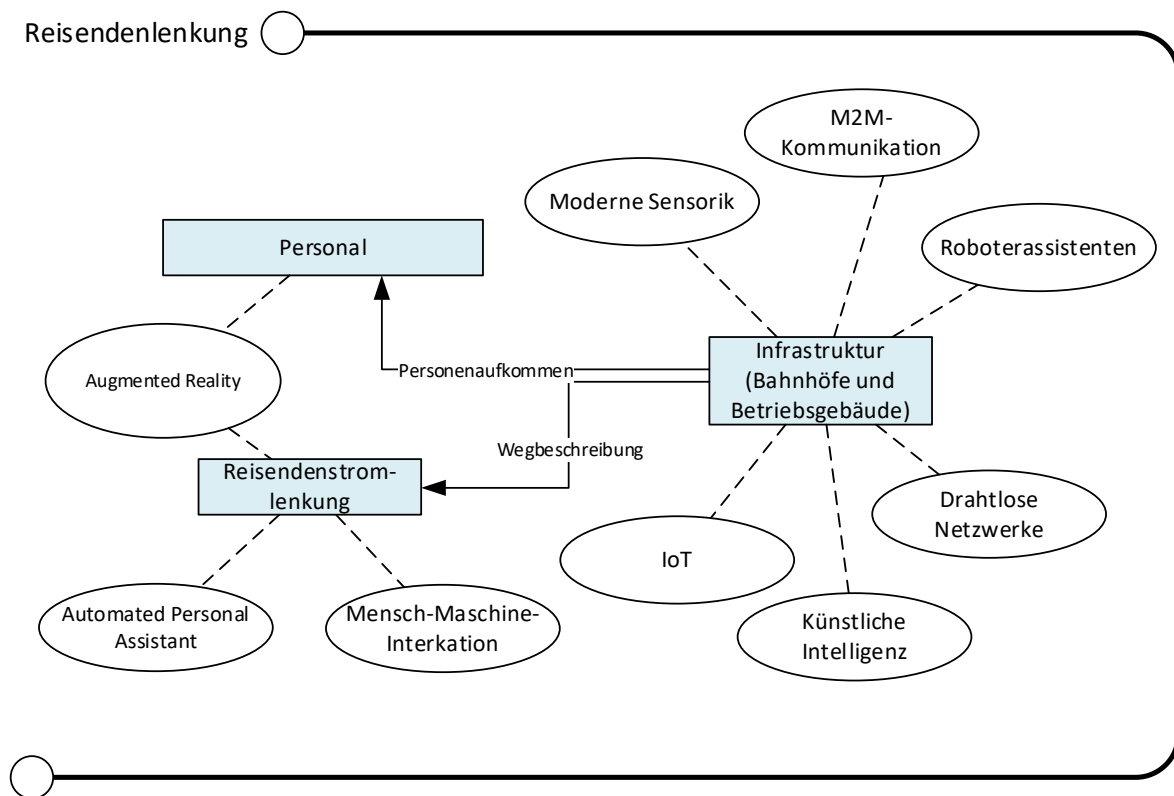


Abbildung 18: Anwendungsfall „Reisendenlenkung durch den Bahnhof“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 13).

TABELLE 13: ANWENDUNGSFALL „REISENDENLENKUNG DURCH DEN BAHNHOF“

Titel:	Reisendenlenkung durch den Bahnhof
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Reisende Personal Infrastruktur
Betroffene Nutzer:	Fahrgäste Bahnhofspersonal
Beschreibung (User Story):	Die Reisendenlenkung durch den Bahnhof erfüllt mehrere Ziele. Zum einen können Fahrgäste den Weg zum gewünschten Ziel (Gleis, Ausgang etc.) effizienter finden und sich auch in stark frequentierten oder unbekannteren Bahnhöfen orientieren.

	<p>Zum anderen können Ballungen vermieden oder Sonderregelungen, wie zum Beispiel bei Bauarbeiten, besondere Wege durch Störungen oder zum Infektionsschutz, besser um- und durchgesetzt werden. Es werden Technologien benötigt, um Ballungsbereiche zu erkennen. Die Erkennung des erhöhten Personenaufkommens ist möglich durch IoT Geräte, wie Kameras und Sensoren oder auch Smart Glasses, welche mithilfe von Augmented Reality dem Bahnhofspersonal helfen. Um bereits schon im Vorfeld agieren zu können, hilft der Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Zur Lenkung stehen je nach Verwendungsart verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Sollen Gruppen gelenkt werden, ist der Einsatz von Roboterassistenten möglich oder auch eine direkte Benachrichtigung auf das Smartphone der Reisenden. Zur individuellen Wegefindung für den Reisenden sind verschiedene Technologien möglich. Denkbar wäre die Interaktion mit einem Roboterassistenten oder auch einem Automated Personal/Intelligent Assistant. Ebenso denkbar ist der Einsatz von Smartphones oder Smart Glasses, welche den Weg per Augmented Reality anzeigen.</p>	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Personal	Augmented Reality	Das Personal nutzt Smart Glasses und Augmented Reality zur Erkennung von hohem Personenaufkommen.
Infrastruktur	Internet of Things	Kameras und Sensoren erkennen, ob es zu einem erhöhten Personenaufkommen kommt und geben diese Information an das steuernde System (Personal, automatisiertes System) weiter. Durch den Einsatz von IoT-Geräten in Kombination mit Künstlicher Intelligenz ist es möglich, solche Situationen bereits im Vorfeld zu erkennen.
Infrastruktur	Künstliche Intelligenz	Durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) können die Daten, welche per IoT-Geräte oder auch Smart Glasses gesammelt werden, analysiert und Personenströme erkannt werden. Je nach Entwicklungsstand der KI und der vorhandenen Infrastruktur ist es möglich, dass die KI Maßnahmen vorschlägt oder sogar selbst durchsetzt.
Infrastruktur	Roboterassistenten	Roboterassistenten können zum einen helfen, Maßnahmen des Personals oder des Systems durchzusetzen, beispielsweise bei der Umlenkung von Personenströme bei Störungen oder Bauarbeiten. Zum anderen ist es jedoch auch möglich, dass sie auf Anfrage Reisenden individualisierte Wege anzeigen oder sie leiten.
Infrastruktur	Machine-to-Machine Kommunikation	Eine denkbare Kommunikation mit den Roboterassistenten ist auch eine Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation. Dies kann zur

		Kommunikation des Personals/Systems mit den Roboterassistenten genutzt werden oder zur Interaktion von Reisenden mit den Roboterassistenten, beispielsweise per Smartphone über drahtlose Kommunikationsnetzwerke wie Bluetooth.
Infrastruktur	Drahtlose Kommunikationsnetzwerke	Zur Kommunikation mit Roboterassistenten ist der Einsatz drahtloser Kommunikationsnetzwerke wie Bluetooth, LPWAN etc. möglich.
Reisende	Mensch-Maschine-Interaktion	Zur Kommunikation mit Roboterassistenten muss die Möglichkeit bestehen, mit diesen zu interagieren. Denkbar sind verschiedene Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion, beispielsweise per Sprachsteuerung oder Touchpad.
Reisende	Augmented Reality	Reisende finden per Augmented Reality auf dem Smartphone einen effizienten Weg durch den Bahnhof zum gewünschten Ziel (Gleis, Ausgang etc.). Dies ist sehr nützlich an überfüllten oder unbekanntem Bahnhöfen.
Reisende	Automated Personal/Intelligent Assistant	Reisende können per App einen Automated Personal/Intelligent Assistant nach dem Weg fragen, welcher den idealen Weg berechnet und ausgibt/anzeigt.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Betriebszentrale - Servicezentrale	Übermittlung der Daten zu Einschränkungen (Baustelle, Störung) am Bahnhof.	
Rechenzentrum - Servicezentrale	Übermittlung der Daten über Personenaufkommen, eventuelle Umleitungen.	
IoT-Geräte - Rechenzentrum	Die Geräte erkennen den aktuellen Zustand (aktuelles Personenaufkommen) und übermitteln diesen an das Rechenzentrum.	
Roboterassistenten - Servicezentrale	Abruf der Daten zur Reisendenlenkung.	
Smartphone - Servicezentrale	Abruf der Daten zur Reisendenlenkung.	
Smartphone - Roboterassistenten	Abruf der Daten zur Reisendenlenkung.	
Automated Personal Assistant - Servicezentrale	Abruf der Daten zur Reisendenlenkung.	

## 5.14 Optimierte Reise- und Preisgestaltung

Die Anwendung „Optimierte Reise- und Preisgestaltung“ ist in Abbildung 19 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

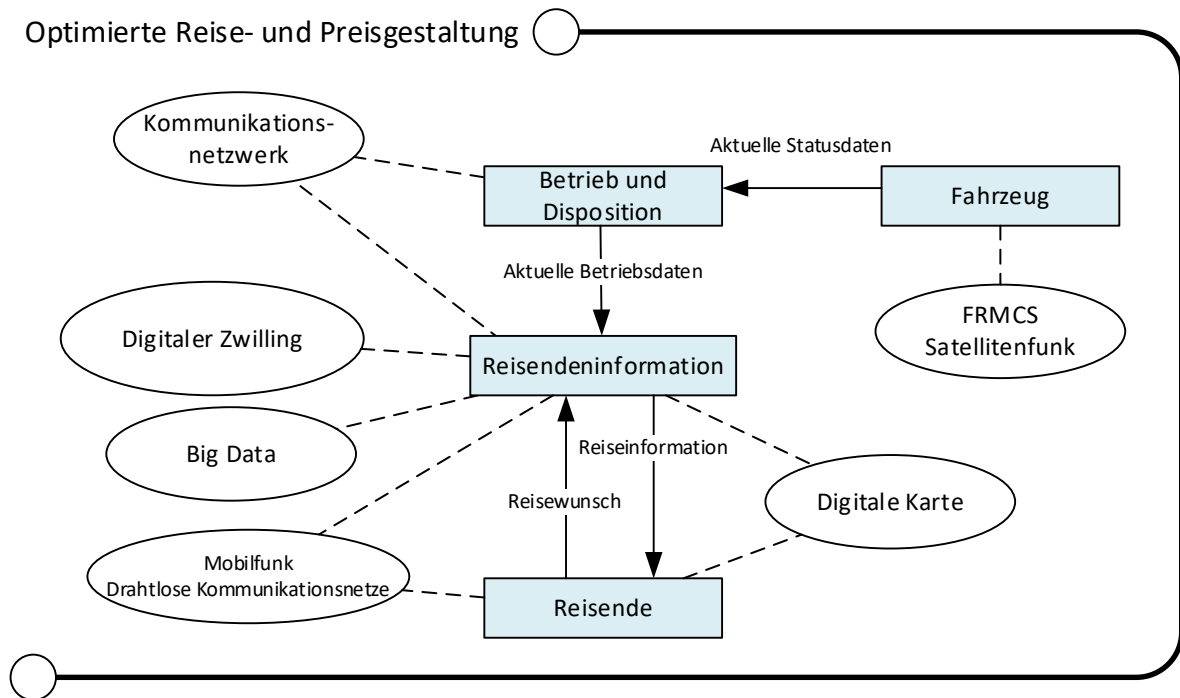


Abbildung 19: Anwendungsfall „Optimierte Reise- und Preisgestaltung“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 14).

