



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Seyyid Barak

Fahrerassistenzsysteme im Automobilbau

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Seyyid Barak

Fahrerassistenzsysteme im Automobilbau

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr. Volker Wendt
Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing Peter Seyfried

Abgabedatum: 02.10.2024

Zusammenfassung

Seyyid Barak

Thema der Bachelorthesis

Fahrerassistenzsysteme im Automobilbau

Stichworte

Fahrerassistenzsysteme, Automobilbau, Ethik, Recht, Nachhaltigkeit, Autonomes Fahren, Sensoren, Künstliche Intelligenz, Datenschutz, Cybersicherheit

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen im Automobilbau und den rechtlichen sowie ethischen Anforderungen, die bei deren Entwicklung und Implementierung berücksichtigt werden müssen. Es wird analysiert, inwiefern diese Anforderungen das Design und die Einführung solcher Systeme beeinflussen. Im Fokus stehen dabei die technischen Grundlagen, die Funktionsweise der Systeme, der Einsatz von Sensoren, sowie rechtliche und ethische Aspekte, insbesondere in Bezug auf autonomes Fahren und Datenschutz. Darüber hinaus werden die Herausforderungen und Lösungsansätze erörtert, die die weitere Entwicklung dieser Technologien betreffen.

Seyyid Barak

Title of the paper

Driver assistance systems in automotive engineering

Keywords

Driver assistance systems, automotive engineering, ethics, law, sustainability, autonomous driving, sensors, artificial intelligence, data protection, cybersecurity

Abstract

This thesis examines the development of driver assistance systems in automotive engineering and the legal and ethical considerations that must be taken into account during their design and implementation. It analyzes how these considerations influence the design and deployment of such systems. The focus is on the technical foundations, the functionality of the systems, the use of sensors, and legal and ethical aspects, particularly concerning autonomous driving and data protection. Additionally, the challenges and solutions for the further development of these technologies are discussed.

Vorwort

Die Bearbeitung einer Bachelorarbeit im Fachbereich Fahrzeugtechnik stellt eine intensive Auseinandersetzung mit einem Thema dar, das sowohl praktische als auch theoretische Aspekte des Fachgebiets vereint. Diese Arbeit folgt den Richtlinien des Fachbereichs Fahrzeug- und Flugzeugbau und spiegelt mein starkes Engagement und Interesse wider, welches durch die Zusammenarbeit mit meinen Betreuern bei der Themenwahl geweckt und gefördert wurde.

Ein besonderer Dank gilt meinen Lehrkräften, Herrn Professor Dr. Volker Wendt und Herrn Professor Dipl.-Ing. Peter Seyfried. Ihre ständige Verfügbarkeit und fachliche Unterstützung waren für meine Arbeit von großem Wert. Ihre Bereitschaft, mir bei Fragen und für konstruktives Feedback zur Seite zu stehen, hat mir sehr geholfen, und dafür bin ich sehr dankbar.

Zudem möchte ich meine tiefe Dankbarkeit gegenüber meiner Familie und meiner Ehefrau aussprechen. Ihre unermüdliche Unterstützung und Ermutigung während meines gesamten Studiums waren nicht nur eine Quelle der Kraft, sondern auch eine unverzichtbare Säule meines Erfolgs.

Aufgabenstellung der Bachelorarbeit

Student: Seyyid Barak – Matrikelnummer: ██████████

Titel: Fahrerassistenzsysteme im Automobilbau

Kurzbeschreibung:

In der vorliegenden Arbeit wird eine umfassende Analyse der Fahrerassistenzsysteme und ihrer Rolle im modernen Automobilbau durchgeführt. Angesichts der zunehmenden Komplexität des Fahrzeugverkehrs und der steigenden Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit, untersucht diese Arbeit die Entwicklung und Implementierung verschiedener Assistenzsysteme, die die Sicherheit erhöhen und das Fahrerlebnis verbessern sollen. Hierbei werden die technischen Grundlagen, die praktische Anwendung sowie die Herausforderungen und Lösungsansätze dieser Technologien detailliert betrachtet. Dabei wird besonderes Augenmerk auf ethische und rechtliche Fragestellungen gelegt, die mit der Einführung dieser Technologien einhergehen.

