

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Foto: © Quirin Leppert



[www.yardmanagementhdh.de](http://www.yardmanagementhdh.de)

B/S/H/



FERNRIDE



# YardManagementHDH

## Intelligente Yard-Logistik mit 5G

Wissenschaftliche Begutachtung

Rainer Kiesel | Dezember 2024

## RAINER KIESEL



Foto: © DHBW Heidenheim

Rainer Kiesel, Professor für Maschinenbau und Mechatronik an der DHBW Heidenheim, ist ein Experte im Bereich des autonomen Fahrens. Nach dem erfolgreichen Studium sowohl der Mechatronik als auch der Betriebswirtschaftslehre promovierte er am Lehrstuhl für Informatik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg zum Thema simulative Leistungsbeurteilung von Fahrerassistenzsystemen. Kiesel forschte und entwickelte bei Automobilherstellern und Automobilzulieferern über zehn Jahre an Systemen für autonome Fahrzeuge. Für die Entwicklung von Lidar-Sensoren erhielt er von der ZF Friedrichshafen AG den Graf-von-Soden-Award.

### Impressum

Herausgeber:  
Landratsamt Heidenheim  
Felsenstraße 36  
89518 Heidenheim

Text (inhaltliche Verantwortung):  
Professor Dr. Rainer Kiesel

Fotos & Bildrechte:  
DHBW Heidenheim  
Ignacio Iturrioz Coproductiv  
ITK Engineering  
Johannes Röder  
Quirin Leppert

Gestaltung:  
Werbeagentur 60 Grad  
Christina Sautter  
Hauptstraße 25  
89522 Heidenheim  
www.60-grad.de

Druck:  
BAIRLE Druck & Medien GmbH  
Gutenbergstr. 3  
89561 Dischingen  
www.bairle.de

## INHALTSVERZEICHNIS

01 Herausforderungen in der Logistik	04
02 Technologie und Rahmenbedingungen	06
03 YardManagementHDH	16
04 Fazit und Ausblick	24
Literaturverzeichnis	26

## HERAUSFORDERUNGEN IN DER LOGISTIK

Deutschland ist eine der größten Industrienationen weltweit. Dementsprechend hoch ist der Güterverkehr von und nach, sowie innerhalb Deutschlands.

Im Jahr 2023 betrug der Güterverkehr in Deutschland 3,6 Mrd. Tonnen. Bezogen auf das Transportgewicht erfolgt der Transport zu fast 80% mit dem Lastkraftwagen. [25] Zur Bewertung der Verkehrswegeauslastung ist jedoch nicht nur die Menge von Bedeutung, sondern auch die Strecke, welche zurückgelegt wird.

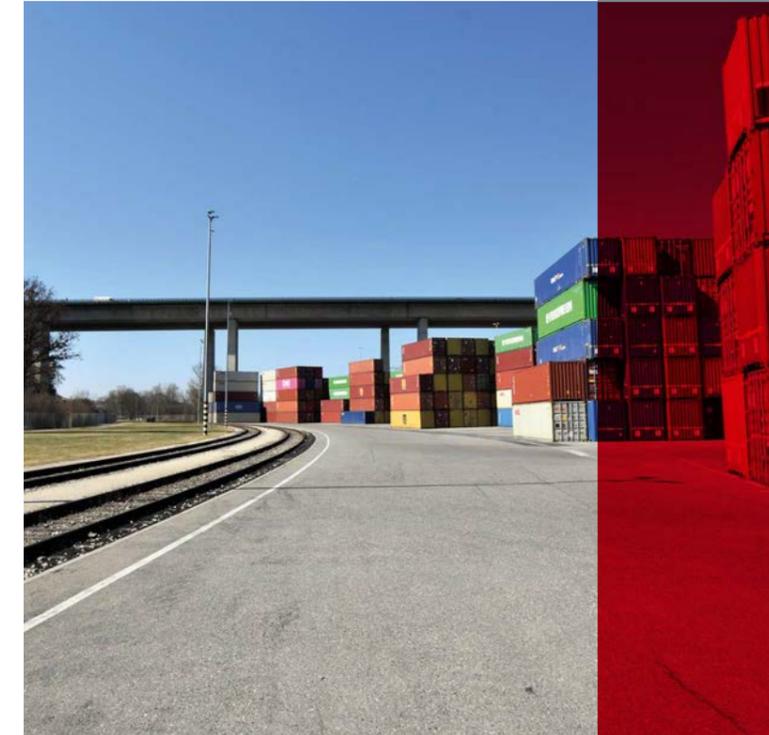
Mit dem Lastkraftwagen werden 286.406 Millionentonnenkilometer zurückgelegt. Dies entspricht 56% des Gesamtaufkommens. Die Eisenbahn kommt auf knapp die Hälfte der Lastkraftwagenmenge. [24] D. h. sowohl Lastkraftwagen als auch Eisenbahn spielen eine wesentliche Rolle beim Güterverkehr.

Das Bundesamt für Digitales und Verkehr erwartet gemäß seiner „Verkehrsprognose 2040“ eine Zunahme der Gütertransportleistung bis zum Jahr 2040 von 31% gegenüber dem Jahr 2019. [40]

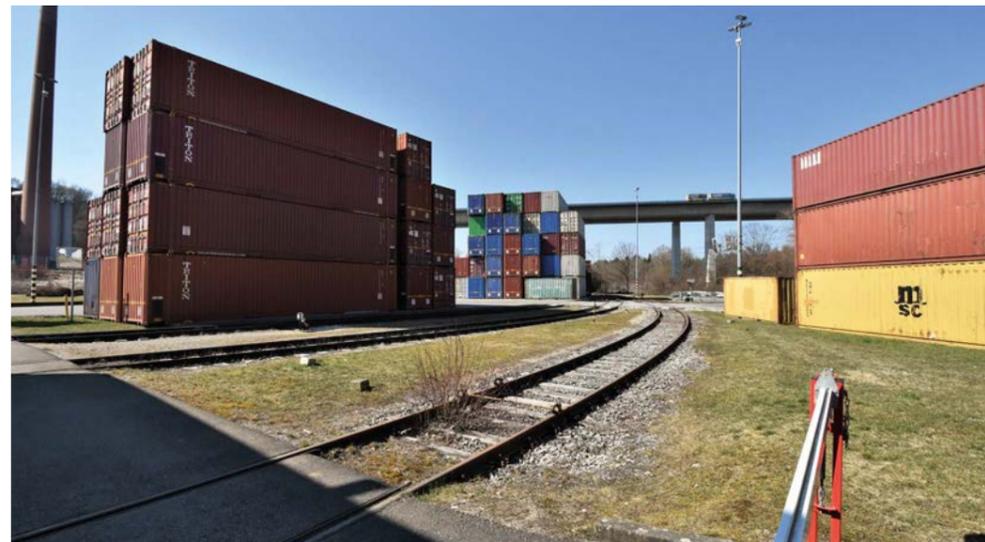
Produziert ein Unternehmen Güter, welche in die ganze Welt exportiert werden, so werden für den Transport meist Container eingesetzt. [39] Als Beispiel sei hier das BSH-Werk in Giengen genannt, in welchem Kühl- und Gefriergeräte produziert werden.