TABELLE 14: ANWENDUNGSFALL „OPTIMIERTE REISE- UND PREISGESTALTUNG“

Titel:	Optimierte Reise- und Preisgestaltung
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Reisende Fahrzeuge Betrieb und Disposition Reisendeninformation
Betroffene Nutzer:	Fahrgäste
Beschreibung (User Story):	Für Reisen zu vorgegebenen Zielen gibt es meist mehrere Reisewege unter Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel. Hier ist es für den Reisenden wichtig, sich vorab über verfügbare Angebote zu informieren und Aspekte wie Preis, Reisezeiten und verfügbare Service-Angebote abzuwägen. Neben der mittel- und langfristigen Planung von Reisen müssen dem Reisenden auch kurzfristige Informationen über Änderungen im Betriebsablauf, z. B. aufgrund von Betriebsstörungen zur Verfügung gestellt



	<p>werden. Letzteres beinhaltet ebenfalls Preisinformationen, z. B. der kurzfristige Wegfall von Aufpreisen für erforderliche Umwegfahrten oder Umstiege auf höherwertige Verkehrsmittel.</p> <p>Die Informationen zur Reise- und Preisgestaltung werden auf geeigneten digitalen Plattformen bereitgestellt, auf welche der Reisende auch mit mobilen Endgeräten, wie z. B. seinem Smartphone zugreifen und gleichzeitig Eingaben für spezielle Reisewünsche, z. B. Präferenzangaben für bestimmte Aspekte vornehmen kann. Wichtig ist auch eine übersichtliche graphische Darstellung, z. B. unter Nutzung digitaler Karten. Auf den Informationsplattformen müssen Informationen unterschiedlicher Reiseanbieter – z. B. verschiedene Verkehrsgesellschaften – zusammengeführt werden. Auch Betriebs- und Servicezentrale sowie die Fahrzeuge selbst müssen angebunden sein, um aktuelle Informationen über die Verkehrslage (z. B. aktuelle Verspätungsmeldungen von Zügen) einzupflegen. Aufgrund der Komplexität und des Umfangs der Daten ist es sinnvoll, auch Big Data-Techniken einzusetzen.</p> <p>Neben allgemeinen Reisewünschen sollte die digitale Informationsplattform auch vorher erstellte Reiseprofile als Input akzeptieren und dann bei Bedarf mit aktuellen Zusatz-Informationen versehen und unmittelbare Alternativen ausweisen.</p>	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Reisende	Mobilfunk oder drahtlose Kommunikationsnetze	Der Reisende nimmt über ein mobiles Endgerät mit der Informationsplattform Kontakt auf und gibt seine Reisewünsche ein.
Fahrzeuge	FRMCS Satellitenfunk	Fahrzeuge teilen aktuelle Status-Informationen, z. B. Verspätungsmeldungen, an die Betriebszentrale mit.
Betrieb und Disposition	Kommunikationsnetzwerke, Big Data	Die Betriebszentrale übermittelt aktuelle Meldungen zur Verkehrslage an die Informationsplattform, so dass sie bei aktuellen Reiseinformationen berücksichtigt werden.
	Digitaler Zwilling	Die gesamte Verkehrsinfrastruktur mit ihren verfügbaren Reiseverbindungen und zugehörigen Services wird digital abgebildet, so dass der Reisende alle notwendigen Reiseinformationen in digitaler Form abrufen kann. Auch aktuelle Verkehrsmeldungen müssen mit abgebildet und laufend aktualisiert werden. Somit hat der digitale Zwilling einen statischen Teil mit der permanenten System-Infrastruktur und einen dynamischen Teil mit aktuellen Status-Informationen.
	Digitale Karte	Die Informationsplattform stellt dem Reisenden die Daten des digitalen Zwillings in Form einer digitalen Karte zur Verfügung.

Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
Smartphone - Informationsplattform	Informationsaustausch zwischen Reisendem und Informationsplattform: Übermittlung der Reisewünsche und Empfang der Reiseinformationen.
Betriebszentrale - Informationsplattform	Übermittlung aktueller Informationen für den Reisenden an die Informationsplattform.
Fahrzeuge - Betriebszentrale	Übermittlung aktueller Status-Meldungen vom Fahrzeug an die Betriebszentrale.

## 5.15 Optimierung der Fahrgastwechselzeit

Die Anwendung „Optimierung der Fahrgastwechselzeit“ ist in Abbildung 20 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an. In der Tabelle 15 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen aufgeführt.

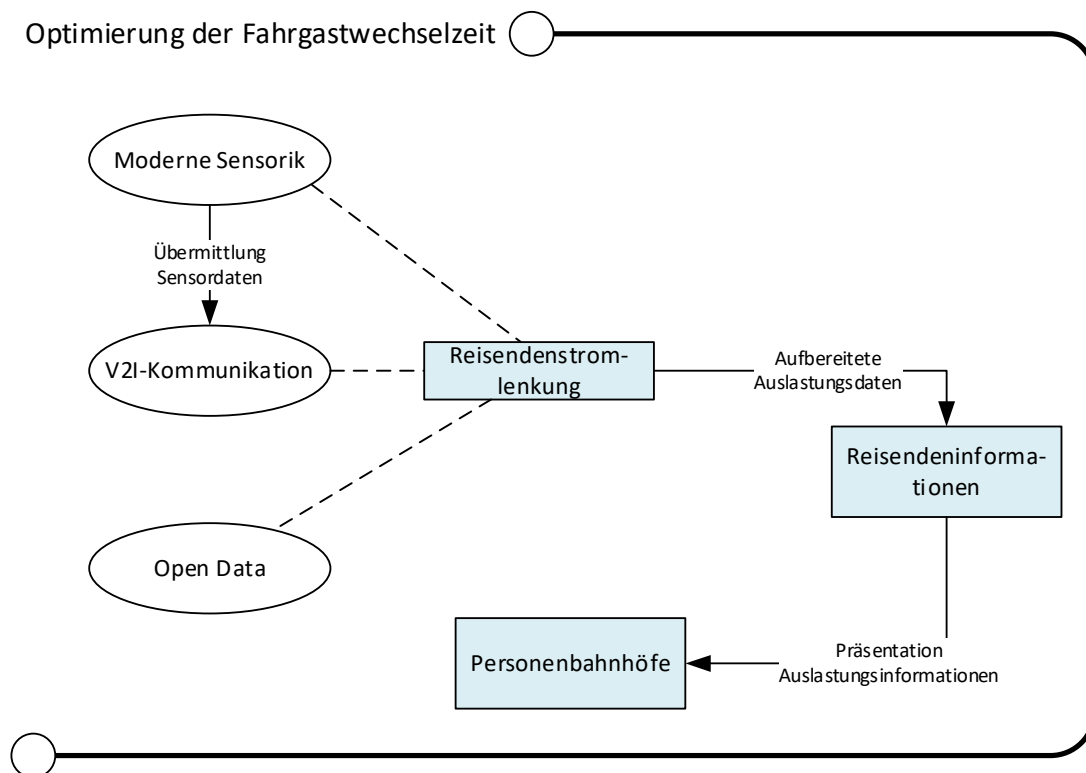


Abbildung 20: Anwendungsfall „Optimierung der Fahrgastwechselzeit“

TABELLE 15: ANWENDUNGSFALL „OPTIMIERUNG DER FAHRGASTWECHSELZEIT“

<b>Titel:</b>	Optimierung der Fahrgastwechselzeit
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Reisendenstromlenkung Personenbahnhöfe Reisendeninformation
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Fahrgäste
<b>Beschreibung (User Story):</b>	Die Personenzüge erfassen durch Sensorik die Auslastung einzelner Abschnitte des Fahrzeugs und melden diese an die nächste Haltestelle. Dort wird die Information den wartenden Fahrgästen dargestellt, um diesen zu ermöglichen, sich vor der Halteposition von weniger ausgelasteten Abschnitten zu positionieren. Auf diese Weise werden die Konflikte zwischen ein- und aussteigenden Fahrgästen reduziert und gleichzeitig der Fahrtkomfort erhöht, da der vorhandene Platz besser ausgenutzt wird und die zurückgelegten Wege im Fahrzeug verkürzt werden.

Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Reisendenstromlenkung	Moderne Sensorik	Eine Sensorik erfasst abschnittsweise die Zahl der Fahrgäste im Fahrzeug. Hierfür gibt es bereits Systeme, die an den Türen angebracht werden. Für Bestandfahrzeuge kommt aber auch eine optische Auswertung der Aufnahmen von Überwachungskameras in Frage, die in der Lage ist, auch die Bewegung von Fahrgästen zwischen Abschnitten zu erfassen.
Reisendenstromlenkung	V2I-Kommunikation	Zur Übermittlung der aktuellen Auslastung an die Streckenseite ist eine Form der V2I-Kommunikation erforderlich. Hier ist zu berücksichtigen, dass einerseits eine punktuelle Übertragung der Information ausreichend ist, da sich die Auslastung zwischen zwei Halten nur gering ändert. Außerdem verkehren besonders Nahverkehrszüge teilweise unterirdisch, sodass hier auch Punkt-zu-Punkt ad-hoc Verbindungen zur Übertragung in Frage kommen (bspw. Bluetooth, ad-hoc WLAN, ZigBee)
Reisendenstromlenkung	Open Data	Die Auslastung des Fahrzeuges könnte als Open Data Schnittstelle gestaltet sein, um Anwendungen über die beschriebene Anzeige am Bahnsteig hinaus zu ermöglichen. Beispielsweise könnte die Indoor-Navigation auf dem Smartphone den Fahrgast direkt zu einer weniger ausgelasteten Stelle leiten. Bei regelmäßig verkehrenden Zügen könnte die Auslastung die Entscheidungsgrundlage sein, einen weniger ausgelasteten Takt zu wählen. Ein Histogramm über die Auslastung an einem typischen Tag könnte zu Gewohnheitsanpassung führen, sodass sich in einer immer flexibleren Arbeitswelt die Spitzenlast breiter auf Zeiten mit geringerer Auslastung verteilt.
Reisendeninformation		Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten die Auslastungsinformation auf dem Bahnsteig den Reisenden zu präsentieren. Sie könnte in die Zugzielanzeiger integriert werden, oder durch farbige LEDs im Bahnsteigboden (Lichtbeton) präsentiert werden.

Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
Sensoren – Steuergerät	Sensordaten (Kamerabilder, Fahrgastzahlen, Mobilfunkdaten, WLAN-Daten) werden über ein Bordnetzwerk an das Steuergerät zur Auswertung übermittelt.
Steuergerät – Streckenseite	Die aufbereiteten Auslastungsdaten werden an die Streckenseite zur weiteren Nutzung übermittelt (V2I-Kommunikation).

## 5.16 Vorort-Informationen am Bahnsteig

Die Anwendung „Vorort-Informationen am Bahnsteig“ ist in Abbildung 21 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an

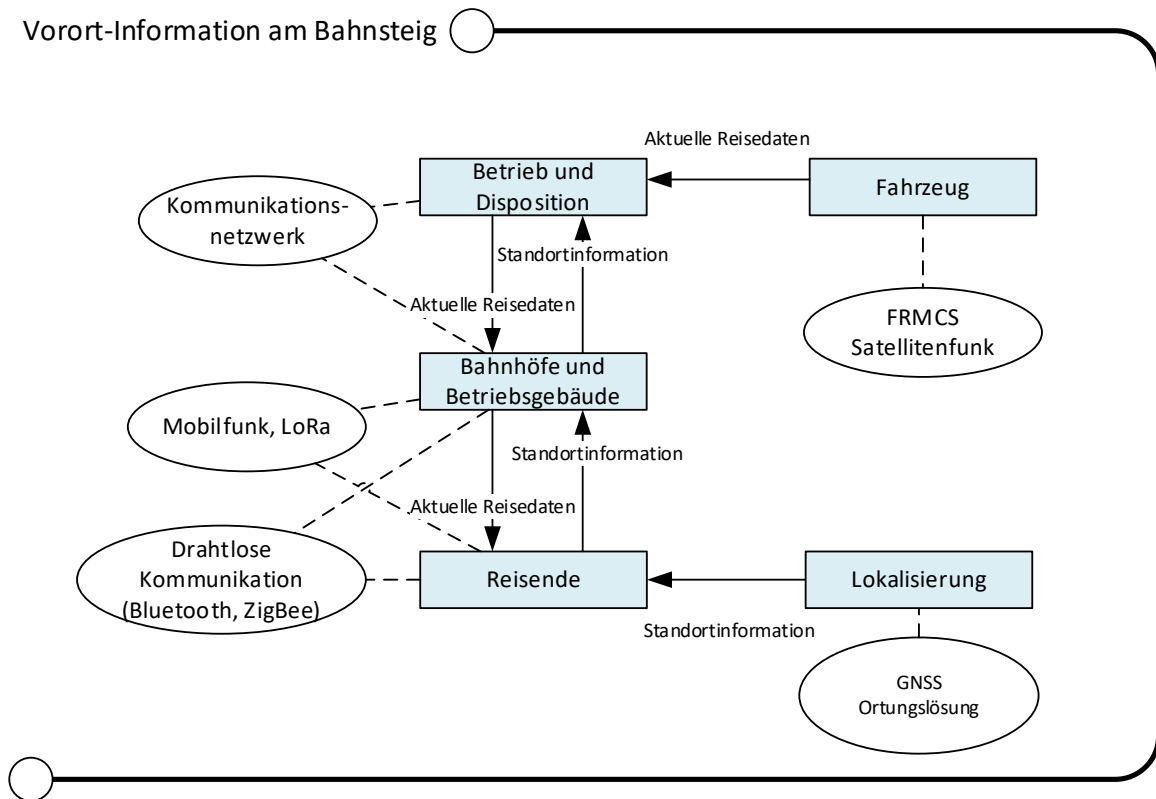


Abbildung 21: Anwendungsfall „Vorort-Informationen am Bahnsteig“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 16).