Die Bearbeitung der Bachelorarbeit erfolgt in Zusammenarbeit mit:

Erstprüfer: Prof. Dr. Volker Wendt

Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Peter Seyfried

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Motivation | 1 |
| 1.2 Aufbau der Arbeit..... | 2 |
| 1.3 Zielsetzung und Problemstellung | 3 |
| 2 Technische Grundlagen | 5 |
| 2.1 Stand der Technik..... | 5 |
| 2.2 Klassifizierung der Assistenzsysteme | 9 |
| 2.2.1 Aktive Sicherheitssysteme | 17 |
| 2.2.2 Passive Sicherheitssysteme..... | 24 |
| 2.3 Funktionsweise von Fahrerassistenzsystemen | 27 |
| 2.3.1 Sensoren | 27 |
| 2.3.2 Software und Algorithmen | 33 |
| 2.3.3 Car-to-X Kommunikation..... | 40 |
| 2.4 Datenschutz und Cybersicherheit | 43 |
| 2.5 Ethik und Recht | 47 |
| 3 Analyse ethischer und rechtlicher Herausforderungen bei der Implementierung von Fahrerassistenzsystemen | 49 |
| 3.1 Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit..... | 49 |
| 3.2 Integration von Künstlicher Intelligenz..... | 52 |
| 3.3 Autonomes Fahren | 56 |
| 3.4 Internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen | 58 |
| 3.5 Mensch-Maschine-Interaktion..... | 60 |
| 4 Herausforderungen und Lösungsansätze..... | 63 |
| 4.1 Technologische Herausforderungen | 63 |
| 4.2 Gesellschaft und Ethik | 66 |
| 4.3 Regulatorische und rechtliche Aspekte | 68 |
| 5 Fazit und Ausblick | 72 |
| Literaturverzeichnis | 77 |
| Eigenständigkeitserklärung – | 84 |