Abbildung 1: (a) Container-Yard  
Foto: © Johannes Röder



(b) Containerverladebereich  
Foto: © Johannes Röder



(c) Güterbahnhof  
Foto: © Johannes Röder

Das Logistikzentrum am Standort versendet pro Jahr 20.000 Container per Eisenbahn und Lastkraftwagen. [16] Für den Versand per Eisenbahn besitzt das Yard einen eigenen Güterbahnhof (siehe Abbildung 1 und 2).

Die Herausforderungen an das BSH-Logistikzentrum sind vielfältig. Zum einen ist Flexibilität gefordert, um den Kunden in Zentraleuropa innerhalb von 2 Tagen die bestellte Ware zu liefern. [16] Zum anderen müssen Container transportiert werden. Jedoch fehlen in Deutschland bereits jetzt 70.000 Lastkraftfahrerinnen und -fahrer. Unter Berücksichtigung der zu erwartende Ein- und Austritte in den Beruf ist die Tendenz steigend. [1]

## TECHNOLOGIE UND RAHMENBEDINGUNGEN

Um das Forschungsprojekt YardManagementHDH in den Stand der Technik einordnen zu können, werden nachfolgend wesentliche technische und nicht-technische Rahmenbedingungen dargestellt.

### Automatisiertes Fahren

Der Automatisierungsgrad des automatisierten Fahrens bis hin zum autonomen Fahren wird von der „Society of Automotive Engineers“ (SAE) in 6 Stufen, sogenannte Levels, unterteilt. [38] Diese Levels werden nachfolgend kurz dargestellt: [13]

#### - Level 0: Keine Fahrautomatisierung

Der Fahrer steuert das Fahrzeug komplett. Er erhält Unterstützung z. B. durch ein elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP).

#### - Level 1: Fahrerunterstützung

Der Fahrer erhält Unterstützung bei der Quer- bzw. Längsführung bspw. durch einen Spurhalteassistenten.

#### - Level 2: Teilweise Automatisierung des Fahrens

Ausgewählte Fahrmodi können durch Assistenzsysteme übernommen werden. Der Fahrer muss jederzeit in das Fahrsystem eingreifen können. Zu den Level 2 Systemen gehört bspw. der Stauassistent.

#### - Level 3: Bedingte Fahrautomatisierung

Der Fahrer kann die Verkehrsüberwachung für eine begrenzte Zeit an das Fahrsystem abgeben. Das System überwacht das Verkehrsgeschehen und fordert den Fahrer bei Bedarf zu einem Eingreifen auf. Zu diesen Systemen gehört bspw. ein Autobahnfahrpilot, welcher die Fahraufgaben auf Autobahnen übernehmen kann.

#### - Level 4: Hochautomatisiertes Fahren

Die wesentliche zusätzliche Aufgabe auf dieser Stufe ist, dass nicht mehr der Fahrer das Fahrzeug im Gefahrenfall in den sicheren Zustand bringt. Dies kann auf dieser Stufe das Fahrzeug selbst erreichen.

#### - Level 5: Vollautomatisiertes Fahren

Auf dieser Stufe wird der Fahrer nicht mehr benötigt. Das Fahrzeug übernimmt alle Fahrfunktionen.

Die SAE-Levels legen den Fokus auf den technischen Automatisierungsgrad des Fahrens. Eine alternative Betrachtung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) legt den Fokus auf die Rolle, welche der Mensch einnimmt. Diese Betrachtung stellt eine nutzerzentrierte Vereinfachung dar. [13]

Nach der BASt Nomenklatur wird zwischen (i) assistiertem (SAE-Level 1 und 2), (ii) automatisiertem (SAE-Level 3) und (iii) autonomem Modus (SAE-Level 4 und 5) unterschieden. Die Rolle des Menschen beim assistierten Modus ist „Fahrer“, beim automatisierten Modus „Nutzer“ und beim autonomen Modus „Passagier“. [31, 13]



Abbildung 2: Containerverladung  
Foto: © Quirin Leppert



Abbildung 3: Teleoperator  
Foto: © Quirin Leppert



Wichtig an der Stelle ist anzumerken, dass mit zunehmendem SAE-Level die technischen Herausforderungen bei der Umsetzung nicht zwangsläufig auch zunehmen.

SAE-Level 3 hat für Entwickler technisch anspruchsvollere Aufgaben als der SAE-Level 4. Dies liegt an der notwendigen Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrer. Bspw. bedarf es für die Übergabe der Fahraufgabe vom Fahrzeug zum Fahrer die Beobachtung und Überwachung des Fahrers. [45]

Auch innerhalb eines SAE-Levels kann es große Unterschiede in den technischen Anforderungen für die Realisierung geben. Eine Realisierung eines SAE-Level 4 Personenbeförderungsfahrzeuges, welches in der Literatur gerne auch als „people mover“ bezeichnet wird, auf einem abgeschlossenen Bereich, wie bspw. einem Flughafen, lässt sich einfacher realisieren als ein Pkw für die private Nutzung, der im öffentlichen Straßenverkehr betrieben wird. [45]

## 5G- MOBILFUNK

5G-Mobilfunk, oder kurz 5G, ist die fünfte Generation des Mobilfunkstandards. Das europäische Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI) hat folgende 3 Anwendungsszenarios für 5G identifiziert: [43]

### 1. Erweitertes mobiles Breitband

(engl. enhanced mobile broadband, eMBB)

Hierzu gehören Anwendungen, welche eine hohe Datenrate, wie bspw. Videostreaming oder Multimedia, benötigen.

### 2. Massive maschinenartige Kommunikation

(engl. massive machine-type communications, mMTC)

Bei diesem Anwendungsszenario steht ein geringer Energieverbrauch und eine geringe Datenrate für eine sehr hohe Anzahl an verbundenen Geräten im Fokus. Dies ist bspw. für die Vernetzung von Sensoren und Aktoren im Produktionsprozess von Bedeutung.

### 3. Äußerst zuverlässige Kommunikation mit geringer Latenz

(engl. ultra-reliable and low latency communications, URLLC)

In dieses Anwendungsszenario werden verteilte Systeme eingeordnet, welche Daten unter der Berücksichtigung von Latenzschränken austauschen müssen. Hierzu gehört bspw. der Bereich des automatisierten Fahrens.

Neben dem öffentlichen 5G-Netz sind auch private 5G-Netze, sogenannte 5G-Campusnetze verbreitet. Das 5G-Campusnetz ist ein lokales Netz, welches autark vom öffentlichen Netz betrieben werden kann. Der Nutzerkreis, bspw. beschränkt auf Geräte der Mitarbeiter, wird vom Betreiber des Netzes administriert. Die Kommunikationsschnittstelle kann auf das interne Firmennetz beschränkt werden. Dies bietet Vorteile für die Informationssicherheit. [42]

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie hat 12 Vorteile von 5G-Campusnetzen identifiziert. Hierzu zählen u. a. (i) die Einhaltung von Latenzschränken, (ii) der nahtlose Wechsel von Geräten zwischen Funkzellen sowie (iii) die Optimierung der Güte der Datenübertragung. [41] Diese Vorteile ermöglichen die Steuerung von fahrerlosen Transportsystemen in einem 5G-Campusnetz.

Für die weiteren Vorteile sei auf die Literatur verwiesen. Der Betrieb eines Campusnetzes bedarf einer Lizenzierung durch die Bundesnetzagentur. Für die Frequenzuteilung ist eine Gebühr zu entrichten. [41]

## GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Kommt es im Straßenverkehr zu einem Unfall oder zu Regelverstößen, so ist in den aller meisten Fällen ein Mensch verantwortlich. Daran ändert sich auch bei Fahrzeugen der SAE-Level 1 und 2 nichts, da hier die Verantwortung beim Fahrer des Fahrzeugs liegt.