TABELLE 16: ANWENDUNGSFALL „VORORT-INFORMATIONEN AM BAHNSTEIG“

Titel:	Vorort-Informationen am Bahnsteig (Status-Informationen über Zug und Bahnsteig), vom Reisenden abrufbar mit mobilem Gerät
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Betrieb und Disposition Lokalisierung Fahrzeuge Reisende Personenbahnhöfe
Betroffene Nutzer:	Fahrgäste
Beschreibung (User Story):	Auch auf dem Bahnsteig sollen Reisende laufend mit aktuellen Informationen versorgt werden, z. B. Abfahrtszeit des Zuges, Wagenstandsanzeiger oder auch Informationen über Gleisänderungen. Um einerseits die

	<p>nötige Infrastruktur auf dem Bahnsteig zu minimieren und andererseits dem Reisenden lange Wege bis zur nächsten Anzeigetafel zu ersparen, sollten die Daten dem Reisenden zum Abruf mit eigenen, mitgeführten mobilen Geräten zur Verfügung gestellt werden. Der Reisende wird nach Kontaktaufnahme des mobilen Gerätes mit der zugehörigen Service-Anwendung zunächst geortet und damit dem Bahnsteig zugeordnet. Anschließend bekommt er genau die Informationen zur Verfügung gestellt, die für diesen Bahnsteig relevant sind. Zur Datenübermittlung können, je nach Entfernung zum Sender der Informationen unterschiedliche Techniken zum Einsatz kommen. Für eine direkte Kontaktierung der weiter entfernt liegenden Servicezentrale bietet sich IoT, Mobilfunk oder auch die drahtlose Kommunikationstechnik LoRa® an. Bei Verwendung örtlicher Sender auf dem Bahnsteig können auch drahtlose Kommunikationstechniken mit kürzerer Reichweite wie z. B. Bluetooth oder ZigBee zum Einsatz kommen.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Betrieb und Disposition	Kommunikationsnetzwerk	Relevante Daten zum Zugbetrieb werden von der Betriebszentrale an die Service-Zentrale zum Zwecke der Bereitstellung als Vorort-Informationen auf dem Bahnsteig übermittelt.
Betrieb und Disposition	Kommunikationsnetzwerk	Die Servicezentrale übermittelt Informationen an örtliche Sender auf dem Bahnsteig zum möglichen Abruf über drahtlose Kommunikation mit kurzer Reichweite.
Fahrzeuge	FRMCS Satellitenfunk	Die Fahrzeuge senden relevante Status-Informationen an die Betriebszentrale zur Weitergabe an die Servicezentrale.
Lokalisierung	GNSS Ortungslösungen	Der Fahrgast wird geortet und damit dem richtigen Bahnsteig zugeordnet.
Reisende	Mobilfunk, IoT oder LoRa®	Der Reisende nimmt mit Hilfe eines mobilen Endgerätes, z. B. einem Smartphone, direkten Kontakt mit der Servicezentrale auf und empfängt die gewünschten Informationen.
Reisende	Drahtlose Kommunikation mit kurzer Reichweite (Bluetooth, ZigBee)	Der Reisende nimmt mit Hilfe eines mobilen Endgerätes, z. B. einem Smartphone, Kontakt mit einem Sender vor Ort auf dem Bahnsteig auf und empfängt die gewünschten Informationen von der Service-Zentrale.

Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
Fahrzeug - Betriebszentrale	Übermittlung aktueller Daten von den Triebfahrzeugen.
Betriebszentrale - Servicezentrale	Übermittlung von Daten zur Reisendeninformation.
Servicezentrale - örtlicher Sender	Übermittlung von Daten zur Reisendeninformation.
Smartphone - Servicezentrale	Abruf von Informationen über Mobilfunk, IoT oder LoRa®, Ortung des Fahrgastes über GNSS.
Smartphone – örtlicher Sender	Abruf von Informationen über drahtlose Kommunikation mit kurzen Reichweiten.



# 5.17 Emotions- und Absichtserkennung der Reisenden

Die Anwendung „Emotions- und Absichtserkennung der Reisenden“ ist in Abbildung 22 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

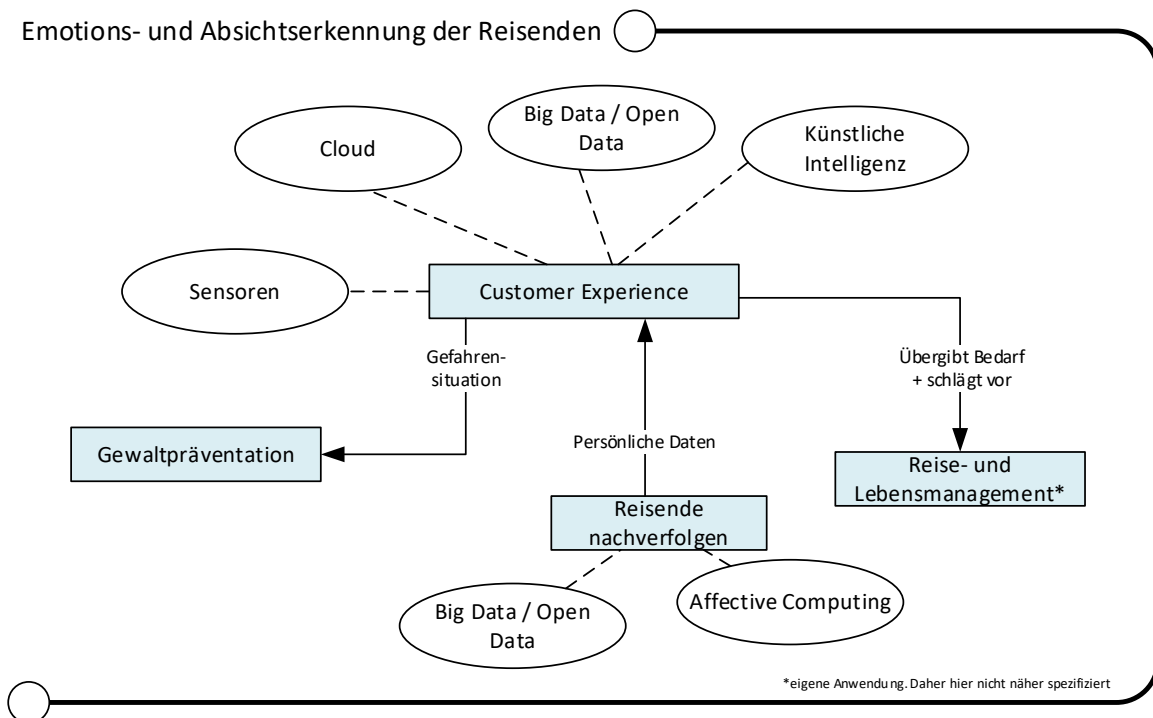


Abbildung 22: Anwendungsfall „Emotions- und Absichtserkennung der Reisenden“

In der Tabelle 17 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 17: ANWENDUNGSFALL „EMOTIONS- UND ABSICHTSERKENNUNG DER REISENDEN“

<b>Titel:</b>	Emotions- und Absichtserkennung
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Customer-Experience Reisende nachverfolgen Gewaltprävention
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Reisende
<b>Beschreibung (User Story):</b>	Mithilfe von Kameras kann die Körpersprache von Individuen aufgezeichnet werden. Affective Computing ist anschließend in der Lage, anhand von Mimik, Haltung, Gestik und, sofern möglich, auch der Sprachmodellierung, auf die Emotionen und Handlungsabsichten eines Reisenden zu schließen. Dies bietet verschiedene Möglichkeiten, zum einen können

	Rückschlüsse auf die Stimmungslage des Reisenden gezogen werden, zum anderen ist es möglich, beispielsweise Gewaltbereitschaft frühzeitig zu erkennen und daraufhin geeignete Präventions- bzw. Deeskalationsmaßnahmen einzuleiten.	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Reisende nachverfolgen	Kameras	Kameras nehmen die Körpersprache sowie äußere Merkmale der Individuen auf und leiten diese zur Auswertung an das System weiter.
Reisende nachverfolgen	Wärmebildkameras	Wärmauswertende Kameras nehmen die Temperatur der Reisenden auf und vergleichen diese mit typischen Werten des Reisenden sowie umliegenden Reisenden.
Reisende nachverfolgen	Affective Computing	Mithilfe von Affective Computing werden die von Kameras aufgezeichneten Individuen erkannt und analysiert. Affective Computing wertet dieses Daten aus und kann im Optimalfall auf Emotionen wie auch Handlungsabsichten einer Person schließen und dadurch zum Beispiel Gewaltbereitschaft erkennen.
Customer-Experience	Affective Computing	Durch die Auswertung der Emotionen und des Verhaltens kann auf die Stimmungslage geschlossen werden und so zum Teil Ableitungen bezüglich der Kundenzufriedenheit getroffen werden.
Gewaltprävention	Affective Computing	Auf Basis der erkannten Gewaltbereitschaft oder bereits begonnenen aggressiven Handlungen können frühzeitig deeskalierende Maßnahmen ergriffen werden.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	

## 5.18 Automatisierte Ablaufsteuerung

Die Anwendung „Automatisierte Ablaufsteuerung“ ist in Abbildung 23 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

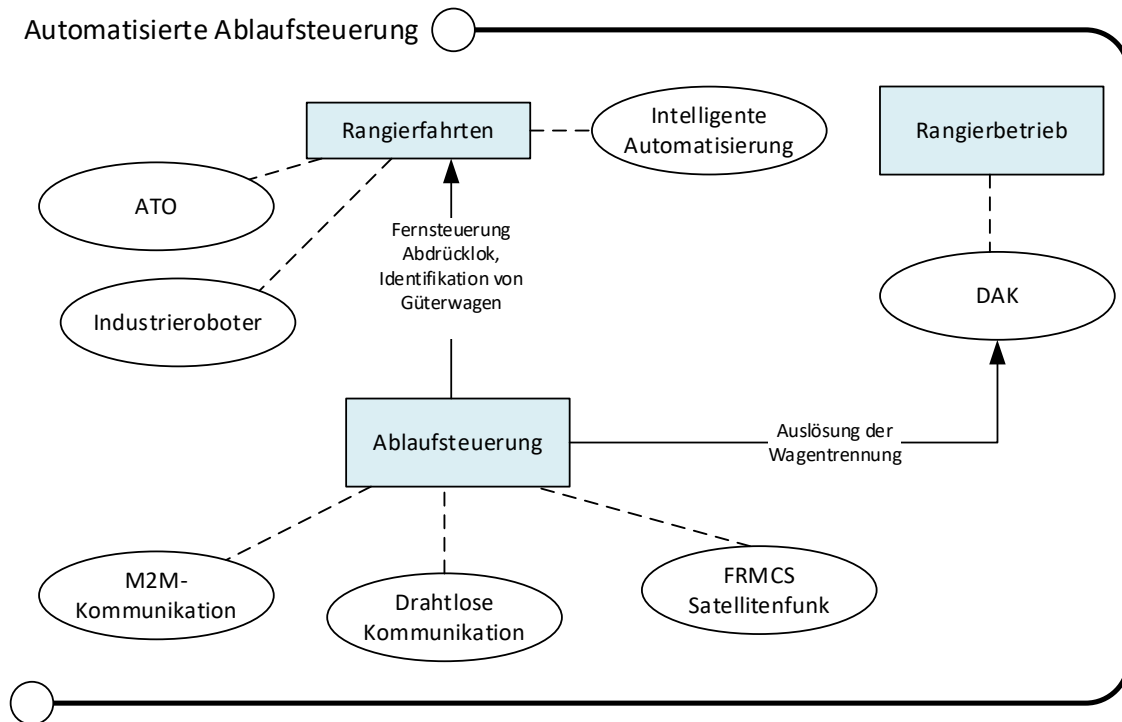


Abbildung 23: Anwendungsfall „Automatisierte Ablaufsteuerung“

In der Tabelle 18 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 18: ANWENDUNGSFALL „AUTOMATISIERTE ABLAUFSTEUERUNG“

Titel:	Automatisierte Ablaufsteuerung
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Rangierfahrten Rangierbetrieb Ablaufsteuerung
Betroffene Nutzer:	Rangierpersonal Kunden Logistik/Fracht
Beschreibung (User Story):	Güterzüge werden in Rangierbahnhöfen automatisch zu neuen Zügen für die Weiterfahrt zusammengestellt. Eine automatische Abdrücklok drückt den gekuppelten Zug über den Ablaufberg. Die Trennung der Wagen erfolgt automatisch durch die Digitale Automatische Kupplung (DAK) zwischen den Wagen für verschiedene Richtungsgleise. Zu diesem Zweck müssen die Wagen mit einer digital auslesbaren Kennung versehen sein um sie streckenseitig zu erkennen.

Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Rangierbetrieb	DAK	Die Digitale Automatische Kupplung wird zur automatischen Trennung der Güterwagen verwendet.
Rangierfahrten	ATO Intelligente Automatisierung Industrieroboter	Das Abdrücken nimmt eine automatische Abdrücklok, die Fahrbefehle und Geschwindigkeiten von der Ablaufsteuerung erhält und die Wagen entsprechend über den Ablaufberg drückt.
Ablaufsteuerung	M2M-Kommunikation Drahtlose Kommunikation	Zur Erkennung der einzelnen Güterwagen und anschließender Bestimmung des Richtungsgleises ist eine Form von drahtloser M2M-Kommunikation erforderlich. Beispielsweise könnte die UIC-Wagennummer durch einen RFID-Chip ausgesendet und streckenseitig gelesen werden.
Ablaufsteuerung	FRMCS Satellitenfunk	Zur Fernsteuerung der Abdrücklok durch die Ablaufsteuerung ist eine drahtlose Kommunikationsmöglichkeit notwendig.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Ablaufsteuerung – DAK	Ferngesteuertes Auslösen der Trennung von Wagen.	
Ablaufsteuerung – Güterwagen	Identifizieren der Güterwagen durch digitales Auslesen beispielsweise der UIC-Wagennummer.	
Ablaufsteuerung – Abdrücklok	Fernsteuerung der Abdrücklok.	

## 5.19 Intelligente Instandhaltung

Die Anwendung „Intelligente Instandhaltung“ ist in Abbildung 24 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

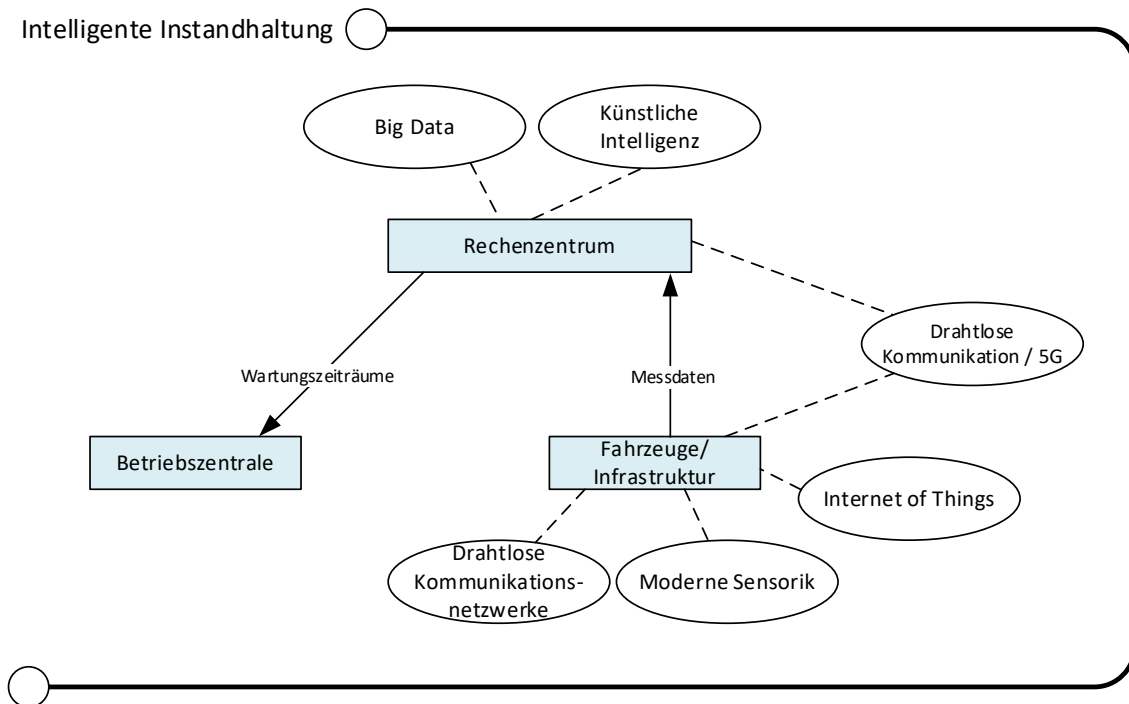


Abbildung 24: Anwendungsfall „Intelligente Instandhaltung“

In der Tabelle 19 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 19: ANWENDUNGSFALL „INTELLIGENTE INSTANDHALTUNG“

Titel:	Intelligente Instandhaltung
Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:	Diagnostische Sensorik
Betroffene Nutzer:	Wartungspersonal
Beschreibung (User Story):	Vorausschauende, intelligente oder prädiktive Instandhaltung (Predictive Maintenance) versucht durch die Auswertung von Messdaten des in Betrieb befindlichen Objektes vorherzusagen, wann ein Ausfall droht, um rechtzeitig vorher eine Instandhaltung durchführen zu können und so einen Ausfall zu vermeiden. Künftig könnte Intelligente Instandhaltung soweit ausgebaut werden, dass regelmäßige Wartungsintervalle entfallen und ausschließlich bei drohenden Ausfällen rechtzeitig eine Instandhaltung durchgeführt wird.

Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Diagnostische Sensorik	Intelligente Instandhaltung Internet of Things Moderne Sensorik	Messgeräte analysieren das in Betrieb befindliche Objekt.
	Künstliche Intelligenz Big Data	Analyse der Messdaten und Berechnung der restlichen Lebensdauer durch modellbasierte Vorhersagen und Künstlicher Intelligenz. Dadurch kann der ideale Wartungszeitpunkt genauer bestimmt und geplant werden.
	Drahtlose Kommunikation 5G	Zur Übermittlung der Messdaten an das Rechenzentrum.
Schnittstellen		
Schnittstelle	Beschreibung	
Sensoren - Rechenzentrum	Die Messdaten werden zur Analyse an das Rechenzentrum übergeben.	
Rechenzentrum - Betriebszentrale	Durch die Analyse der Messdaten im Rechenzentrum kann der Wartungszeitraum genauer bestimmt werden und in der Betriebszentrale frühzeitig eingeplant werden.	

## 5.20 Vollautomatisiertes Fahren

Die Anwendung „Vollautomatisiertes Fahren“ ist in Abbildung 25 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

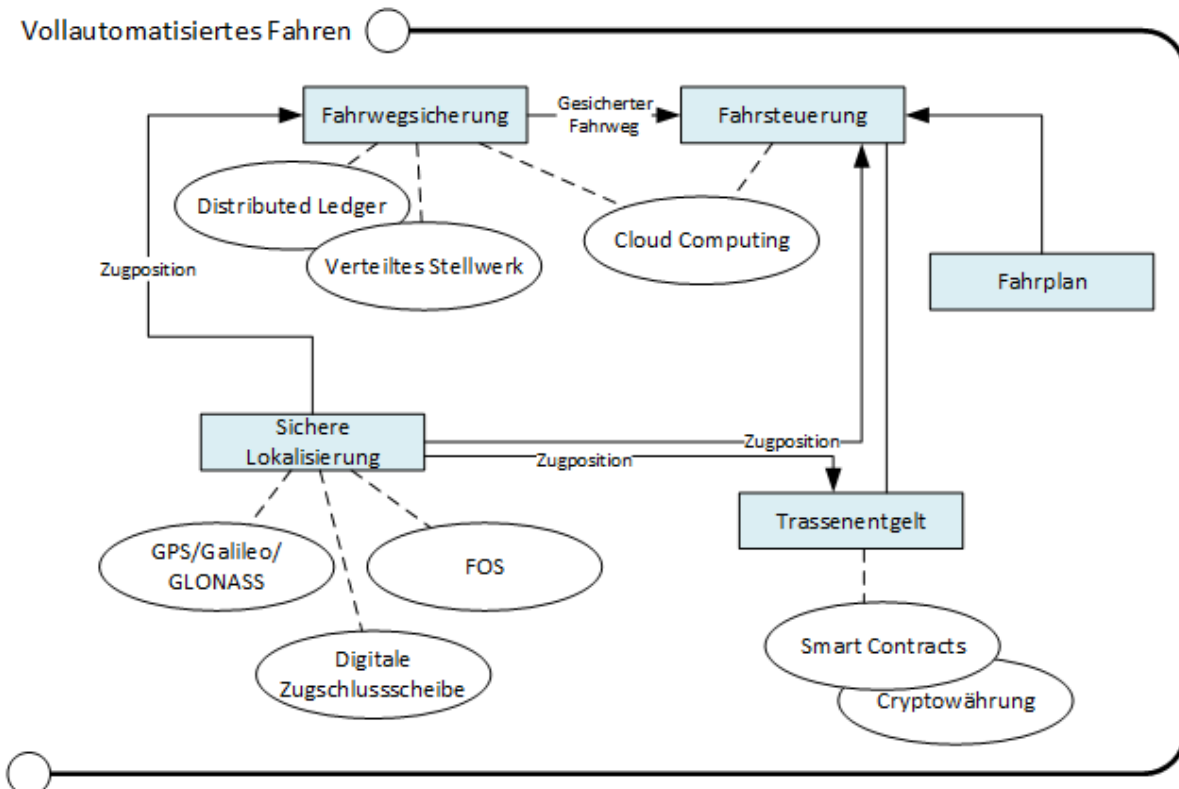


Abbildung 25: Anwendungsfall „Vollautomatisiertes Fahren“

Nachfolgend sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt (Tabelle 20).

TABELLE 20: ANWENDUNGSFALL „VOLLAUTOMATISIERTES FAHREN“

<b>Titel:</b>	Vollautomatisiertes Fahren
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Fahrwegssicherung Fahrsteuerung Fahrplan Trassenentgelt Sichere Lokalisierung
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Triebfahrzeugführer Zugpersonal Fahrdienstleiter, Weichenwärter, Bahnübergangswärter Planer (Fahrplan und Infrastruktur)

Beschreibung (User Story):	Zugfahrten werden vollautomatisch durch die Fahrzeuge durchgeführt. Die Kommunikation mit der Fahrweginfrastruktur ist essenziell, um Belegungskonflikte zu vermeiden und Unfälle zu verhindern. Das Fahrzeug fährt die Strecke zu seinem Zielort automatisch ab und berücksichtigt dabei fahrzeug- sowie streckenseitige Beschränkungen in einem Geschwindigkeitsprofil.	
Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrwegsicherung	Distributed Ledger	Die exklusive Verwendung der Fahrwegelemente wird durch einen Distributed Ledger synchronisiert und manipulationssicher dokumentiert.
Fahrwegsicherung	Verteiltes Stellwerk	Statt in einem Stellwerk zentralisiert werden die Logik und Abhängigkeiten der Fahrwegsicherung auf die Controller der Feldelemente verteilt.
Fahrwegsicherung	Cloud Computing	Rechenkapazität für die Fahrwegsicherung wird durch die Cloud bereitgestellt.
Fahrsteuerung	Cloud Computing	Komplexe Berechnungen der Fahrsteuerung (z. B. Geschwindigkeitsprofile) werden durch Cloud-Dienste berechnet.
Fahrplan		Der Fahrplan muss digital vorliegen, damit der Zug die benötigten Reiseinformationen (Zwischenstopps, Standdauer etc.) erhalten kann. Weiterhin kann es sein, dass der Zug bei Änderungen einen aktualisierten Fahrplan abrufen muss.
Trassenentgelt	Smart Contracts/ Kryptowährung	Das Trassenentgelt wird durch Smart Contracts automatisch bei Benutzung zugseitig an die Infrastruktur entrichtet.
Sichere Lokalisierung	GNSS	Ein GNSS wird zur Ortung des Zuges verwendet.
Sichere Lokalisierung	Digitale Zugschlussscheibe	Die digitale Zugschlussscheibe wird verwendet, um die Zugvollständigkeit zu prüfen.
Sichere Lokalisierung	FOS	Mit Hilfe von FOS wird die Zugposition und Zugvollständigkeit entlang der Strecke ermittelt.
	Neuromorphe Hardware	Einsatz von neuromorpher Hardware auf Zügen, damit diese die Sensordaten zeitnah auswerten zu können und der Zug entsprechend reagieren kann.



Schnittstellen	
Schnittstelle	Beschreibung
Sichere Lokalisierung – Trassenentgelt	Übermittlung der Zugposition zur ortsgenauen Abrechnung des Trassenpreises.
Fahrwegsicherung – Fahrsteuerung	Zusicherung eines gesicherten Fahrweges zur Vermeidung von Unfällen.
Fahrplan – Fahrsteuerung	Vorgabe des Laufweges mit Start, Ziel und Wegpunkten. Ggf. inklusive eines Geschwindigkeitsprofils.
Sichere Lokalisierung – Fahrsteuerung	Exakte Übermittlung der Zugposition zum Abrufen der örtlichen Höchstgeschwindigkeit.
Sichere Lokalisierung – Fahrsteuerung	Exakte Übermittlung der Zugposition zur Freigabe befahrener Streckenabschnitte.

## 5.21 Zugsicherung mit ETCS

Die Anwendung „Zugsicherung mit ETCS“ ist in Abbildung 26 durch Kombination der verwendeten Funktionen sowie Schnittstellen dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Kommunikationsbeziehung an.