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| ABBILDUNG 1: ZEITACHSE ÜBER INTEGRATION VERSCHIEDENER ASSISTENZSYSTEME [SCHICK 2019] | 6 |
| ABBILDUNG 2: POTENZIAL DER INTEGRALEN SICHERHEIT [HANDBUCH KRAFTFAHRZEUGTECHNIK 2021] | 9 |
| ABBILDUNG 3: FORD FOCUS MIT AKTIVEM SPURHALTEASSISTENTEN [FORD 2021] | 11 |
| ABBILDUNG 4: TESLA AUTOPILOT IM MODEL 3 [TESLA 2023] | 12 |
| ABBILDUNG 5: HONDA LEGEND X [HONDA 2021] | 13 |
| ABBILDUNG 6: SENSORIK DES MERCEDES-BENZ S-KLASSE MIT DRIVE PILOT [MERCEDES-BENZ 2022] | 14 |
| ABBILDUNG 7: VERKEHRSunFÄLLE UND GETÖTETE IN DEUTSCHLAND [DESTATIS 2020] | 16 |
| ABBILDUNG 8: ANZAHL DER UNFÄLLE MIT PERSONENSCHÄDEN IN DEUTSCHLAND NACH FEHLVERHALTEN DER FAHRZEUGFÜHRER [DESTATIS 2020] | 17 |
| ABBILDUNG 9: VERGLEICH DES BREMSVERHALTENS MIT UND OHNE ABS [MEINAUTO 2024] | 18 |
| ABBILDUNG 10: WIRKUNG VON ESP BEIM ÜBER- UND UNTERSTEUERN [KFZTECH 2021] | 20 |
| ABBILDUNG 11: FUNKTIONSPHASEN AUTOMATISCHES NOTBREMSYSTEM [KFZTECH 2021] | 22 |
| ABBILDUNG 12: FUNKTIONSWEISE DES DYNAMISCHEN KURVENLICHTS [SEAT 2021] | 23 |
| ABBILDUNG 13: DYNAMISCHES KURVENLICHT UND FERNLICHTASSISTENT [SEAT 2021] | 23 |
| ABBILDUNG 14: VERANSCHAULICHUNG PASSIVER SICHERHEITSSYSTEME [ROADSAFETYFACTS 2019] | 25 |
| ABBILDUNG 15: FAHRZEUGSENSOREN EINES AUTOMATISIERTEN FAHRZEUGES [AUDI 2021] | 27 |
| ABBILDUNG 16: FUNKTION EINES LIDAR-SENSORS [LEDDARTECH 2019] | 29 |
| ABBILDUNG 17: DARSTELLUNG DER SENSORFELDER VERNETZTER VERKEHRSSITUATION [SPIEGEL 2013] | 32 |
| ABBILDUNG 18: TESLA MODEL 3 - INTERIEUR [AUTO MOTOR UND SPORT 2020] | 35 |
| ABBILDUNG 19: BMW INTERIEUR MIT ANDROID AUTOMOTIVE [BMW 2019] | 36 |
| ABBILDUNG 20: VOLKSWAGEN ID.4 INTERIEUR [VW 2024] | 37 |
| ABBILDUNG 21: BMW OS 8 INTERIEUR [BMW 2024] | 38 |
| ABBILDUNG 22: ENTWICKLUNG DES VW-ENTWICKLUNGSPROZESSES [VW 2022] | 39 |
| ABBILDUNG 23: GEFAHRENWARNUNG MIT C2X [HANDBUCH FAHRERASSISTENZSYSTEME 2022] | 42 |
| ABBILDUNG 24: BMW I VISION KONZEPTFAHRZEUG [BMW AG 2024] | 51 |
| ABBILDUNG 25: TESLA-AUTOPILOT SYSTEM [MOTOR1 2017] | 61 |
| | |
| TABELLE 1: BEWERTUNG UNTERSCHIEDLICHE SENSOREN - OBJEKTERKENNUNG UND -KLASSIFIZIERUNG, REICHWEITE, WITTERUNGSRESISTENZ. BEWERTUNGSHORIZONT X/★★/★★★ [EIGENE DARSTELLUNG NACH: NXP 2017] | 32 |

Glossar

Trajektorie

Laut **Gundlach 2021** bezeichnet eine Trajektorie den Weg oder Pfad, den ein automatisiertes Fahrzeug über einen Zeitraum hinweg im Raum zurücklegt. Sie wird durch eine Abfolge von Positionen und Orientierungen des Fahrzeugs über die Zeit definiert.

Innodrive

Laut **Courtney 2017** ist Porsche InnoDrive ein fortschrittliches Fahrerassistenzsystem, das adaptive Geschwindigkeitsregelung erweitert. Es nutzt 3D-Navigationsdaten und Echtzeitinformationen von Fahrzeugkameras und -sensoren, um die Geschwindigkeit an Straßenverhältnisse wie Kurven und Steigungen anzupassen. Das System verbessert die Fahreffizienz und den Komfort, indem es Gas, Bremsen und Getriebe automatisch steuert.

Galileo

Nach der **ESA 2023** ist Galileo ein europäisches Satellitennavigationssystem, betrieben von der Europäischen Union und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA). Es bietet weltweite Abdeckung und hohe Präzision, unabhängig von anderen Satellitennavigationssystemen. Galileo wurde entwickelt, um eine präzisere und zuverlässigere Alternative zu bestehenden Systemen wie GPS zu bieten.