Anders sieht es bei den höheren SAE-Levels aus. Denn hier gibt der Mensch Verantwortung an das Fahrzeug zeitlich begrenzt (SAE-Level 3) oder dauerhaft (SAE-Level 4 und 5) ab.

Der Gesetzgeber hat bereits auf die veränderten technischen Rahmenbedingungen reagiert. Die Gesetzesänderung, das achte Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes, trat am 21. Juni 2017 in Kraft. Darin wurde bspw. geregelt, dass zur Übergabe der Fahrzeugsteuerung vom automatisierten Fahrsystem (SAE-Level 3) an den Fahrer eine "ausreichende Zeitreserve" vorzusehen ist. [37]

Eine weitere Gesetzesänderung der Straßenverkehrsordnung, ein Gesetz zum autonomen Fahren, trat am 28. Juli 2021 in Kraft. Darin wurde der rechtliche Rahmen, Deutschland als erstes Land weltweit, für autonomes Fahren auf SAE-Level 4 definiert. Der fahrerlose Betrieb von Kraftfahrzeugen für bestimmte Einsatzzwecke, wie bspw. der Warentransport auf einem Werksgelände, wurde damit ermöglicht. Insbesondere fällt die Notwendigkeit weg, dass ein Sicherheitsfahrer zu jeder Zeit eingriffsbereit im Fahrzeug anwesend ist. [12, 23]



Abbildung 4: 5G-Funkmodul  
Foto: © Quirin Leppert

## FORSCHUNGSPROJEKTE

Die technischen Entwicklungen im Bereich von 5G und automatisiertem Fahren eröffnen vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Der Gartner Hype-Zyklus stellt den Lebenszyklus von Technologien in 5 Phasen dar. Die Phasen sind (i) technologischer Auslöser, (ii) Gipfel der überzogenen Erwartungen, (iii) Tal der Enttäuschungen, (iv) Pfad der Erleuchtung und (v) Plateau der Produktivität. [22]

Verschiedene Technologien wie bspw. 5G, Mobilität als Dienstleistung oder autonome Fahrzeuge haben das Plateau der Produktivität noch nicht erreicht, sondern sind von diesem zum Teil noch Jahre entfernt. [2] Die technologischen Entwicklungen, wie 5G oder Internet der Dinge, sind für das autonome Fahren von Vorteil. Zur Erreichung des autonomen Fahrens für Massen Anwendungen bedarf es weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

Die notwendigen Forschungsaktivitäten werden durch den im Jahr 2019 beschlossenen „Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren“ unterstützt. 3 Ministerien des Bundes, (i) das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (ii) das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und (iii) das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), fördern koordiniert Projekte u. a. mit dem Ziel, die Technologieführerschaft des Automobilstandorts Deutschland im Bereich des autonomen Fahrens langfristig zu sichern. [6]



Abbildung 5: Presseveranstaltung  
(a) Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Forschung  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproduktiv



(b) Vertreter der Konsortialpartner  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproduktiv



Eine Übersicht der Forschungsprojekte ist in [5, 15] zu finden. Insgesamt werden im Bereich 5G bzw. im Themenbereich des automatisierten Fahrens über 100 Förderprojekte aufgeführt. Weitere Forschungsprojekte werden von der EU gefördert. Aufgrund der Vielzahl werden nur wenige ausgewählte Forschungsprojekte hier kurz vorgestellt. Weitere Informationen zu den Forschungsprojekten sind bei den Fördermittelgebern bzw. auf den jeweiligen Internetseiten zu finden.

Das Forschungsprojekt SAFE20 hat als Ziel, ein Sicherheitskonzept für den Mischbetrieb von vollautomatischen Fahrzeugen mit mindestens 20km/h und konventionellen Fahrzeugen zu erstellen. Das erstellte Sicherheitskonzept betrachtet hierzu nicht nur die vollautomatischen Fahrzeuge, sondern erfasst sicherheitsrelevante Informationen in sogenannten hofseitigen Automatisierungszonen unabhängig von Fahrzeugen mittels ortsfester Sensoren. Diese Informationen werden dem Fahrzeug drahtlos bspw. mittels WLAN mitgeteilt. [34]



(c) Vertreter der Wirtschaft:  
Lars Schubert, Geschäftsführer BSH  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproduktiv



(d) Austausch der Gäste  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproduktiv

Die Validierung des Sicherheitskonzepts erfolgte auf dem Dachser-Betriebshof bei Ulm in Baden-Württemberg. Der Transport von Wechselbrücken bzw. Sattelaufliegern erfolgt mit den entsprechenden Zugmaschinen. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. [34]

Das vollautomatisierte Fahren von Lastkraftwagen auf der Autobahn im Mischverkehr ist das Ziel des Forschungsprojekts ATLAS-L4. ATLAS-L4 steht für „automatisierter Transport zwischen Logistikzentren auf Schnellstraßen auf SAE-Level 4“.

Die Fahrzeugüberwachung erfolgt in einem sogenannten „Control Center“, welches in 3 Säulen unterteilt ist: (i) „remote monitoring“, (ii) „remote assistance“ und (iii) „remote driving“. Ein Arbeitsschwerpunkt besteht in der Entwicklung eines Zulassungskonzepts für SAE-Level 4 Typengenehmigung. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. [7]

Nicht nur Last- und Kraftfahrzeuge auf der Straße sollen autonom fahren können, sondern auch Schiffe auf Binnenschiffahrtsstraßen. Das Ziel des Forschungsprojekts AutoBin sind autonom fahrende Güterschiffe. Motivationen für das Forschungsprojekt sind der Fachkräftemangel und das Erreichen von Klimazielen. [11]

Mittels Radar-, Kamera- und Lidarsensoren wird das Umfeld erfasst und ein Kurs bestimmt, welcher autonom gefahren werden kann. Die Entwicklung startete zunächst mit einer Simulationsumgebung, auf der Fahrverhaltensfunktionen entwickelt werden konnten. Diese werden mit einem Testschiff in der Realität erprobt. Das Projekt wird in Deutschland auf dem Dortmund-Ems-Kanal erprobt und von der Europäischen Union gefördert. [11, 20]

Die hier ausgewählten Forschungsprojekte zeigen Gemeinsamkeiten, wie bspw. die sensorbasierte Umfelderkennung und der Einsatz des automatisierten Fahrens auf SAE-Level 4 bzw. 5. Die ausgewählten Forschungsprojekte zeigen aber auch die vielfältigen Fragestellungen, welche geklärt werden müssen, bspw. Sicherheit und Security oder die Realisierung der technischen Aufsicht. Es gibt auch wesentliche Unterschiede in den Projekten. Insbesondere sei hier der Einsatzort und Anwendungsfall genannt. Damit einhergehend wurden verschiedene Technologien für die Zielerreichung ausgewählt.