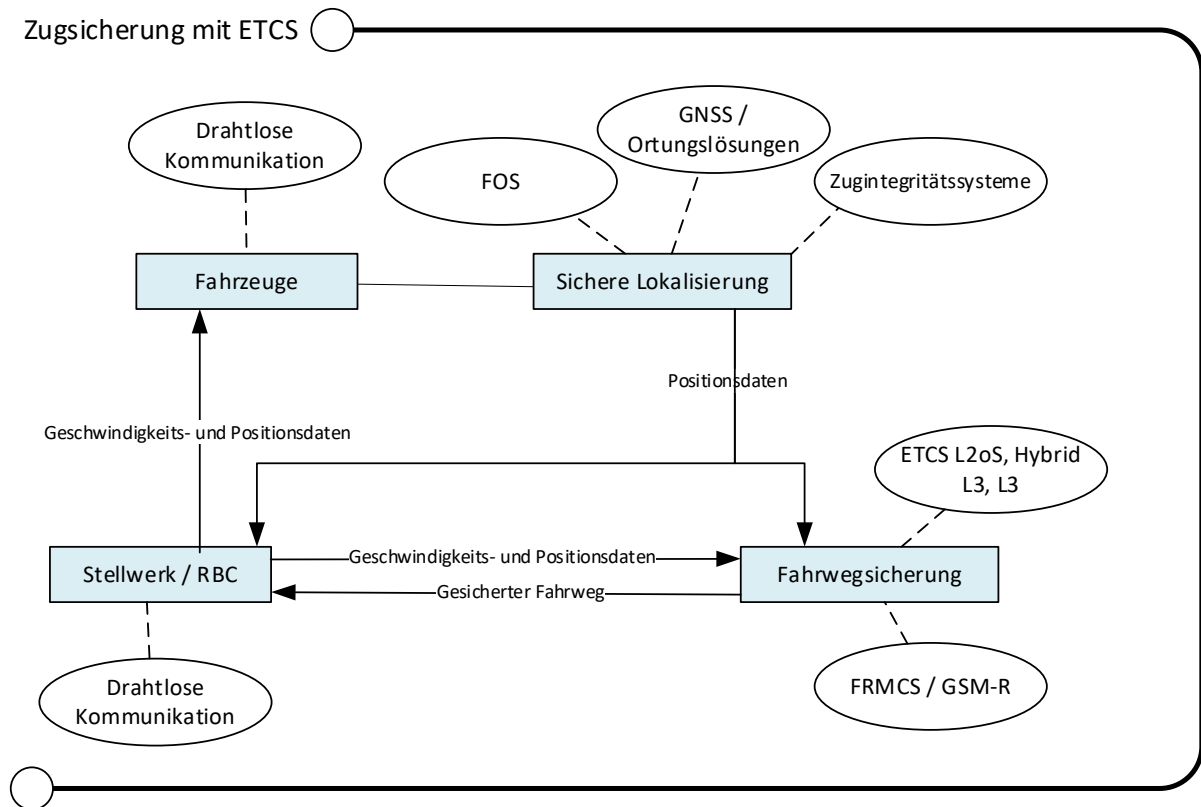


Abbildung 26: Anwendungsfall „Zugsicherung mit ETCS“

In der Tabelle 21 sind die User Story sowie verwendete Funktionen und Schnittstellen und der Zusammenhang der Technologie tabellarisch aufgeführt.

TABELLE 21: ANWENDUNGSFALL „ZUGSICHERUNG MIT ETCS“

<b>Titel:</b>	Zugsicherung mit ETCS
<b>Betroffene Funktion(en) der Systemdefinition:</b>	Signale, Gleisfreimeldeanlagen Sichere Lokalisierung Fahrwegsicherung Rückfallebene Bahnübergänge
<b>Betroffene Nutzer:</b>	Triebfahrzeugführer Fahrdienstleiter, Weichenwärter, Bahnübergangswärter
<b>Beschreibung (User Story):</b>	Aus heutiger Sicht wird die Zugsicherung bis ins Jahr 2050 wesentlich durch die Umsetzung der bereits standardisierten ETCS L3, Hybrid L3

	<p>und L2oS geprägt sein und die Abkehr von herkömmlichen Gleisfreimeldeanlagen zur Folge haben. Die Positionsbestimmung und Zugintegritätsfeststellung erfolgen fahrzeugseitig und kontinuierlich. Sie werden an das Stellwerk bzw. RBC übertragen. Die Zugfolge wandelt sich vom Fixed Block Verfahren zum Moving Block. Entsprechende Rückfallkonzepte müssen entwickelt werden, da heutige Rückfallkonzepte nur schwer mit Moving Block vereinbar sind. Movement Authorities werden durch das Stellwerk/RBC an die Fahrzeuge übermittelt.</p>	
<p>Umsetzung (Zusammenhang Technologie, Funktion, Anwendung)</p>		
Funktion	Technologie	Beschreibung der Anwendung
Fahrwegsicherung	ETCS L2oS, Hybrid L3, L3	Die ETCS Level fassen im Wesentlichen zusammen, wie die Zustimmung zur Fahrt übermittelt wird (Signale oder Movement Authority und Anzeige im Führerstand) und wie die Gleisfreimeldung erfolgt (streckenseitig oder fahrzeugseitig).
Sichere Lokalisierung	GNSS FOS Ortungslösungen Zugintegritätssysteme	Gleisgenaue Positionsbestimmung der Zugspitze und des Zugschlusses zur Gleisfreimeldung und Zugvollständigkeitsmeldung. Die Lokalisierung bei ETCS wird von ortsfesten Balisen unterstützt.
Fahrwegsicherung	GSM-R FRMCS	Übertragung der Kommunikation (Movement Authority, Position) zwischen Stellwerk/RBC und Fahrzeug.
Rückfallebene		Das Zugsicherungssystem muss eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Diese kann durch eine besondere Resilienz des künftigen Übertragungssystems gewährleistet werden, z. B. durch verschiedene drahtlose Übertragungstechnologien.
Signale		Signale entfallen bei den ETCS Leveln L3, Hybrid L3 und L2oS.
Gleisfreimeldeanlagen	Ortungslösungen Zugintegritätssysteme	Die heutigen streckenseitigen Gleisfreimeldeanlagen werden durch fahrzeugseitige Lösungen ersetzt (siehe Sichere Lokalisierung).
<p>Schnittstellen</p>		
Schnittstelle	Beschreibung	
Stellwerk/RBC – Fahrzeug	Drahtlose Kommunikation vom Fahrzeug zur Strecke für Movement Authorities und Positionsdaten.	
Fahrzeug – Balise	Übermittlung des Standortes bei Überfahren der Balise.	

## 5.22 Allgemeine Trends

In diesem Abschnitt wird das Potential einiger Technologien und Technologietrends beurteilt, für die zuvor keine Implementierung in Form eines Anwendungsfalles beschrieben wurde, die aber dennoch künftig mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit von Bedeutung für das System Bahn sein werden.

### 3D-Druck

Wie bereits bei den Technologien beschrieben, kann 3D-Druck zum schnellen Erstellen von Prototypen, aber auch in der Serienproduktion genutzt werden. Für beide Prozesse ist eine Nutzung von 3D-gedruckten Bauteilen im Betrachtungszeitraum wahrscheinlich. Beispielweise lassen sich Ersatzteile bei Bedarf durch ein mobiles Reparaturteam vor Ort drucken, sei es für Fahrzeuge oder ortsfeste Infrastruktur. Außerdem kann 3D-Druck eine Alternative zur Beschaffung von Ersatzteilen für Baureihen und Serien sein, die vom Hersteller abgekündigt sind, sich aber weiterhin im Betrieb befinden.

### Digitalisierung von Prozessen

Die Digitalisierung zahlreicher Prozesse in allen Bereichen des Systems Bahn und über die Phasen „Planen“, „Bauen“ und „Betrieb“ hinweg spielt heute schon eine wichtige Rolle, die auch zukünftig nicht an Bedeutung verlieren wird. Die Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse der Gebäude (Bahnhofsgebäude, Brücken, Tunnel) und der Schieneninfrastruktur erfahren Unterstützung durch Building Information Modelling (BIM), bei dem Pläne durch ein digitales Datenmodell ausgetauscht werden, sodass Arbeitsaufwand und Fehler durch erneutes Zeichnen vermieden werden. Ebenso unterstützt BIM den Betrieb von Gebäuden und Infrastruktur, da jedes Bauteil bis hin zur gewünschten Granularität mit relevanten Attributen im Modell repräsentiert und analysiert werden kann.

Die Digitalisierung der Dokumentation von Objekten und Prozessen kann dazu beitragen die Dokumentation auf einem aktuellen Stand zu halten, veraltete Information zu finden und systematisch zu aktualisieren. Ebenso profitieren die verschiedenen geltenden Regelwerke und Vorschriften im System Bahn von der Digitalisierung, da sich dadurch ihre Einhaltung automatisiert überprüfen lässt (bspw. Trassierungsparameter von Strecken). Diese könnte genutzt werden, um Änderungen im System Bahn vor ihrer Einführung einen Systemintegrationstest am digitalen Zwilling durchlaufen, um ihre Umsetzbarkeit, Rückwirkung auf das System und ihren Nutzen vorab zu prüfen. Dies ist über alle Bereiche des Systems Bahn denkbar: Betrieb, Signaltechnik, Infrastruktur, Fahrzeuge, Reisende und Güterverkehr.

### Standardisierung von Hardware, Software und Schnittstellen

Ein allgegenwärtiges Thema in der Digitalisierung ist die Verwendung von standardisierter Hardware, Software und Schnittstellen, um eine Modularisierung der Systeme, eine Kostensenkung und eine Komplexitätsreduktion zu erreichen. Entsprechend ist die Standardisierung auch ein Trend im System Bahn, der sich in Zukunft fortsetzen wird. Verschiedene Zusammenschlüsse sind bereits damit befasst, allgemeine Standards und Referenzen zu entwerfen. Darunter befinden sich EULYNX<sup>31</sup>, OCORA<sup>32</sup>, Shift2Rail<sup>33</sup>, Digitale Schiene Deutschland<sup>34</sup> und smartrail 4.0<sup>35</sup>.

---

<sup>31</sup> <https://eulynx.eu/>

<sup>32</sup> <https://github.com/OCORA-Public/Publication/>

<sup>33</sup> <https://shift2rail.org/>

<sup>34</sup> <https://digitale-schiene-deutschland.de/de>

<sup>35</sup> <https://www.smartrail40.ch/>

### **Automatisierung der Sicherheitsnachweise**

Ein großes Potential, Prozesse zu vereinfachen, zu beschleunigen und die Fehleranfälligkeit zu reduzieren, liegt in der Digitalisierung und (Teil-)Automatisierung der Sicherheitsnachweise, insbesondere für die Fahrzeugtechnik sowie für die Leit- und Sicherungstechnik, aber auch für weitere sicherheitskritische Systeme (Safety). Ein erster Schritt zur Vereinfachung ist die Modularisierung der Sicherheitsnachweise zu Teilsystemen mit definierten (logischen) Schnittstellen. Zudem müssen die Anforderungen und Umsetzungen formalisiert werden, um sie automatisiert prüfen zu können.

### **Drahtlose Kommunikation und Vernetzung**

In vielen vorgestellten Anwendungsfällen (dezentrales Stellwerk, kontaktlose Fahrscheinkontrolle, Reisendenlenkung, intermodale Güterabfertigung, virtuelles Kuppeln) nimmt die drahtlose Kommunikation mittels verschiedener Technologien eine prominente Stellung ein, die den Trend zur Kommunikation und Vernetzung bis hin zu kleinsten Komponenten unterstreicht. Künftig könnten kabelgebundene Verteilnetzwerke in Gebäuden und Fahrzeugen komplett entfallen und durch drahtlose Kommunikation ersetzt werden. Auf diese Weise könnten ein drahtloses Verteilnetzwerk den Kommunikationsdienst über ein gesamtes Fahrzeug oder ein Gebäude bereitstellen oder die Geräte direkt miteinander kommunizieren (Device-to-Device-Kommunikation). Das Verlegen von Kabeln entfällt. Gerade in den beschränkten Platzverhältnissen von Eisenbahnfahrzeugen kann der Wegfall von Kabeln eine attraktive Lösung darstellen, die jedoch Auswirkung auf die Verfügbarkeit hat.

### **Co-Working Space am Bahnhof**

Arbeitsplätze, die flexibel für stunden- oder tageweises Arbeiten angemietet werden können, gibt es bereits heute. Diese findet man vornehmlich in den Städten. Die Flexibilität, die von Arbeitgeber und Arbeitnehmer gefordert werden, ist hoch. Dabei bestehen zwei gegenläufige Interessen. Einerseits wird eine möglichst hohe örtliche Flexibilität gefordert. Andererseits besteht der Bedarf zu hoher Arbeitszeiteffizienz, d. h. „Totzeiten“ sollen reduziert werden. Dafür kommen gerade im Laufe des letzten Jahres pandemiebedingt stärker Home-Office-Lösungen zum Einsatz. Allerdings verfügen viele Arbeitnehmer nicht über ausreichend heimischen Platz für eine dauerhafte Home-Office-Lösung. Die Trennung von Arbeit und Privatem ist nur ein weiterer Aspekt. So ist davon auszugehen, dass flexible Arbeitsplatzlösungen zunehmen werden. Aufgrund der häufig zentralen Lage bieten sich Bahnhöfe sowohl für Co-Working, wie auch für effizientes Präsenz-Meeting an, da Wegezeiten völlig entfallen. Dies kann sich im Sinne des Bahnbetriebs gegenseitig fördern. Die Verfügbarkeit aller benötigten Services an Bahnhöfen fördert die Bahnhof-zu-Bahnhof-Reise und stärkt die Vorteile gegenüber Flug- und Autoverkehr.