GLONASS

Nach **Inside GNSS 2009** ist GLONASS das russische Satellitennavigationssystem, entwickelt und betrieben von der russischen Raumfahrtbehörde. Es bietet globale Abdeckung und dient als Alternative zu GPS und Galileo. Ursprünglich für militärische Zwecke konzipiert, wird GLONASS heute auch für zivile Anwendungen genutzt

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|---|
| ABS | Antiblockiersystem |
| ESP | Elektronisches Stabilitätsprogramm |
| GPS | Global Positioning System |
| ACC | Adaptive Cruise Control |
| HUD | Head up Display |
| ESA | Europäische Weltraumorganisation |
| OTA | Over-the-air |
| EPÜ | Europäische Patentübereinkommen |
| UN/ECE | United Nations/Economic Coimission for Europe |
| NCAP | New Car Assessment Program |
| FMVSS | Federal Motor Vehicle Safety Standards |
| IEA | Internationale Energieagentur |
| KI | Künstliche Intelligenz |
| MMI | Mensch-Maschine-Interaktion |
| Destatis | Das statistische Bundesamt |
| ADAS | Advanced Driver Assistance Systems |
| C2X | Car-to-X Kommunikation |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| GTRs | Global Technical Regulations |
| CO2 | Kohlenstoffdioxid |
| Lidar | Light Detection and Ranging |
| OECD | Organization for Economic Cooperation and Development |

1 Einleitung

1.1 Motivation

In den letzten Jahren hat die Automobilindustrie erhebliche Fortschritte im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und des automatisierten Fahrens erzielt. Diese Technologien versprechen nicht nur eine Steigerung der Effizienz und des Komforts beim Fahren, sondern auch eine signifikante Verbesserung der Verkehrssicherheit. Laut **Weiß 2021** unterstützen Fahrerassistenzsysteme den menschlichen Fahrer, indem sie eine schnellere Reaktion auf kritische Fahrsituationen ermöglichen, was die Wahrscheinlichkeit schwerer Unfälle verringert. Dies macht sie zu einem entscheidenden Faktor bei der Reduzierung von Verkehrsunfällen.

Darüber hinaus spielen ethische Überlegungen eine immer größere Rolle bei der Entwicklung dieser Technologien. Es ist von zentraler Bedeutung, dass diese Innovationen nicht nur einer wohlhabenden Minderheit zugutekommen, sondern einem breiten Publikum zugänglich gemacht werden. **Weiß 2021** betont, dass Technologien, die die Verkehrssicherheit verbessern, allen Verkehrsteilnehmern zugänglich gemacht werden müssen, um die soziale Gerechtigkeit zu gewährleisten und den Nutzen dieser Systeme global zu maximieren.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist gemäß **Weiß 2021** die Einhaltung gesetzlicher Anforderungen und umweltbezogener Auflagen. Fahrerassistenzsysteme helfen nicht nur dabei, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, sondern auch, die Emissionen zu reduzieren und die Nachhaltigkeit im Verkehrssektor zu fördern. Diese Technologien tragen entscheidend dazu bei, die Mobilität der Zukunft umweltfreundlicher und sicherer zu gestalten.

Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung werden Fahrerassistenzsysteme laut **Schöneburg 2019** zukünftig eine noch bedeutendere Rolle spielen, sowohl in Bezug auf die Verkehrssicherheit als auch auf die gesellschaftlichen und umweltbezogenen Auswirkungen. Die Umsetzung dieser Systeme in die alltägliche Mobilität eröffnet neue Perspektiven für eine nachhaltige und sichere Verkehrsführung.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert. Im **Kapitel 1.3** wird die Problemstellung und die Zielsetzung beschrieben. In **Kapitel 2** werden die technischen Grundlagen der Fahrerassistenzsysteme behandelt. Zunächst wird in **Kapitel 2.1** der aktuelle Stand der Technik beschrieben. **Kapitel 2.2** klassifiziert die verschiedenen Assistenzsysteme und differenziert die für diese Arbeit relevanten Systeme. In den Unterkapiteln **2.2.1** und **2.2.2** werden die unterschiedlichen Sicherheitssysteme erklärt. Im nächsten Abschnitt, **Kapitel 2.3**, wird auf die Funktionsweise der Fahrerassistenzsysteme eingegangen, die in **Kapitel 2.3.1** die Sensoren, in **Kapitel 2.3.2** die Software und Algorithmen sowie in **Kapitel 2.3.3** die Car-to-X Kommunikation umfasst. In **Kapitel 2.4** werden Datenschutz und Cybersicherheit behandelt, bevor in **Kapitel 2.5** die ethischen und rechtlichen Aspekte der Fahrerassistenzsysteme näher erläutert werden. **Kapitel 3** widmet sich den ethischen und rechtlichen Aspekten von Fahrerassistenzsystemen. In **Kapitel 3.1** wird auf Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit eingegangen. Danach folgt in **Kapitel 3.2** die Integration von Künstlicher Intelligenz in Fahrerassistenzsysteme. In **Kapitel 3.3** wird das autonome Fahren thematisiert. Weiterhin behandelt **Kapitel 3.4** die internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen. Abschließend wird in **Kapitel 3.5** die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) in Fahrerassistenzsystemen untersucht. **Kapitel 4** beleuchtet die Herausforderungen und Lösungsansätze im Bereich der Fahrerassistenzsysteme. Zunächst werden in **Kapitel 4.1** die technologischen Herausforderungen dargestellt. Anschließend werden in **Kapitel 4.2** gesellschaftliche und ethische Fragen untersucht. Zum Abschluss dieses Kapitels werden in **Kapitel 4.3** die regulatorischen und rechtlichen Aspekte der Implementierung von Fahrerassistenzsystemen analysiert. Im abschließenden **Kapitel 5** wird ein Fazit gezogen, welches die wesentlichen Ergebnisse zusammenfasst. Außerdem wird ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und mögliche Verbesserungen im Bereich der Fahrerassistenzsysteme gegeben. Nach dem Fazit folgt das **Literaturverzeichnis**, das alle zitierten Werke auflistet.

1.3 Zielsetzung und Problemstellung

Mit der zunehmenden Integration von Fahrerassistenzsystemen und der fortschreitenden Vernetzung von Fahrzeugen wird die Automobilindustrie mit neuen Herausforderungen und Möglichkeiten konfrontiert. Diese Technologien haben das Potenzial, die Fahrzeugsicherheit signifikant zu erhöhen, die Effizienz zu verbessern und das Fahrerlebnis zu optimieren. Dennoch stehen die Hersteller vor komplexen Fragen bezüglich der Implementierung, der ethischen und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie der Akzeptanz durch die Nutzer. **Winner 2021** hebt hervor, dass diese Entwicklungen nicht nur technologische Innovationen erfordern, sondern auch eine sorgfältige Auseinandersetzung mit den rechtlichen und ethischen Implikationen. Insbesondere die Fragen der Datensicherheit und des Datenschutzes gewinnen an Bedeutung, da vernetzte Fahrzeuge eine große Menge an sensiblen Daten generieren und verarbeiten. Gleichzeitig müssen technologische Herausforderungen, wie die Integration verschiedener Systeme und die Gewährleistung ihrer Zuverlässigkeit und Sicherheit, bewältigt werden.

Ein zentrales Problem ist die Balance zwischen den fortschrittlichen Funktionen der Fahrerassistenzsysteme und den ethischen Bedenken, die durch ihre Nutzung aufkommen. Dazu gehören Fragen der Haftung bei Unfällen, die Verantwortung des Fahrers im Vergleich zur Technologie und die Auswirkungen auf die Privatsphäre der Nutzer. Darüber hinaus spielen rechtliche Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle, um die Sicherheit und den Datenschutz zu gewährleisten und gleichzeitig die Innovationskraft nicht zu hemmen. Laut **Winner 2021** ist eine klare und kohärente rechtliche Struktur notwendig, um diese Bedenken zu adressieren.