Abbildung 6: Ansprache Thomas Strobel, stellvertretender Ministerpräsident des Landes Baden-Württemberg bei der Presseveranstaltung  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproduktiv

## YARDMANAGEMENT HDH

Die Ziele, welche im Rahmen des Forschungsprojekts Yard-ManagementHDH erreicht werden sollen, sind [32, 4, 5]:

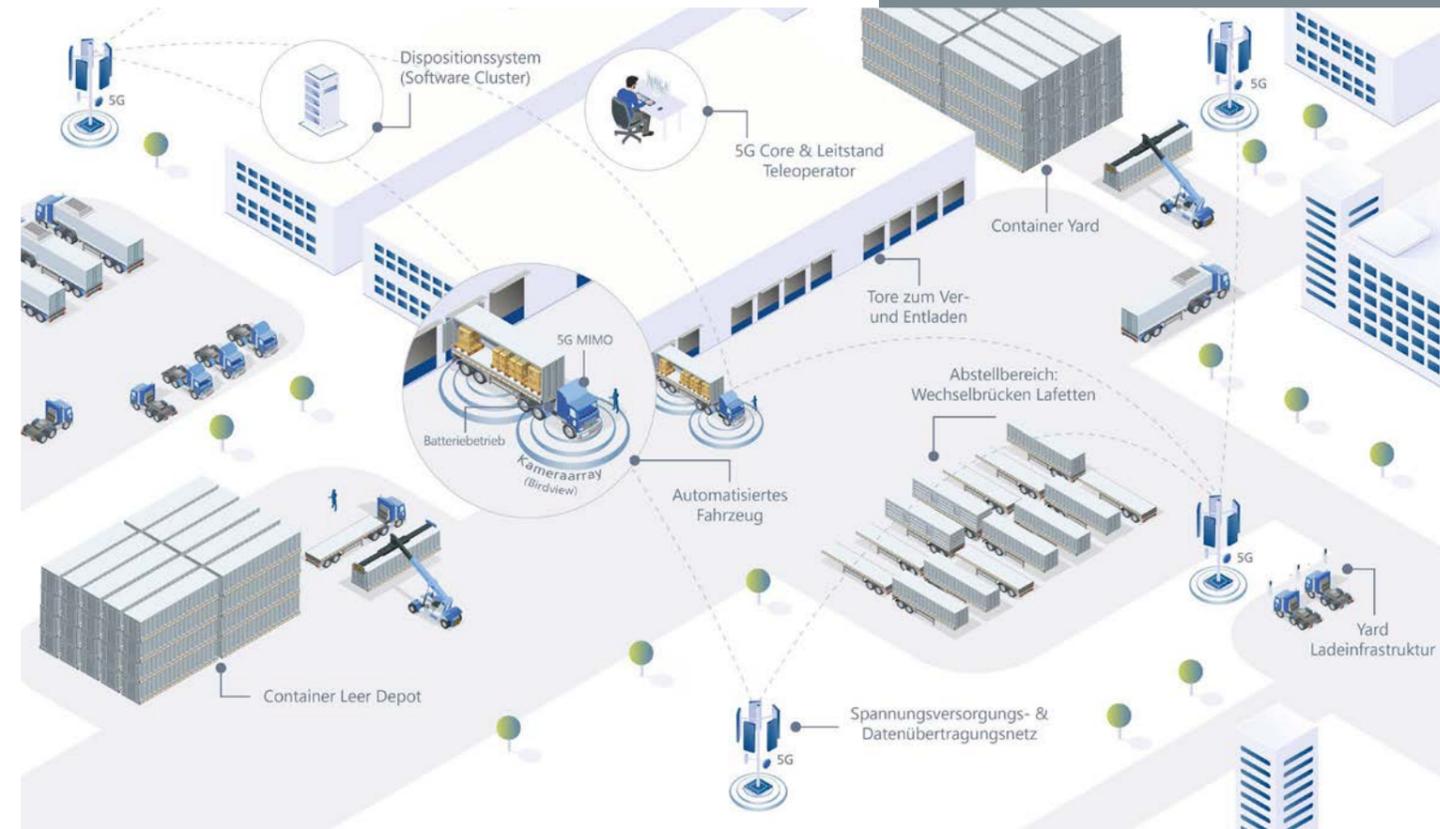
- Automatisierte Umfuhren zwischen Container-Leerdepot und Container-Yard
- Gewährleistung eines sicheren und zuverlässigen Betriebs
- Blaupause für die Übertragbarkeit des Gesamtsystems auf andere Yards und Fahrzeuge

Besondere Merkmale dieses Forschungsprojekts sind somit (i) die Automatisierung von Yardlogistikprozessen, (ii) das automatisierte bzw. teleoperierte Fahren unter Verwendung eines 5G-Campusnetzes als Basis-Kommunikations-Infrastruktur, sowie (iii) die Übertragbarkeit der erarbeiteten Lösungen.

Das Forschungsprojekt hat vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr zu Projektbeginn eine Förderzusage über 3,9 Millionen Euro erhalten. [32]



Abbildung 7: Yardzugmaschine mit Chassis und Container  
Foto: © Quirin Leppert



## GRUNDLAGEN FÜR DAS FÖRDERPROJEKT

Der im Förderprojekt gewählte Lösungsansatz ist in Abbildung 8 [32] dargestellt und wird nachfolgend kurz erläutert.

Container werden am Leerdepot mittels Greifstapler, dem sogenannten Reachstacker, auf eine Yardzugmaschine mit angehängtem Containerchassis (siehe Abbildung 7) verladen. Das Fahrzeug fährt automatisiert zum Verladetor und nach der Beladung zum Container-Yard. Für die Umfelderkennung ist das Fahrzeug mit entsprechenden Sensoren ausgestattet. Auf Basis dieser Daten kann bspw. die gewünschte weitere Fahrtrajektorie des Fahrzeugs berechnet werden. Im Container-Yard erfolgt eine spätere Verladung und der Weitertransport mittels Eisenbahn oder Lastkraftwagen.

Abbildung 8: Schematische Darstellung des Lösungsansatzes für den automatisierten Containertransport. [32]  
© ITK Engineering

Eine Überwachung der automatisierten Fahrt erfolgt im Leitstand. Bei Bedarf kann die Yardzugmaschine mittels sogenannter Teleoperation aus der Ferne gesteuert werden. Hierzu werden bspw. Bilddaten von den Umfelderkennungssensoren an den Teleoperator und dessen Fahrsteuerbefehle an das Fahrzeug per 5G übertragen (siehe Abbildung 3).

Zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes wird ein Elektrofahrzeug eingesetzt. Eine Yard-Ladeinfrastruktur wurde dementsprechend aufgebaut (siehe Abbildung 10).

Für die Datenkommunikation zwischen Fahrzeug und Leitstand wird ein 5G-Campusnetz verwendet. Das Fahrzeug wurde mit einem 5G-Router ausgestattet. Für eine räumlich lückenlose Kommunikation der Daten zwischen dem sich bewegenden Fahrzeug und dem Leitstand wurde eine 5G-Infrastruktur realisiert. Hierzu wurden mehrere 5G-Funkmodule unter Berücksichtigung bspw. der baulichen Gegebenheiten und der Abschattung z. B. durch Container, auf dem Firmengelände platziert (siehe Abbildung 4).

Dieser gewählte Lösungsansatz zeigt, dass neue Technologien zur Zielerreichung eingesetzt wurden. Zum Projektstartzeitpunkt befanden sich die 5G-Technologie gemäß des Gartner Hype-Zyklus im „Gipfel der überzogenen Erwartungen“ und das autonome Fahrzeug im „Tal der Enttäuschungen“. [2] Zur Erreichung des „Plateaus der Produktivität“ sind entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wie in diesem Projekt grundlegend notwendig.