Technisch ist für diese Anwendung eine Arbeitsplatzausrüstung erforderlich, die einen breitbandigen Internetzugriff erlaubt. Weiterhin sollten IT-Lösungen, wie Smart-Board/TV, ggf. sogar Laptops/Workstations zur Verfügung stehen, die flexibel genutzt werden können. Hierfür sind geeignete Systeme vorzuhalten. Da es sich hier um keine weitere Vernetzung im Sinne des bahnbetrieblichen Ablaufs handelt, sollen diese Aspekte nicht weiter im Detail untersucht werden. Gleichwohl sind sie ein wesentlicher Faktor in der Entwicklung des Bahnsystems aus Sicht des Kunden.

### **Mobiles Arbeiten**

Mobiles, d. h. ortsunabhängiges Arbeiten ist im heutigen Büro-Alltag bereits weit verbreitet. Unter Einsatz mobiler Endgeräte ist es möglich, von außerhalb auf Firmen- und Behördenetze zuzugreifen und unter Nutzung derselben Ressourcen die gleichen Arbeiten durchzuführen, wie nach dem Einloggen in das Netzwerk vor Ort im Betrieb. Dies umfasst auch Wartungsarbeiten an der IT-Infrastruktur, die dann ohne Präsenz der IT-Betreuer im Betrieb durchgeführt werden können. Durch den Aufbau gesicherter Verbindungen, z. B. VPN-Tunnels, ist auch der Schutz sicherheitskritischer Daten bei der Übertragung vom und zum mobilen Endgerät gewährleistet.

Auch der Weg von und zur Arbeit sowie sonstige Reisewege werden zunehmend für mobiles Arbeiten genutzt, wie z. B. eine aktuelle ADAC-Studie belegt (Zukunftsinstitut GmbH, 2020). Dies beinhaltet im Rahmen der Fortschritte beim autonomen Fahren auch das Automobil als mobilen Arbeitsplatz.

Im Bereich vernetzter technischer Infrastrukturen, z. B. im Verkehrs- und Energiewesen, sind die Techniken des mobilen Arbeitens besonders hilfreich, um Ferndiagnosen und Fernwartungen durchzuführen. Ein Service-Techniker kann von einem beliebigen Ort direkt mit der Infrastruktur und ihren vernetzten Komponenten Kontakt aufnehmen und muss nicht an der zu versorgenden Infrastruktur vor Ort zu sein. So können Funktionsstörungen nicht nur erkannt, sondern je nach Art und Umfang auch von außerhalb behoben werden, z. B. durch Software-Updates, Neu-Konfigurationen oder Neustarts.

Im Bahnbereich nutzen Fahrgäste schon heute den Zug regelmäßig als mobilen Arbeitsplatz, insbesondere gemeinsam mit dem drahtlosen Bord-Netzwerk (WLAN). Der Trend zum mobilen Arbeiten bei Reisen mit der Bahn wird sich durch die Einrichtung von Co-Working Spaces an Bahnhöfen weiter verstärken.

Neben den Fahrgästen wird sich auch bei den Bahnbediensteten der Trend verstärkt hin zum mobilen Arbeiten entwickeln. Dies betrifft sowohl allgemeine Dispositionstätigkeiten als auch die vorher erwähnten Möglichkeiten der Ferndiagnose und Fernwartung, welche auch im Bahnbereich anwendbar sind. Grundsätzlich entwickelt sich bei allen Komponenten des Systems Bahn der Trend hin zur Fernsteuerung über Rechner, die in ein Netzwerk eingebunden sind bzw. sich mit einem Netzwerk verbinden. In allen diesen Fällen kann die Steuerung durch das Bedienungspersonal auch von einem mobilen Endgerät, z. B. einem Laptop, erfolgen, so dass ein mobiles Arbeiten möglich ist.

### **Mobilität als Dienstleistung**

Durch die Entwicklung hochintelligenter, vernetzter Fahrzeuge und der damit verbundenen Szenarien des autonomen Fahrens tritt das Automobil als Besitzgegenstand zunehmend in den Hintergrund. Mit den angebotenen Technologien verfolgt die Automobilindustrie nicht mehr das vorrangige Ziel, Automobile an Kunden zu verkaufen, sondern viel mehr die Mobilität, d. h. die Beförderung von Ort zu Ort als Dienstleistung anzubieten (Mobility-as-a-Service, MaaS).

Dieser Trend hat im Bereich der Automotive-Technologien zunächst Auswirkungen auf die Bereiche Car Sharing, Car Leasing oder Angebot von Mietfahrzeugen. Die Weiterentwicklung der Technologien unter dem Aspekt der Mobilität als Dienstleistung fördert aber auch die zunehmende Eignung dieser Technologien im Bahnsektor, in dem das autonome Fahren einfacher zu realisieren ist als bei Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen.

Die Wahl des Transportmittels (Zug, Bus, Auto, Fahrrad) spielt dabei keine Rolle und es werden sogar verschiedene Beförderungsmittel kombiniert, um den Kunden an sein Ziel zu bringen. Auch die Kombination verschiedener Verkehrsmittel wird dem Reisenden als ein Gesamtpaket präsentiert und verkauft.

### **Selbstdiagnose**

Die zunehmend verwendete Sensorik zur digitalen Überwachung von Objekten, Fahrzeugen und Infrastruktur spiegelt sich bereits in den zuvor beschriebenen Anwendungsfällen wider. Sensoren werden eingesetzt, um den aktuellen Zustand des überwachten Objektes zu erfassen. Auf diese Weise kann für eine steigende Zahl Komponenten automatisiert eine digitale Diagnose erstellt werden. Darüber hinaus ist es möglich, dass die Sensorik selbst ihren eigenen Zustand überwacht, um Messfehler zu reduzieren und das Vertrauen in die Korrektheit der Messdaten zu erhöhen.

### **Vernetzung und Zusammenführung von Datenquellen**

Die Vernetzung und Zusammenführung von Datenquellen ist Grundlage einiger Anwendungsfälle wie der „Optimierung der Fahrgastwechselzeit“ und der „Intermodalen Reisekette“. Diese beiden Beispiele zeigen, wie Datenquellen über Unternehmensgrenzen hinweg genutzt werden können, um einen Mehrwert (hier für den Fahrgast) zu generieren, der ohne den Datenaustausch nicht möglich gewesen wäre. Diese Art des Datenhandels wird weiter an Bedeutung gewinnen. Ob sich frei verfügbare Schnittstellen (OpenData), vertraglich geregelte Abkommen oder das automatisierte Einlesen von Quellen (Crawler) durchsetzen wird, lässt sich heute nur schwer abschätzen. Sehr wahrscheinlich ist allerdings, dass der Datenaustausch ein wichtiger Bestandteil des operativen Geschäftes und des Geschäftsmodells sein wird.

## 6 Bewertung der Technologien

Mit den Use Cases ist eine Anwendungsbeschreibung der zuvor ausgewählten Technologien erfolgt. Daraus leitet sich der Kontext der Nutzung der Technologien ab. Dies bildet die Grundlage, um für den Abschluss der Technologieprognose eine Wahrscheinlichkeit des Einsatzes der Technologien im zukünftigen Bahnsystem zu ermitteln. Der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung liegt der Zeitraum 2021 bis 2050 (Abbildung 27) zugrunde.



Abbildung 27: Betrachtungszeitraum der Technologieprognose

Dabei ist aus heutiger Sicht (2021) besonders der Innovationszyklus zwischen 2030 und 2050 von Bedeutung, da dann Technologien bereits eingesetzt werden könnten, deren Verwendung nach dem heutigen Stand der Forschung und Entwicklung ohnehin schon als sicher gelten.

Die Wahrscheinlichkeit der Verwendung wurde in die vier Intervalle „unwahrscheinlich“, „möglich“, „wahrscheinlich“ und „sicher“ quantisiert (siehe Abbildung 28), um eine strukturierte Einteilung vornehmen zu können. Eine detailliertere Abstufung erscheint nicht sinnvoll, da die Prognose einen Zeitraum von 30 Jahren umfasst und eine präzisere Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeit von zu großer Unsicherheit behaftet wäre.



Abbildung 28: Bewertungsskala der Technologieprognose

Tabelle 22 fasst die Wahrscheinlichkeit des Einsatzes für alle identifizierten Technologien im Betrachtungszeitraum zusammen. Dabei werden zwei Kategorien betrachtet. Der Einsatz und die Integration der Technologie in die (alltäglichen) Bahnprozessabläufe einerseits und die Nutzung der Technologie zur Innovation, Entwicklung und Optimierung des Systems Bahn als Vorstufe zu einer möglichen späteren Integration. Es wurden zahlreiche Technologietrends identifiziert, bei denen mindestens die Möglichkeit des Einsatzes im System Bahn besteht. Dagegen konnten keine Technologien gefunden werden, deren Einsatz im System Bahn künftig völlig ausgeschlossen ist. Dies liegt zum einen daran, dass die Durchlässigkeit zwischen Industriezweigen für Technologien immer weiter zunimmt und andererseits die Betrachtung des Automotive-Bereiches bei dieser Technologieprognose den Optionsraum deutlich erweitert. Der Ausschluss von offensichtlich ungeeigneten Technologien ist dabei methodisch bedingt und prozessbegleitend auf Basis der Literaturrecherche, der vorhandenen Expertise im Projektteam sowie den Expertenworkshops mit den FbA-Mitgliedern sichergestellt. Es wird angenommen, dass durch die gewählte Methodik der Erhebung sichergestellt ist, dass eine hinreichende Menge von relevanten Technologien identifiziert wurde, die ein zuverlässiges Bild des zukünftigen Technologiemies und dessen Vernetzung erlaubt. Eine Vollständigkeit kann und soll diese Studie dennoch nicht garantieren. Eine breite Grundlage für die Betrachtung der IT-Sicherheit im weiteren Verlauf ist mit der Technologieprognose ausreichend gewährleistet.



TABELLE 22: BEWERTUNG DES TECHNOLOGIEEINSATZES

Technologie	Integriert in Bahnprozessabläufe	Innovation, Entwicklung und Optimierung
3D-Druck	wahrscheinlich	sicher
Affective Computing	wahrscheinlich	sicher
Andere Formen von spurgebundenem Verkehr	möglich	wahrscheinlich
Augmented und Virtual Reality	sicher	sicher
Automated Personal Assistant	wahrscheinlich	sicher
Automatic Train Operation und Autonomes Fahren	sicher	sicher
Big Data	wahrscheinlich	sicher
Biometrie	möglich	wahrscheinlich
Blockchain, Smart Contracts und Distributed Ledgers	möglich	wahrscheinlich
Communication-Based Train Control	sicher	sicher
Digitale Karte	sicher	sicher
Digitaler Zwilling	sicher	sicher
Digitales Stellwerk	sicher	sicher
Drahtlose Kommunikationsnetzwerke: LPWAN, LoRa, SigFox, ZigBee, Bluetooth	wahrscheinlich	sicher
ETCS L2oS	sicher	sicher
ETCS L3 Hybrid	sicher	sicher
ETCS Level 3	wahrscheinlich	sicher
Fiber Optic Sensing (Faseroptische Sensorik)	sicher	sicher
Fog-, Edge- und Cloud-Computing	sicher	sicher
FRMCS	sicher	sicher
Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS)	sicher	sicher
High Performance Computing und Exascale Computing	möglich	wahrscheinlich
Industrieroboter und Roboterassistenten	sicher	sicher
Infrastrukturmodellierung und Building Information Modelling	sicher	sicher
Intelligente Automatisierung	sicher	sicher
Intelligente Instandhaltung (Predictive Maintenance)	sicher	sicher
Internet of Things	sicher	sicher

Technologie	Integriert in Bahnprozessabläufe	Innovation, Entwicklung und Optimierung
Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen	sicher	sicher
M2M-Kommunikation	sicher	sicher
Mensch-Maschine-Interaktion	sicher	sicher
Mobilfunk der kommenden Generation, wie 5G und Nachfolgetechnologien	sicher	sicher
Moderne Sensorik durch Kameras, Lidare, Radare, Ultraschall	sicher	sicher
Neuartige Ortungslösungen und Zugintegritätssysteme	sicher	sicher
Neuromorphic Hardware	möglich	wahrscheinlich
Open Data	wahrscheinlich	sicher
Quantencomputer	unwahrscheinlich	möglich
Safe Computing Platform	wahrscheinlich	wahrscheinlich
Satellitenfunk	möglich	sicher
Train-to-Train Communication	wahrscheinlich	sicher

## 7 Fazit

Die Anwendungsfälle in Verbindung mit den Technologien beschreiben ein umfassendes Zukunftsbild des Systems Bahn, das sich auf die neuen Services und vor allem neuen Technologien fokussiert. Dabei stellt die Übersicht der Anwendungsfälle einen Querschnitt, der das Ziel des Gesamtprojekts – die Prognose der Securitybedarfe – realistisch ermöglicht, aber keinesfalls vollständiges Zukunftsbild des Systems Bahn dar. Es zeigt sich, dass zahlreiche Technologien auf unterschiedliche Art und in verschiedener Ausprägung zu mehreren Zwecken eingesetzt werden können. Dies betrifft besonders die Kommunikation der beteiligten Personen und Systeme. Funktechnologien wie FRMCS werden eine zentrale Rolle einnehmen, um den Datenaustausch für eine Vielzahl von Services des Bahnbetriebs (bspw. Zugsicherung) und der Kundenkommunikation (bspw. Reisendenlenkung) bereitzustellen. Auch heute noch wenig bis gar nicht eingesetzte kabellose Übertragungsmöglichkeiten wie Satellitenfunk stellen ein realistisches Szenario dar, um in Kombination aus verschiedenen Kommunikationstechnologien die Resilienz des Systems zu erhöhen.