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, zielt diese Arbeit darauf ab, die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

Welche rechtlichen Vorgaben und ethischen Überlegungen müssen bei der Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen berücksichtigt werden, und inwiefern beeinflussen diese die Gestaltung und Einführung dieser Technologien?

Ziel dieser Arbeit ist es, durch eine umfassende Analyse der aktuellen Entwicklungen und Trends im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und vernetzten Fahrzeuge, diese Forschungsfragen zu beantworten. Dabei sollen technische Grundlagen, ethische

Überlegungen und rechtliche Rahmenbedingungen gleichermaßen berücksichtigt werden, um ein ganzheitliches Verständnis der Problematik zu ermöglichen. Durch die Identifikation und Ausarbeitung möglicher Lösungsansätze soll ein Beitrag zur weiteren Entwicklung und erfolgreichen Implementierung dieser zukunftsweisenden Technologien geleistet werden.

2 Technische Grundlagen

2.1 Stand der Technik

Die Entwicklung der Fahrerassistenzsysteme und des automatisierten Fahrens markiert nach **Götze 2023** einen bedeutenden Fortschritt in der Geschichte der Automobiltechnologie. Die Anfänge dieser Entwicklung reichen zurück in die Zeit, als Verbesserungen hauptsächlich auf mechanischer Ebene erfolgten und das Autofahren vorwiegend auf manuellen Kontrollen basierte. Mit dem Fortschritt der Technologie begann die Ära der elektronischen Hilfsmittel, die als Vorläufer der modernen Fahrerassistenzsysteme gelten. Die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen hat sich in den letzten Jahrzehnten rasant beschleunigt. Von den Anfängen einfacher Funktionen wie dem Antiblockiersystem (ABS) und dem Elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP) entwickelte sich die Technologie zu fortschrittlicheren Systemen wie adaptiven Geschwindigkeitsregelungen (ACC), Spurhalteassistenten und automatischen Notbremssystemen. Diese Systeme verwenden eine Kombination aus Sensoren und Kameras, um die Fahrzeugumgebung zu überwachen und entsprechend auf Verkehrssituationen zu reagieren, wodurch die Sicherheit erhöht und der Fahrer unterstützt wird.

Aktuelle Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens konzentrieren sich auf die Schaffung von Systemen, die in der Lage sind, komplexe Verkehrssituationen zu meistern. Trotz beeindruckender Fortschritte in der Technologie gibt es weiterhin Herausforderungen in Bezug auf die Zuverlässigkeit der Systeme, die Interaktion mit menschlichen Fahrern und rechtlichen Rahmenbedingungen. **Jung 2020** hebt hervor, dass die Sicherheit dabei ein zentraler Aspekt bleibt und dass automatisierte Fahrsysteme das Potenzial haben, die Verkehrssicherheit erheblich zu erhöhen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Fahrerassistenzsysteme spiegelt den Übergang von anfänglichen, mechanisch basierten Verbesserungen zu einer Phase komplexer, elektronischer Systeme wider. Der Zeitstrahl in **Abbildung 1** veranschaulicht die Einführung und Integration verschiedener Assistenzsysteme über die Jahre hinweg bei Porsche. Es zeigt die Entwicklung von adaptiven Geschwindigkeitsregelungen, Spurhalteassistenten bis hin zu Porsche InnoDrive, welches eine neue Ära des automatisierten Fahrens repräsentiert. Ähnlich der Entwicklungsgeschichte von ADAS in den USA, die in den 1970er und 1980er Jahren mit elektronischen Hilfen

experimentierte und dann in den 1990er Jahren mit Funktionen wie ABS und elektronischer Stabilitätskontrolle an Bedeutung gewann, hat Porsche diese Technologien in seine Fahrzeuge integriert und weiterentwickelt, was ein neues Maß an Sicherheit und Effizienz in der Automobilbranche setzte.