Da bei Bedarf ein Teleoperator die Lenkung des Fahrzeugs übernehmen kann, handelt es sich um den SAE-Level 4 Automatisierungsgrad. Das McKinsey Center for Future Mobility prognostiziert für das Jahr 2030 erstmals ein nennenswertes Marktvolumen von SAE-Level 4 Fahrzeugen von 15-25 Milliarden Dollar. [14] 5 Jahre später wird sich das Marktvolumen laut Prognose um den Faktor 10 vergrößert haben. Für SAE-Level 5 Fahrzeuge wird noch kein Markt gesehen. Diese Markteinschätzung bestätigt, dass für das automatisierte Fahrzeug eine SAE-Level 4 Automatisierungsstufe zielführend ist.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) stellt auf seiner Webseite völlig zu Recht dar, dass das Einrichten und Betreiben eines 5G-Campusnetzes komplex und technisch anspruchsvoll ist. [41] Für das Forschungsprojekt seien bspw. bauliche Rahmenbedingungen, wie Abschattungseffekte aufgrund von gestapelten Containern oder Gebäudevorsprüngen, technologische Rahmenbedingungen, wie Funkzellengröße in Abhängigkeit der Sendeleistung und Sendefrequenz sowie einer notwendigen Zellenüberlappung für einen verbindungsunterbrechungsfreien Zellenübergang, oder rechtliche Voraussetzungen, wie die Lizenzierung, genannt. [18]



Abbildung 9: Live-Demonstration  
(a) Verladung des Containers auf das automatisierte Fahrzeug  
Foto: © Quirin Leppert



(b) Fahrt zum Verladeter  
Foto: © Quirin Leppert

Zur Darstellung der Praxistauglichkeit des gewählten Lösungsansatzes wurde mit dem BSH-Logistikstandort Giengen ein Yard gewählt, der multiple Herausforderungen mit sich bringt. Zu diesen Herausforderungen zählen bspw. der geplante Mischbetrieb von konventionellen und automatisierten Fahrzeugen, Fußgänger oder der Versatz in den Gebäudefronten. Darüber hinaus seien auch die für das automatisierte Fahren verkehrstechnisch schwierigen Randbedingungen wie Fahrbahnengstellen genannt. Weitere Details zum Konsortialpartner BSH und deren Aufgaben im Forschungsprojekt sind bspw. in [17, 33] zu finden.



(c) Fahrt rückwärts an den Verladeter  
Foto: © Quirin Leppert

Bei Bedarf kann statt der automatisierten Fahrt auch ein Fahrer die Steuerung des Fahrzeugs übernehmen. Allerdings sitzt der Fahrer nicht im Fahrzeug selbst sondern in einem Leitstand. Von diesem aus kann er die Teleoperation für mehrere Fahrzeuge durchführen. Damit ist perspektivisch bei eigensicheren Fahrzeugen nicht mehr ein Fahrer pro Fahrzeug nötig, wodurch Personalkosten reduziert werden können.

Als weiterer Vorteil des Ansatzes sei die Skalierbarkeit der gewählten Automatisierungslösung genannt. In dem Maße, wie das Fahrzeug im Laufe der Weiterentwicklung zusätzliche Fahrsituationen automatisiert übernehmen kann, wird der Einsatz des Teleoperators reduziert. Weitere Details der Automatisierungslösung vom Konsortialpartner Fernride und deren Beiträge zum Forschungsprojekt sind auf [26, 33] zu finden.

Planung, Umsetzung und Betrieb des 5G-Campusnetzes sind herausfordernde Aufgaben und bedürfen das entsprechende Wissen. Nicht nur die baulichen Gegebenheiten sind zu berücksichtigen, sondern auch die inhärenten Herausforderungen. 5G ist eine neue Technologie. Der Erhalt der Gesamtpersistenz bei Optimierung einzelner Funktionen ist eine nicht zu unterschätzende Aufgabe, welche der Konsortialpartner ZDE u. a. übernommen hat. Details zu dieser und weiteren Aufgaben von ZDE sind in [3, 33] zu finden.

Mit einem 5G-Campusnetz und einem automatisierten Fahrzeug allein können die Projektziele noch nicht erreicht werden. Diese Technologien sowie die gewünschten Kundenfunktionalitäten müssen in ein funktionierendes Gesamtsystem überführt werden.

Bei der Entwicklung des Gesamtsystems ist in diesem Forschungsprojekt neben der Realisierung der geforderten Funktionalität der Anwendungsfälle zusätzlich auf einen generischen Lösungsansatz zu achten. Ziel ist es nicht nur eine optimale Lösung für BSH zu finden, sondern gleichzeitig auch eine Übertragbarkeit der Realisierung auf andere Logistikstandorte zu gewährleisten. Die notwendige Expertise insbesondere im Bereich der Software und Systementwicklung bringt ITK Engineering ein. Weitere Details zum Konsortialpartner und dessen Aufgaben im Forschungsprojekt sind in [29, 33] zu finden.



Abbildung 10: Elektroladestation der Yardzugmaschine  
Foto: © Quirin Leppert

Für die Zielerreichung des Forschungsprojektes werden sowohl wirtschaftliche, politische und wissenschaftliche Aspekte berücksichtigt. Aufgaben in diesen Bereichen werden von den Konsortialpartnern Landkreis Heidenheim bzw. von der DHBW Heidenheim übernommen. Details zu diesen Konsortialpartnern sind in [44, 10, 33] zu finden.

Zur systematischen Herangehensweise an die Aufgabenstellung des Forschungsprojektes wurde von den Konsortialpartnern eine Vorgehensweise nach dem V-Modell XT gewählt. Die Systematik spiegelt sich bspw. in der Projektplanung oder in den Arbeitsschritten Systemspezifikation, Systemarchitektur, Erstellung eines funktionalen Sicherheitskonzepts bzw. einem Cyber Security Konzepts wider. [30, 8] Die Integration der einzelnen Systemkomponenten bis hin zum automatisierten Fahrzeug in den Regelbetrieb erfolgte schrittweise nach einer funktionsorientierten Integrationsstrategie. [9]

Ein weiterer Erfolgsfaktor liegt in den gewählten Methoden und Werkzeugen. Es wurden bspw. simulationsbasierend Standorte für die Funkmodule identifiziert und die Leistungsfähigkeit mittels Messungen auf dem Yard überprüft. [21] Außerdem wurde ein digitales Abbild des Logistikyards erstellt, um darauf basierend das Sicherheitskonzept zu prüfen. [19]



Abbildung 11: Live-Demonstration bei der Presseveranstaltung  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproproduktiv

## ZIELERREICHUNG

Die erfolgreiche Umsetzung der teleoperierten und automatisierten Fahrfunktion konnte bei einer Presseveranstaltung, an dem zahlreiche Vertreter aus Politik und Wirtschaft teilnahmen (siehe Abbildung 5, 6 und 11) live demonstriert werden. Die entsprechenden Bilder zeigen hierzu den Ablauf.

Der Container wurde am Leerdepot auf das Fahrzeug verladen (siehe Abbildung 9a). Anschließend fährt das Fahrzeug zum Verladetor (siehe Abbildung 9b) und wird dort abgestellt (siehe Abbildung 9c).

Die Bilddaten der Umfelderfassungssensoren werden per 5G-Datenübertragung dem Teleoperator zur Verfügung gestellt. Der Teleoperator sitzt im Leitstand, d. h. in einem Büro, und kann von dort aus das Fahrzeug bei Bedarf steuern (siehe Abbildung 12).