Im Fokus vieler Anwendungsgebiete („Use Cases“) stehen das Monitoring von Zustand und Bewegung aller Teilnehmer – Personen, Güter, Fahrzeuge – im Gesamtsystem. Diese beschränken sich nicht auf die heute prominenten Themen wie das Internet of (Railway) Things, die Verfolgung und Parameterüberwachung bei Gütern, die Unterstützung der Instandhaltung der Infrastruktur oder das Verbessern des Reiseerlebnisses für die Fahrgäste. Um einen gesteigerten Mehrwert durch die Vernetzung und Interaktion erzielen zu können, muss diese Vernetzung auch auf Seiten der zahlreichen Betreiber, Hersteller und Lieferanten des Systems Bahn abgebildet werden. Dies erfordert, dass Unternehmen ihre individuellen Datenbestände verknüpfen, was entsprechende Konzepte und Modelle zum digitalen Datenaustausch impliziert, die auch die Belange der IT-Sicherheit berücksichtigen. Daraus ergibt sich auch die Möglichkeit dem Kunden aus Personen- und Güterverkehr eine bessere Integration des intermodalen Transportes und einen reibungslosen Übergang zwischen den Verkehrsträgern zu bieten, indem die relevanten Informationen unternehmensübergreifend zur Verfügung stehen, bis hin zur Bereitstellung von auf den einzelnen Kunden individuell zugeschnittener Information. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass sich die Anbieter von Mobilität andere Lebensbereiche technisch erschließen und in ihr Geschäftsmodell integrieren, um ihre Zukunftsfähigkeit sicherzustellen. Beispiele sind im Anwendungsfall „Reise- und Lebensmanagement“ und in den Trends „Co-Working Space“ und „Mobiles Arbeiten“ beschrieben.

Im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik zeichnet sich ab, dass Stellwerke über die heutigen Elektronischen und Digitalen Stellwerke (ESTW und DSTW) hinaus weiterentwickelt werden. In den Anwendungsfällen „Cloud-Stellwerk“ und „Dezentrales Stellwerk“ wurden zwei konträre Beispiele skizziert, die eine starke Zentralisierung bzw. eine starke Dezentralisierung der Stellwerkslogik und Sicherungssysteme beschreiben. Je nach Vorteilen für den Bahnbetrieb ist zu erwarten, dass sich diese beiden gegensätzlichen Strategien in verschiedenen Anwendungsrahmen durchsetzen. Beiden gemein ist der Bedarf an sicheren („secure“) Kommunikationswegen und damit IT-Sicherheitskonzepten, deren Betrachtung Gegenstand der weiteren Analyse sein wird.

Über alle Disziplinen hinweg haben sich das digitale Abbild der Realität in verschiedener Granularität (Digitaler Zwilling), die Notwendigkeit lokaler Vernetzung zur Beherrschung der Datenmengen sowie Künstliche Intelligenz als zentrale Technologietrends herauskristallisiert.

In dieser Technologieprognose blieben die Anforderungen an die IT-Sicherheit bewusst unberücksichtigt, um eine möglichst vollständige Erhebung relevanter Technologien durchzuführen, um von vornherein Ausschlüsse durch „Bedenken“ zu verhindern. Nach der Skizzierung der Anwendungsfälle sind zentrale Herausforderungen bzw. Konflikte zwischen Anwendungsziel und Schutzziel bereits absehbar:

- Hohes Vertrauen in die **Korrektheit** von erhobenen Daten (z. B. Sensordaten), um auf ihrer Basis operative Entscheidungen treffen zu können bei gleichzeitig millionenfacher Sensorverteilung im Kleinformat;
- **Integrität** und **Authentizität** beim Austausch der Daten in den unterschiedlichsten Kommunikationsnetzen ohne Sicherstellung einer Vermittlungsstelle (Vehicle to Vehicle, Object to Object);
- Wahrung der **Privatsphäre** und des **Datenschutzes** bei der Erhebung und Speicherung von (personenbezogenen) Daten auch über mehrere Datensätze und den Austausch über Unternehmensgrenzen hinweg unter Erhalt der Nutzbarkeit (Auswertung) der Information;
- Räumlich und zeitlich uneingeschränkte **Verfügbarkeit** von Daten und Kommunikation und damit **Resilienz** der Übertragungsnetze gegen Ausfälle und gezielte Störungen;
- Einfluss der Digitalisierung und damit der IT-Sicherheitskonzepte auf die **funktionale Sicherheit** des Bahnbetriebs;
- Flexible Weiterentwicklung der Algorithmen durch KI-Methoden auch im Bereich unüberwachten Lernens bei gleichzeitiger Beibehaltung einer Vorhersagbarkeit der Systemreaktion für Agieren im sicherheitsrelevanten Anwendungsbereich.

Zusammenfassend zeichnet sich eine Technologieprognose, die die Verschmelzung des Systems Bahn mit anderen Verkehrsträgern und weiteren Disziplinen des täglichen Lebens zeigen. Im Zielzustand ist eine vollständige Integration durch die durchgängige Vernetzung denkbar, die – zumindest theoretisch – vollständige Objektivität aufgrund kompletter digitaler Abbildung erlaubt. Die Herausforderung der Umsetzung wird durch die Datenmenge und die schützenswerten Güter verdeutlicht, die eine vollständige, uneingeschränkte Integration in dem Betrachtungszeitraum bis 2050 unwahrscheinlich erscheinen lässt. Die folgenden Arbeitspakete des Forschungsprojektes „Prognose Securitybedarf und Bewertung möglicher Sicherheitskonzepte“ beinhalten Security-Analysen („AP 2 Prognose Securitybedarf“ und „AP 3 Risikoanalyse“) und daraus abzuleitenden Security-Maßnahmen („AP 4 Sicherheitskonzepte“). Sie werden Grenzen der vollständigen Vernetzung und Möglichkeiten zur Hebung des großen Potentials der umfassenden Vernetzung aufzeigen.

# Abkürzungsverzeichnis

AFB	Automatische Fahr- und Bremssteuerung
AI	Artificial Intelligence
ATO	Automatic Train Operation
ATP	Automatic Train Protection
AT	Automatic Train Supervision
BIM	Building Information Modelling
CBTC	Communication-Based Train Control
COTS	Commercial off-the-shelf
CPS	Cyber Physical Systems
CTMS	Capacity Traffic Management System
DAK	Digitale Automatische Kupplung
DSTW	Digitales Stellwerk
DTO	Driverless Train Operation
EBA	Eisenbahn Bundesamt
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen, Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen, Eisenbahnverkehrsunternehmen
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GoA	Grade of Automation
IoRT	Internet of Railway Things
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz

LWL	Lichtwellenleiter
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
M2M	Machine-to-Machine
NTO	Non-automated Train Operation
SAE	Society of Automotive Engineers
SIL	Safety Integrity Level
STO	Semi-automated Train Operation
TCG	Trusted Computing Group
TPM	Trusted Platform Module
UTO	Unattended Train Operation
V2G	Vehicle-to-Grid
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2N	Vehicle-to-Network
V2P	Vehicle-to-Pedestrian
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Everything
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDB	Verband der Bahnindustrie

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Design Thinking Prozess.....	12
Abbildung 2: Übersicht System Bahn .....	14
Abbildung 3: Virtuelle Post-Its .....	15
Abbildung 4: System Bahn .....	17
Abbildung 5: Legende der Anwendungsfälle.....	48
Abbildung 6: Anwendungsfall „Cloud-Stellwerk“ .....	49
Abbildung 7: Anwendungsfall „Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren“ .....	51
Abbildung 8: Anwendungsfall „Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz“ .....	53
Abbildung 9: Anwendungsfall „Steuernder Durchgriff der Disposition“ .....	55
Abbildung 10: Anwendungsfall „Intermodale Reisekette“ .....	58
Abbildung 11: Anwendungsfall „Intermodale Güterabfertigung“ .....	61
Abbildung 12: Anwendungsfall „Virtuelles Kuppeln für HGV und Güter“ .....	64
Abbildung 13: Anwendungsfall „Automatisierte Planung und Planprüfung“ .....	66
Abbildung 14: Anwendungsfall „Reise- und Lebensmanagement“ .....	68
Abbildung 15: Anwendungsfall „Güterwegemanagement“ .....	70
Abbildung 16: Anwendungsfall „Kontaktlose Fahrscheinkontrolle“ .....	73
Abbildung 17: Anwendungsfall „Personenidentifizierung“ .....	75
Abbildung 18: Anwendungsfall „Reisendenlenkung durch den Bahnhof“ .....	77
Abbildung 19: Anwendungsfall „Optimierte Reise- und Preisgestaltung“ .....	80
Abbildung 20: Anwendungsfall „Optimierung der Fahrgastwechselzeit“ .....	83
Abbildung 21: Anwendungsfall „Vorort-Informationen am Bahnsteig“ .....	86
Abbildung 22: Anwendungsfall „Emotions- und Absichtserkennung der Reisenden“ .....	89
Abbildung 23: Anwendungsfall „Automatisierte Ablaufsteuerung“ .....	91
Abbildung 24: Anwendungsfall „Intelligente Instandhaltung“ .....	93
Abbildung 25: Anwendungsfall „Vollautomatisiertes Fahren“ .....	95
Abbildung 26: Anwendungsfall „Zugsicherung mit ETCS“ .....	98
Abbildung 27: Betrachtungszeitraum der Technologieprognose.....	104
Abbildung 28: Bewertungsskala der Technologieprognose.....	104

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendungsfall „Cloud-Stellwerk“.....	49
Tabelle 2: Anwendungsfall „Dezentrales Stellwerk und stellwerkloses Fahren“ .....	51
Tabelle 3: Anwendungsfall „Ferngesteuerte Fahrzeuge ohne Intelligenz“.....	53
Tabelle 4: Anwendungsfall „Steuernder Durchgriff der Disposition“ .....	55
Tabelle 5: Anwendungsfall „Intermodale Reisekette“ .....	58
Tabelle 6: Anwendungsfall „Intermodale Güterabfertigung“ .....	61
Tabelle 7: Anwendungsfall „Virtuelles Kuppeln für HGV und Güter“ .....	64
Tabelle 8: Anwendungsfall „Automatisierte Planung und Planprüfung“ .....	66
Tabelle 9: Anwendungsfall „Reise- und Lebensmanagement“ .....	68
Tabelle 10: Anwendungsfall „Güterwegemanagement“ .....	70
Tabelle 11: Anwendungsfall „Kontaktlose Fahrscheinkontrolle“ .....	73
Tabelle 12: Anwendungsfall „Personenidentifizierung“ .....	75
Tabelle 13: Anwendungsfall „Reisendenlenkung durch den Bahnhof“ .....	77
Tabelle 14: Anwendungsfall „Optimierte Reise- und Preisgestaltung“ .....	80
Tabelle 15: Anwendungsfall „Optimierung der Fahrgastwechselzeit“ .....	83
Tabelle 16: Anwendungsfall „Vorort-Informationen am Bahnsteig“ .....	86
Tabelle 17: Anwendungsfall „Emotions- und Absichtserkennung der Reisenden“ .....	89
Tabelle 18: Anwendungsfall „Automatisierte Ablaufsteuerung“ .....	91
Tabelle 19: Anwendungsfall „Intelligente Instandhaltung“ .....	93
Tabelle 20: Anwendungsfall „Vollautomatisiertes Fahren“ .....	95
Tabelle 21: Anwendungsfall „Zugsicherung mit ETCS“ .....	98
Tabelle 22: Bewertung des Technologieeinsatzes.....	105



# Quellenverzeichnis

Ali, S., 2019. *Vehicle to Vehicle communication*. [Online]  
Available at: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24951.88487>

AUTOSAR, 2020. *Specification of Communication Management, AP Release20-11*. s.l.:s.n.