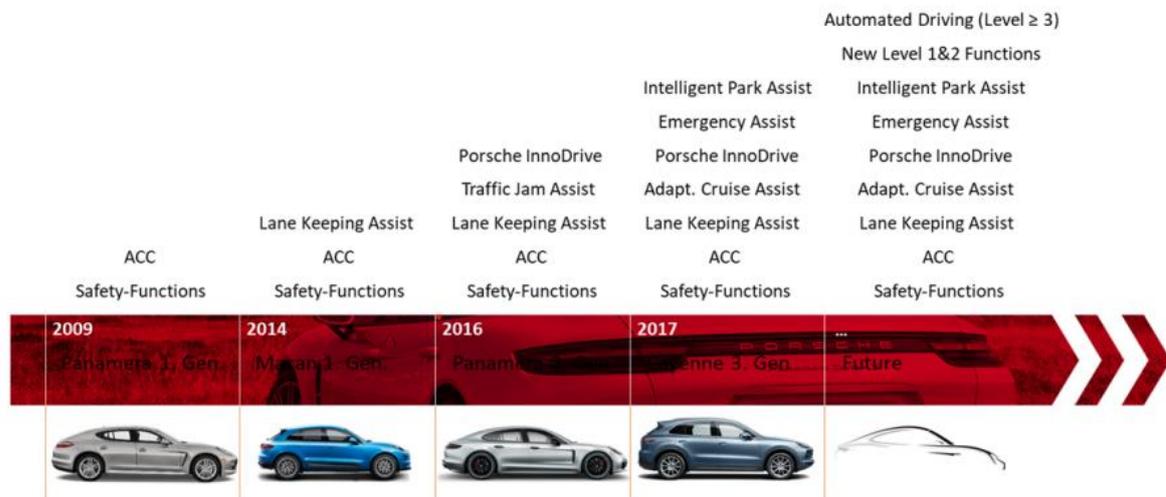


Abbildung 1: Zeitachse über Integration verschiedener Assistenzsysteme [Schick 2019]

Eine weitere wichtige Komponente in der Entwicklung des automatisierten Fahrens ist die Trajektorienplanung. Diese umfasst die Entwicklung von Systemen, die bis in den fahrdynamischen Grenzbereich operieren können. **Gundlach 2021** stellt fest, dass dies eine sorgfältige Berücksichtigung der Fahrzeugdynamik sowie der sich ständig ändernden Umgebungsbedingungen erfordert. Solche Systeme müssen nicht nur die aktuelle Fahrzeugsituation präzise erfassen, sondern auch zukünftige Bewegungen antizipieren können. Dies stellt hohe Anforderungen an die Sensorik, die Datenverarbeitung und die algorithmischen Modelle, die zur Vorhersage und Anpassung der Fahrzeugtrajektorien verwendet werden.

Eine entscheidende Rolle in diesem fortlaufenden Innovationsprozess spielen Patente, die den rechtlichen Rahmen für die Kommerzialisierung und den Schutz neuer Technologien bieten. Patente sind Schutzrechte, die Erfindern für einen begrenzten Zeitraum exklusive Rechte gewähren, um ihre Erfindungen kommerziell zu nutzen und vor unautorisierter Nutzung zu schützen. Die Ursprünge des Patentsystems reichen bis ins 15. Jahrhundert zurück, als das erste bekannte Patent in Venedig erteilt wurde. Nach **Meitinger 2022** entwickelte sich das Patentsystem im

Laufe der Jahrhunderte weiter, um Innovationen zu fördern und den Wettbewerb zu stärken.