Nach einer Beladung des Containers am Verladetor wird dieser zum Container-Yard transportiert. Eine detaillierte Beschreibung der Live-Demonstration ist in [18] zu finden.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) gibt in ihrem jährlichen Bericht für das Jahr 2023 ca. 10.000 meldepflichtige Unfälle mit zum Teil tödlichen Folgen bei innerbetrieblichem Transport mit Lastkraftwagen an. [36] Eine Gefahrensituation entsteht bspw., wenn sich eine Person zwischen einem Verladetor und einem sich nähernden Fahrzeug befindet und von dem Fahrer nicht erkannt wird. Zur Unfallvermeidung wurde deshalb eine Torabsicherung zusätzlich entwickelt.

Die Sicherheitssensorik von Tür- und Torherstellern haben den Fokus auf die Erkennung einer Gefahrensituation im unmittelbaren Bewegungsbereich der Tür oder des Tores gelegt. Wird eine Gefahr erkannt, dann wird der Bewegungsablauf gestoppt und ggf. umgekehrt. Vor Inbetriebnahme der Anlage wird eine Risikobeurteilung gemäß Maschinenrichtlinie, auch Gefahren- oder Sicherheitsanalyse genannt, durchgeführt. Der Gefahrenbereich im Umfeld wird dabei nicht betrachtet oder abgesichert. [35]

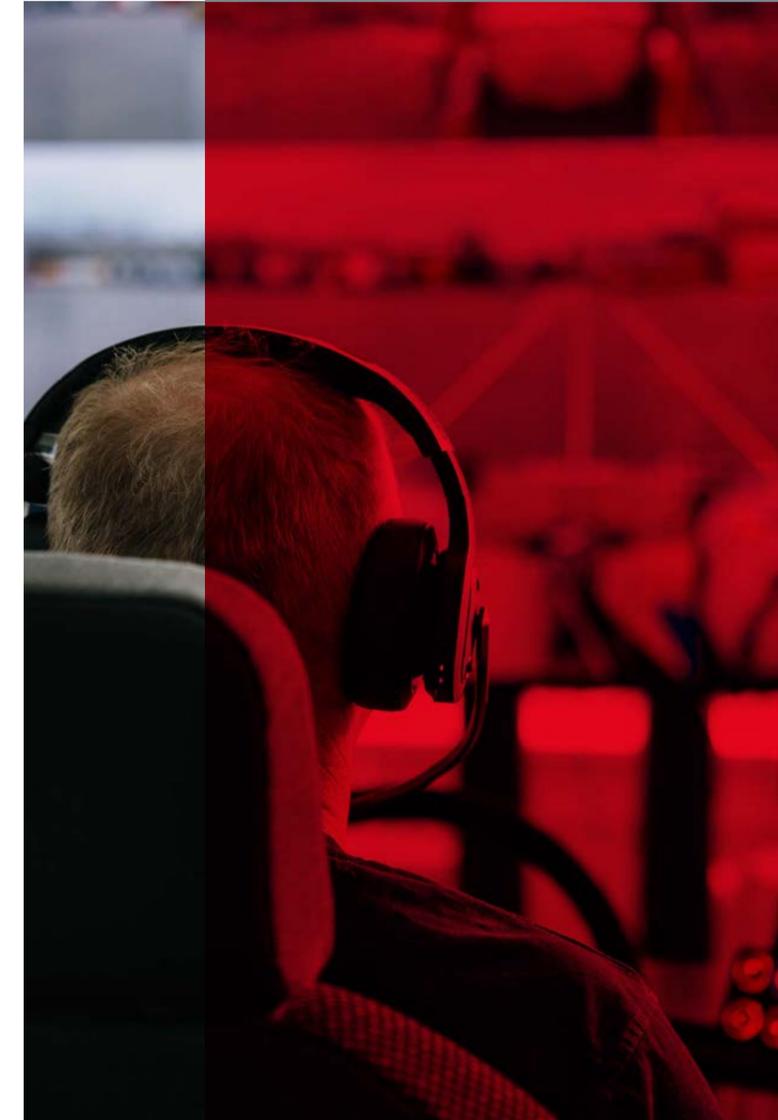


Abbildung 12: (a) Teleoperator im Leitstand  
Foto: © Quirin Leppert

Im Unterschied dazu überwachen bei der entwickelten Torabsicherung Sensoren das Umfeld vor den Verladetoren (siehe Abbildung 13). Befindet sich eine Person im Gefahrenbereich, wenn sich ein Fahrzeug nähert, dann wird der Fahrer gewarnt. Hierzu wird ein Signal per 5G bspw. an ein Smartphone des Fahrzeugführers gesendet. Der Fahrer erhält von der entsprechenden Torabsicherungs-App eine akustische und eine optische Warnmeldung. D. h. nicht nur die Person im Gefahrenbereich wird erkannt, sondern auch das entsprechende Fahrzeug. [27]

Das Torabsicherungssystem erhöht den Sicherheitsstandard auf Logistickyards und wurde zum Patent angemeldet. Eine Ausstattung der Fahrzeuge mit Sensorik ist hierzu nicht notwendig. [28]

Ziel des Forschungsprojekts war es nicht nur Container automatisiert zu transportieren, sondern die entwickelte Lösung soll auf andere Logistikstandorte übertragbar sein. Für eine Übertragbarkeit bedarf es (i) einer Realisierungsbeschreibung auf hoher Abstraktionsebene sowie (ii) einer Automatisierungsstrategie für verschiedenste Transportfahrzeuge.



(b) Darstellung der Fahrsituation im Leitstand  
Foto: © Quirin Leppert

Die Realisierungsbeschreibung umfasst eine Beschreibung der einzelnen Prozessschritte, welche für den automatisierten Containertransport notwendig sind, sowie u. a. die Einflussfaktoren auf diese. Die erfolgreiche Realisierung und Überprüfung am Logistikstandort der BSH diene als Referenz der technischen Leistungsfähigkeit. Die abstrakte Beschreibung kann somit als Blaupause für die Einführung eines automatisierten Containertransports an anderen Logistikstandorten dienen. [8]

Als Transportfahrzeug stehen verschiedene Modelle von unterschiedlichen Herstellern zur Verfügung. Die Fahrzeugauswahl erfolgt anhand von wirtschaftlichen und technischen Kriterien.

Für einen automatisierten Containertransport ist die Integration des Automatisierungssystems in das Basisfahrzeug notwendig. Sensor- und Montagemöglichkeiten, -ausrichtung und Analyse des Erfassungsfeldes müssen ebenso berücksichtigt werden, wie die Kabelführung, die Integration des Steuergeräts als auch die elektrische Steuerungsmöglichkeit (engl. drive-by-wire) des Fahrzeugs.

Mit dem gewählten Ansatz kann auf den bereits bestehenden Fahrer-mangel reagiert werden. Durch die Steigerung der Automatisierung reduzieren sich perspektivisch der Personaleinsatz, Stand- und Pausenzeiten und damit schlussendlich die Kosten insgesamt. Die notwendigen Investitionen und laufenden Kosten für das Automatisierungssystem hängen u. a. von der Abnahmemenge eines Kunden bzw. von den Gesamtverkaufszahlen des Lieferanten ab.