AUTOSAR, 2020. *Specification of secure onboard communication, CP Release 20-11*. s.l.:s.n.

Biz4Intellia, kein Datum *Application Of IoT In Automotive Industry | Future Of Automobiles*. [Online]  
Available at: <https://www.biz4intellia.com/blog/iot-applications-in-automotive-industry/>  
[Zugriff am 24 Februar 2021].

CENELEC, 2021. *prTS 50701:2021-01 Bahnanwendungen - Cybersecurity*, s.l.: s.n.

Chukwu, U. C. & Mahajan, S. M., 2017. *Modeling of V2G net energy injection into the grid*. s.l., s.n., pp. 437-440.

Clark, J., 2016. *What is the Internet of Things (IoT)?*. [Online]  
Available at: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>  
[Zugriff am 24 Februar 2021].

ComputerWeekly, 2018. *Affective Computing (Emotion AI)*. [Online]  
Available at: <https://www.computerweekly.com/de/definition/Affective-Computing-Emotion-AI>  
[Zugriff am 22 Februar 2021].

Costa, P. et al., 2013. *The Railway Blues: Affective Interaction for Personalised Transport Experiences*. s.l., Proceedings of the 12th international conference on Mobile and ubiquitous multimedia.

Cottingham, D., kein Datum *What is vehicle platooning?*. [Online]  
Available at: <https://www.drivingtests.co.nz/resources/what-is-vehicle-platooning/>  
[Zugriff am 22 Februar 2021].

Deinlein, T., German, R. & Djanatliev, A., 2020. *5G-Sim-V2I/N: Towards a Simulation Framework for the Evaluation of 5G V2I/V2N Use Cases*. s.l., 2020 European Conference on Networks and Communications (EuCNC).

Deutsche Bahn AG, 2019. *Die digitale Revolution im Schienennetz*. [Online]  
Available at: [https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/digitale\\_1st/allgemein-3084902](https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/digitale_1st/allgemein-3084902)  
[Zugriff am 23 Februar 2021].

Deutsche Bahn, 2020. *The Internet of Railway Things Security*. s.l.:Deutsche Bahn.

Deutsche Bahn, 2021. *Integrierter Bericht 2020*,  
<https://www.deutschebahn.com/resource/blob/6066938/de3f3d9dc49ac9a2cf520bcd4c10547c/Kennzahlen2020-data.pdf>: Deutsche Bahn.

Dold, F., 2019. *The GNU Taler system : practical and provably secure electronic payments*, Rennes: Université Rennes 1.

Dresdner Neueste Nachrichten, 2019. *Ein Drittel mehr Kapazität bei der Deutschen Bahn*. [Online]  
Available at: <https://www.dnn.de/Nachrichten/Wirtschaft/Ein-Drittel-mehr-Kapazitaet-bei-der-Deutschen-Bahn-so-soll-es-klappen>  
[Zugriff am 30.04.2020].

Dudenredaktion (Hrsg.), kein Datum [Online]  
Available at: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Technologie>

D-Wave Systems Inc., 2020. *D-Wave Announces General Availability of First Quantum Computer Built for Business*. [Online]  
Available at: <https://www.dwavesys.com/press-releases/d-wave-announces-general-availability-first-quantum-computer-built-business>  
[Zugriff am 23. Februar 2021].

Europäische Union, 2020. *VERORDNUNG (EU) 2020/1056 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Juli 2020 über elektronische Frachtförderungsinformationen*. s.l.:s.n.

Eyben, F. et al., 2010. *Emotion on the Road—Necessity, Acceptance, and Feasibility of Affective Computing in the Car*. *Advances in human-computer interaction*, Band 2010.

Ferrari, M., 2020. *Augmented Reality in the Rail Industry: Benefits and Use Cases*. [Online]  
Available at: <https://arvrjourney.com/augmented-reality-in-the-rail-industry-benefits-and-use-cases-670b43a12681>  
[Zugriff am 22. Februar 2021].

Fraunhofer IIS, 2021. *Neuromorphe Hardware*. [Online]  
Available at: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/ki/neuromorphic.html>  
[Zugriff am 18. Februar 2021].

FutureBridge, 2020. *Quantum Computing: A Key to Autonomous Vehicle Industry Success*. [Online]  
Available at: <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/quantum-computing-a-key-to-autonomous-vehicle-industry-success/>  
[Zugriff am 23. Februar 2021].

Gambetta, J., 2020. *IBM's roadmap for scaling quantum technology*. [Online]  
Available at: <https://www.ibm.com/blogs/research/2020/09/ibm-quantum-roadmap/>  
[Zugriff am 23. Februar 2021].

Guggenberger, S., 2019. *3D-Druck in der Automobilindustrie - Die neuesten Projekte*. [Online]  
Available at: <https://www.mission-additive.de/3d-druck-in-der-automobilindustrie--die-neuesten-projekte-a-826570/>  
[Zugriff am 18. Februar 2021].

Hütten, F., 2019. *Der E-Frachtbrief kommt*. [Online]  
Available at: <https://www.dvz.de/rubriken/politik/detail/news/der-e-frachtbrief-kommt.html>  
[Zugriff am 18. Februar 2021].

Infineon Technologies, 2018. *Mensch-Maschine-Interaktion heute und in Zukunft*. [Online]  
Available at: <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/human-machine-interaction>  
[Zugriff am 18. Februar 2021].

Keevill, D., 2017. *Implications of Increasing Grade of Automation*. APTA Rail Conference 2017, Baltimore, s.n.

Köllner, C., 2020. *Wie ist der Status quo beim bidirektionalen Laden?*. [Online]  
Available at: <https://www.springerprofessional.de/ladeinfrastruktur/elektrofahrzeuge/wie-ist-der-status-quo-beim-bidirektionalen-laden-/18217570>  
[Zugriff am 19 Februar 2021].

Kuperberg, M., Kindler, D. & Jeschke, S., 2019. *Are smart contracts and blockchains suitable for decentralized railway control?*, s.l.: s.n.

Lehner, A., Rico García, C. & Strang, T., 2013. On the Performance of TETRA DMO Short Data Service in Railway VANETs. *Wirel. Pers. Commun.*, 69(4), p. 1647–1669.

Liu, Y. & Yuan, L., 2018. Research on Train Control System Based on Train to Train Communication. In: *2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*. s.l.:s.n., pp. 1-5.

Lucas, T., 2017. *Virtual and Augmented Reality in Automotive*. Berlin: BVDW.

Lück, B. & Donner, A., 2020. *4 Vorteile von Edge Computing für das IoT*. [Online]  
Available at: <https://www.bigdata-insider.de/4vorteile-von-edge-computing-fuer-das-iot-a-930139/>  
[Zugriff am 18 Februar 2021].

Martins, F., Kobylnska, A. & Schreiner, J., 2019. *Was bedeutet Edge Computing?*. [Online]  
Available at: <https://www.industry-of-things.de/was-bedeutet-edge-computing-a-678225/>  
[Zugriff am 18 Februar 2021].

McLellan, C., 2019. *What is V2X communication? Creating connectivity for the autonomous car era*. [Online]  
Available at: <https://www.zdnet.com/article/what-is-v2x-communication-creating-connectivity-for-the-autonomous-car-era/>  
[Zugriff am 19 Februar 2021].

novadex, kein Datum *Was ist Cloud Computing?*. [Online]  
Available at: <https://novadex.com/de/glossar-artikel/definition-cloud-computing-was-ist-cloud-computing/>  
[Zugriff am 18 Februar 2021].

Pascoe, R. D. & Eichorn, T. N., 2009. What is communication-based train control?. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 4(4), pp. 16-21.

Rail2X, 2019. *Rail2X*. [Online]  
Available at: <https://rail2x.berlin/>  
[Zugriff am 3 März 2021].

Randelhoff, M., 2014. *Zukunft Mobilität*. [Online]  
Available at: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/90799/schienerverkehr/eisenbahn/fuehrerlose-zuege-technik-zulassung-vorteile-nachteile-streik/>  
[Zugriff am 22 Februar 2021].

Rebbeck, T. et al., 2017. Socio-economic benefits of cellular V2X. *Final Report for 5GAA*.

Rebhan, C., 2021. *Mehr Geld für Schienen als für Straßen*, <https://www.businessinsider.de/politik/deutschland/obwohl-regierung-mehr-fuer-klimaschutz-tun-will-erst-2022-gibt-der-bund-mehr-geld-fuer-schienen-aus-als-fuer-strassen/>: BusinessInsider.

RGBSI, kein Datum *7 Types of Vehicle Connectivity*. [Online]  
Available at: <https://blog.rgbsi.com/7-types-of-vehicle-connectivity>  
[Zugriff am 19 Februar 2021].

Roos, M. & Siegmann, M., 2020. *Technologie-Roadmap für das autonome Autofahren: eine wettbewerbsorientierte Technik- und Marktstudie für Deutschland*. Working Paper Forschungsförderung, No. 188, Düsseldorf: Hans-Böckler Stiftung.

Scherk, J., Pöchlacker-Tröscher, G. & Wagner, K., 2017. *Künstliche Intelligenz - Artificial Intelligence*, s.l.: A Report commissioned by the German Federal Ministry of Transport and Infrastructure.

Schmid, G., Sendlhofer, G. & Lexhaller, M., 2019. Robotik im Gleisbau. *Der Eisenbahningenieur*, Dezember, pp. 17-20.

Schmitz, M., Kerth, S., Sinnecker, G. & Walther, G., 2018. *Modernisierung des deutschen Eisenbahnnetzes durch Digitalisierung und ETCS-Ausrüstung*, Köln: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV).

Singh, J. & Singh, M., 2016. *Evolution in Quantum Computing*. Moradabad, IEEE 2016 International Conference System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART).

Song, H. & Schnieder, E., 2019. Availability and Performance Analysis of Train-to-Train Data Communication System. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(7), pp. 2786-2795.

Stötzel, S., 2020. *Automatische Kupplung im Güterverkehr: Startschuss für Pilotprojekt*. [Online]  
Available at:  
[https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart\\_zentrales\\_uebersicht/Automatische-Kupplung-im-Gueterverkehr-Startschuss-fuer-Pilotprojekt-5444956](https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Automatische-Kupplung-im-Gueterverkehr-Startschuss-fuer-Pilotprojekt-5444956)

Stroh, C. A., 2019. *Edge versus Cloud Computing*. [Online]  
Available at: <https://www.automotiveit.eu/exklusiv/edge-versus-cloud-computing-290.html>  
[Zugriff am 18 Februar 2021].

Telekom, kein Datum *Einfach erklärt: M2M*. [Online]  
Available at: <https://www.telekom.com/de/konzern/details/einfach-erklart-m2m-484528>  
[Zugriff am 19 Februar 2021].

Togashi, H. & Yamada, S., 2009. *Extensibility of vehicle-to-roadside system to vehicle-to-pedestrian system using RFIDs*. s.l., IEEE 2009 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurements Systems.

Toussaint, C., 2021. Einsatz von Drohnen im Bahnbereich. *Der Eisenbahningenieur*, Februar, pp. 21-24.

Wang, Y., Zhang, M., Ma, J. & Zhou, X. S., 2016. Survey on Driverless Train Operation for Urban Rail Transit Systems. *Urban Rail Transit*, Band 2, pp. 1-8.

Wilke, R. & Baranek, M., 2010. Telematik intelligent genutzt. *Der Eisenbahningenieur*, März, pp. 49-50.

Winter, H., Priebe, L. & Schubert, M., 2021. Entwicklung und Integration kontinuierlicher Ortungssysteme. *Signal + Draht*, 1+2, pp. 20-27.

Wolfsberger, J., 2010. : *Frei geschrieben. Mut, Freiheit & Strategie für wissenschaftliche Abschlussarbeiten.* (UTB Schlüsselkompetenzen, 3218) Hrsg. 3. Aufl. Wien: Böhlau.

Wunsch, S., Lehnert, M., Krimmling, J. & Easton, J., 2016. Datenformate, -modelle und -konzepte für den Eisenbahnbetrieb. *Der Eisenbahningenieur*, November, pp. 8-14.

Zelle, D. et al., 2020. *SEPAD – Security Evaluation Platform for Autonomous Driving*. Västerås, Schweden, s.n., pp. 413-420.

Zukunftsinstitut GmbH, 2020. *Die Evolution der Mobilität*. [Online]  
Available at: <https://www.adac.de/verkehr/standpunkte-studien/mobilitaets-trends/mobilitaet-2040/>  
[Zugriff am 11 01 2022].