Darüber hinaus hat die Anzahl der benötigten und davon automatisierten Fahrerszenarien Einfluss auf die Anzahl der Fahrzeuge, welche ein Teleoperator steuern kann. Die wirtschaftliche Gesamtbewertung ist somit im Einzelfall zu ermitteln. Langfristig betrachtet ist das automatisierte und teleoperierte Fahren ein sehr vielversprechender Ansatz.



Abbildung 13: Sensoren für die Erhöhung der Sicherheit an Verladetoren.  
Foto: © Quirin Leppert

## FAZIT UND AUSBLICK

Das Forschungsprojekt, die Ergebnisse die dabei erreicht sowie die Erkenntnisse die gewonnen wurden, haben, bei den vorliegenden Rahmenbedingungen, eine hohe gesellschaftliche Relevanz.

Es wurde ein Lösungsansatz erfolgreich umgesetzt und demonstriert (siehe Abbildung 14), welcher dem bereits bestehenden Fachkräftemangel im Logistikbereich entgegenwirkt. Darüber hinaus wurde mit der Torabsicherung ein System entwickelt, welches bereits heute beim Einsatz die Sicherheit an Verladetoren erhöhen kann.

Durch die gewählte systematische Herangehensweise und den Einsatz von adäquaten Methoden und Werkzeugen konnten die Projektziele insbesondere des automatisierten und teleoperierten Containertransport erreicht werden.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind nicht auf einen Standort und ein Fahrzeug begrenzt, sondern die Entwicklung einer Blaupause, d. h. eines Konzepts zur Übertragbarkeit der Ergebnisse, wurde im Forschungsprojekt bereits erarbeitet.

Um die Vision eines vollautomatisierten Logistikstandortes zu erreichen, sind jedoch noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Geeignete Förderprogramme können diese Entwicklungen leiten und beschleunigen.

Kurzfristig ist neben der Auswertung und Optimierung des Regelbetriebs die Erhöhung des Automatisierungsgrades ein Betätigungsfeld. Zu letzterem zählen u. a. die automatisierten Fahrfunktionen als auch der Transport unterschiedlicher Ladungsträger.

Die Entwicklung von eigensicheren Fahrzeugen ist die Voraussetzung, dass ein Sicherheitsfahrer im Fahrzeug nicht mehr benötigt wird. Ebenso ist eine funktionale Weiterentwicklung von 5G und 5G-fähigen Endgeräten notwendig, um bspw. Software- oder Hardwarekomponenten ohne nennenswerten Aufwand zu tauschen.

Langfristig ist bspw. auch die Erstellung von Gestaltungsleitlinien für Neubauprojekte von Logistikstandorten zielführend.

Abschließend kann gesagt werden, dass dieses Förderprojekt das große Potenzial in den Logistikprozessen aufgezeigt hat, das durch die Technologiekombination von 5G-Mobilfunk und der skalierbaren Automatisierungslösungen für Yardzugmaschinen erschließbar ist.



Abbildung 14: Live-Demonstration  
(a) Automatisierte Fahrt  
Foto: © Quirin Leppert

(b) Torabsicherung  
Foto: © Ignacio Iturrioz Coproductiv

# Literatur

[1] Christian Kille u. a. Begegnung von Kapazitätsengpässen im Straßengüterverkehr - Fokus Personal. 1. Auflage. Cuvillier Verlag, Göttingen, Deutschland, 2023. ISBN: 978-3-7369-7732-7.

[2] Alastair Martin und Roy Sterritt. „Autonomic Computing for Autonomous Vehicles“. In: IARIA Congress 2023: The 2023 IARIA Annual Congress on Frontiers in Science, Technology, Services, and Applications. ISBN: 978-1-68558-089-6. IARIA Press, 2023, S. 83–87.

[3] o.V. 5G Campusnetze für Unternehmen und Regionen. Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://digitaleentwicklung.de/5g/> (besucht am 18.12. 2024).

[4] o.V. 5G Projekte in Baden-Württemberg: Landkreis Heidenheim. Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg Referat 42 - Digitalisierungsstrategie. 2022. URL: <https://digital-laend.de/2022/12/20/5g-projekte-in-baden-wuerttemberg-landkreis-heidenheim/> (besucht am 18.12. 2024).

[5] o.V. 5G-Innovationswettbewerb - Geförderte Umsetzungsprojekte (dritte Runde). Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). 2022. URL: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/5g-innovationswettbewerb-tabelle-stufe-3-dritte-runde.html> (besucht am 18.12. 2024).

[6] o.V. Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren: Ein übergreifender Forschungsrahmen von BMBF, BMWi und BMVI. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). 2019. URL: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/forschungsprogramm-automatisierung-vernetzung-strassenverkehr.html> (besucht am 18.12. 2024).

[7] o.V. ATLAS-L4: Arbeitsbereiche. ATLAS-L4 Konsortium. 2024. URL: <https://www.atlas-l4.com> (besucht am 18.12. 2024).

[8] o.V. Auf dem Weg zum automatisierten Containerverkehr - ein Konzept als Blaupause für Logistikyards. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/2024/08/09/auf-dem-weg-zum-automatisierten-containerverkehr-ein-konzept-als-blaupause-fuer-logistikyards/> (besucht am 18.12. 2024).

[9] o.V. Auf dem Weg zum automatisierten Containerverkehr - Erfolgreiche Integration eines autonomen Fahrzeugs bei BSH. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/2024/10/14/auf-dem-weg-zum-automatisierten-containerverkehr-erfolgreiche-integration-eines-autonomen-fahrzeugs-bei-bsh/> (besucht am 18.12. 2024).

[10] o.V. Aus Lehre und Forschung. Duale Hochschule Baden-Württemberg Standort Heidenheim. 2024. URL: <https://www.heidenheim.dhbw.de/studienangebot/bachelor/technik/maschinenbau> (besucht am 18.12. 2024).

[11] o.V. AutoBin: Arbeitspakete autonomes Binnenschiff. Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. 2024. URL: <https://www.autobin.de/arbeitspakete/> (besucht am 18.12. 2024).

[12] o.V. Automatisiertes und vernetztes Fahren. Bundesamt für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). 2024. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/branchenfokus-automobilindustrie-07.html> (besucht am 18.12. 2024).

[13] o.V. Automatisierungsstufen. Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). 2024. URL: [https://www.kba.de/DE/Themen/Marktueberwachung/Produktpruefungen/AutomatisiertesAutonomesFahren/Automatisierungsstufen/Automatisierungsstufen\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Themen/Marktueberwachung/Produktpruefungen/AutomatisiertesAutonomesFahren/Automatisierungsstufen/Automatisierungsstufen_node.html) (besucht am 18.12. 2024).

[14] o.V. Autonomes Fahren - ein 400-Milliarden-Dollar-Markt? McKinsey Center for Future Mobility in The Pioneer. 2021. URL: <https://www.thepioneer.de/graphics/autonomes-fahren-ein-400-mrd-dollar-markt> (besucht am 18.12. 2024).

[15] o.V. AVF-Projekte: Auswahl der bewilligten Projekte. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). 2024. URL: <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/AVF-Forschungsprogramm/Projekte/avf-projekte> (besucht am 18.12. 2024).

[16] o.V. Der Standort Giengen - Innovative Kühltechnik für die ganze Welt. BSH Hausgeräte GmbH. 2024. URL: [https://media3.bsh-group.com/Documents/18182717\\_BSH\\_Standortflyer\\_Giengen.pdf](https://media3.bsh-group.com/Documents/18182717_BSH_Standortflyer_Giengen.pdf) (besucht am 18.12. 2024).

[17] o.V. Die BSH auf einen Blick. BSH Hausgeräte GmbH. 2024. URL: <https://www.bsh-group.com/de/> (besucht am 18.12. 2024).

[18] o.V. Die Zukunft der Yard-Logistik: Pilotprojekt stellt digitale Lösungen für automatisiertes Fahren vor. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/2024/01/19/die-zukunft-der-yard-logistik-pilotprojekt-stellt-digitale-loesungen-fuer-automatisiertes-fahren-vor/> (besucht am 18.12. 2024).

[19] o.V. Ein digitales Logistiksystem nimmt Gestalt an. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/2023/02/14/ein-digitales-logistiksystem-nimmt-gestalt-an/> (besucht am 18.12. 2024).

[20] o.V. Forscher präsentieren autonom fahrendes Güterschiff. Deutschlandradio: Körperschaft des öffentlichen Rechts. 2024. URL: <https://www.deutschlandfunk.de/forscher-praesentieren-autonom-fahrendes-gueterschiff-102.html> (besucht am 18.12. 2024).

[21] o.V. Funkmessungen auf dem BSH-Yard mit dem Test- und Integrationsmodul TIM. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/2022/09/02/herzlich-willkommen/> (besucht am 18.12. 2024).

[22] o.V. Gartner Hype Cycle: Wie man Technologie-Hype interpretiert. Gartner Deutschland GmbH. 2021. URL: [https://www.gartner.de/de/methoden/hype-cycle?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=GTR\\_EMEA\\_2024\\_GTR\\_CPC\\_SEM1\\_BRANDCAMPAINDEL&utm\\_adgroup=171823082532&utm\\_term=gartner%20hype%20cycles&ad=711244259504&matchtype=e&gad\\_source=1&gclid=EAlaIqobChMI1M3ThpXhiQMv3YpoCR2CEx2mEAAAYASAAEglvb\\_D\\_BwE](https://www.gartner.de/de/methoden/hype-cycle?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=GTR_EMEA_2024_GTR_CPC_SEM1_BRANDCAMPAINDEL&utm_adgroup=171823082532&utm_term=gartner%20hype%20cycles&ad=711244259504&matchtype=e&gad_source=1&gclid=EAlaIqobChMI1M3ThpXhiQMv3YpoCR2CEx2mEAAAYASAAEglvb_D_BwE) (besucht am 18.12. 2024).

[23] o.V. Gesetz zum autonomen Fahren tritt in Kraft. Bundesamt für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). 2021. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/branchenfokus-automobilindustrie-07.html> (besucht am 18.12. 2024).

[24] o.V. Güterverkehr: Beförderungsleistung sowie Veränderung zum Vorjahr nach Hauptverkehrsrelationen und Verkehrsträgern. Statistisches Bundesamt (Destatis). 2024. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/verkehrstraeger-hauptverkehrs-relation-b.html> (besucht am 18.12. 2024).

[25] o.V. Güterverkehr: Beförderungsmenge nach Hauptverkehrsrelationen und Verkehrsträgern, sowie die Veränderung zum Vorjahr in 1.000 Tonnen und die Veränderung zum Vorjahr in % für das Jahr 2022. Statistisches Bundesamt (Destatis). 2024. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/verkehrstraeger-hauptverkehrs-relation-a.html> (besucht am 18.12. 2024).

[26] o.V. Human-Assisted Autonomy. Fernride GmbH. 2024. URL: <https://www.fernride.com/system> (besucht am 18.12. 2024).

[27] o.V. In die Zukunft, aber sicher! YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/2024/02/06/in-die-zukunft-aber-sicher/> (besucht am 18.12. 2024).

[28] o.V. Intelligentes und sicheres Yard Management mit 5G. ITK Engineering GmbH. 2024. URL: <https://www.itk-engineering.de/stories/referenz-yard-management/> (besucht am 18.12. 2024).

[29] o.V. ITK. The Art of Digital Engineering. ITK Engineering GmbH. 2024. URL: <https://www.itk-engineering.de> (besucht am 18.12. 2024).

[30] o.V. Meilensteine. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/#meilensteine> (besucht am 18.12. 2024).

[31] o.V. Nutzerkommunikation: Was heißt eigentlich autonomes Fahren? Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST). 2024. URL: <https://www.bast.de/DE/Fahrzeugtechnik/Fachthemen/f4-nutzerkommunikation> (besucht am 18.12. 2024).

[32] o.V. Projekt und Technik. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de> (besucht am 18.12. 2024).

[33] o.V. Projektpartner. YardManagementHDH: c/o Zentrum für Digitale Entwicklung GmbH. 2024. URL: <https://yardmanagementhdh.de/#projektpartner> (besucht am 18.12. 2024).

[34] o.V. Safe20: Ziele. Das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI Fraunhofer IVI. 2024. URL: <https://www.safe20.de/index.php/ziele> (besucht am 18.12. 2024).

[35] o.V. Sicherheitsanalyse Karusselltüren. GEZE GmbH. 2024. URL: [https://www.geze.de/de/download/file/GEZE\\_Sicherheitsanalyse\\_DE\\_mw1827012.pdf](https://www.geze.de/de/download/file/GEZE_Sicherheitsanalyse_DE_mw1827012.pdf) (besucht am 18.12. 2024).

[36] o.V. Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2023. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). 2024. URL: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4990> (besucht am 18.12. 2024).

[37] o.V. Straßenverkehrsgesetz (StVG): Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 70 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 323) geändert worden ist. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/BJNR004370909.html>

[38] o.V. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. SAE Standard J3016\_202104. Society of Automotive Engineers (SAE), 2021.

[39] o.V. Transport und Verkehr: Güterverkehr. Statistisches Bundesamt (Destatis). 2024. URL: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/_inhalt.html) (besucht am 18.12. 2024).

[40] o.V. Verkehrsentwicklung in Deutschland: Verkehrsprognose 2040. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). 2024. URL: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsprognose-2040.html> (besucht am 18.12. 2024).

[41] o.V. Vorteile und Herausforderungen der 5. Mobilfunkgeneration. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). 2024. URL: [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/5-G/Ab-sicherung-5G-Campusnetze/Eigenschaften-5G/Eigenschaften-5G\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/5-G/Ab-sicherung-5G-Campusnetze/Eigenschaften-5G/Eigenschaften-5G_node.html) (besucht am 18.12. 2024).

[42] o.V. Was ist ein 5G-Campusnetz? Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). 2024. URL: [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/5-G/Ab-sicherung-5G-Campusnetze/Ab-sicherung-5G-Campusnetze\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/5-G/Ab-sicherung-5G-Campusnetze/Ab-sicherung-5G-Campusnetze_node.html) (besucht am 18.12. 2024).

[43] o.V. What are the main usage scenarios of 5G? Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI). 2024. URL: <https://www.etsi.org/technologies/5g?jij=1731164647126> (besucht am 18.12. 2024).

[44] o.V. Wirtschaftsförderung. Landratsamt Heidenheim. 2024. URL: <https://www.landkreis-heidenheim.de/service/organigramm/stabsbereich+zentralstelle/wirtschaftsfoerderung> (besucht am 18.12. 2024).

[45] Erik Stayton und Jack Stilgoe. „It’s Time to Rethink Levels of Automation for Self-Driving Vehicles“. In: IEEE Technology and Society Magazine (2020), S. 13–19.