Ein bedeutender Meilenstein in der Geschichte des Patentsystems ist laut **Pfaller 2013** die Einführung des britischen Patentsystems im 19. Jahrhundert, das als eines der ersten modernen Patentsysteme gilt. Im 19. und 20. Jahrhundert verbreitete sich das Konzept des Patentschutzes weltweit, und internationale Abkommen wie das Pariser Übereinkommen zum Schutz des gewerblichen Eigentums von 1883 schufen einheitliche Standards für den Patentschutz in verschiedenen Ländern. Das moderne europäische Patentsystem wird durch das Patentgesetz (PatG) von 1936 geregelt. Es wurde 1981 noch einmal überarbeitet und neu gefasst. Laut **Artikel 1 PatG 1981** können Patente für neue, erfinderische und gewerblich anwendbare Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt werden. Nach **Meitinger 2022** ist eines der Grundprinzipien des Patentsystems die Dualität des gewerblichen Rechtsschutzes, die sowohl die Schutzfunktion für technische Erfindungen als auch die Informationsfunktion umfasst.

In der Automobilindustrie spielen Patente eine entscheidende Rolle, insbesondere im Bereich der Fahrerassistenzsysteme. Sie schützen die Investitionen der Unternehmen in Forschung und Entwicklung, indem sie exklusive Nutzungsrechte an den Innovationen gewähren. Dies fördert den technologischen Fortschritt und stellt sicher, dass innovative Lösungen kontinuierlich entwickelt und in den Markt eingeführt werden können. Ein Blick auf die Patentlandschaft zeigt, dass viele bedeutende Automobilhersteller und Technologieunternehmen wie Bosch, Continental, Tesla und Google zahlreiche Patente im Bereich der Fahrerassistenzsysteme angemeldet haben. Diese Patente decken eine Vielzahl von Technologien ab, darunter fortschrittliche Sensorik, Datenverarbeitungsalgorithmen und Systeme zur Fahrzeugkommunikation. Laut **Artikel 3 PatG 1936** gilt eine Erfindung als neu, "wenn sie nicht zum Stand der Technik gehört. Den Stand der Technik bildet alles, was vor dem Anmeldetag der europäischen Patentanmeldung der Öffentlichkeit durch schriftliche oder mündliche Beschreibung, durch Benutzung oder in sonstiger Weise zugänglich gemacht worden ist".

Unternehmen verfolgen unterschiedliche Strategien, um ihre Patente zu verwalten und zu schützen. **Meitinger 2022** beschreibt, dass Patentstrategien grob in defensive und offensive Strategien unterteilt werden können. Defensive Patentstrategien zielen

darauf ab, die eigene Technologie und Marktposition zu schützen. Unternehmen melden Patente an, um sicherzustellen, dass sie ihre Innovationen exklusiv nutzen können und um sich gegen mögliche Patentverletzungsklagen abzusichern.

Ein Beispiel hierfür ist Bosch, das zahlreiche Patente im Bereich der Radarsensorik und Lidar-Technologien angemeldet hat, welche für die Umfelderkennung und Hindernisvermeidung entscheidend sind. Wie im Jahresbericht des Deutschen Patent- und Markenamts (**DPMA 2023**) beschrieben, ist Bosch seit 16 Jahren in Folge der größte Patentanmelder in Deutschland mit 4.160 Anmeldungen. Auch Mercedes-Benz und BMW sind in dieser Liste vertreten, mit 2.046 bzw. 1.963 Anmeldungen, was ihren Fokus auf die Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien in der Automobilbranche verdeutlicht

Offensive Patentstrategien hingegen werden laut **Meitinger 2022** genutzt, um Wettbewerber zu behindern und Markteintrittsbarrieren zu errichten. Unternehmen nutzen ihre Patente, um Lizenzgebühren zu generieren oder rechtliche Schritte gegen Wettbewerber einzuleiten, die ihre Technologien ohne Genehmigung verwenden. Tesla 2021 hat wiederum Patente für seine Autopilot-Technologie, die auf fortschrittlichen neuronalen Netzwerken basiert, die in Echtzeit die Fahrzeugumgebung analysieren und autonome Fahrentscheidungen treffen, wie **Tesla 2021** erläuterte.

Ein Beispiel für die Bedeutung solcher Patente im wettbewerbsintensiven Markt zeigt der Rechtsstreit zwischen Waymo und Uber. Laut **Chen 2018** führte der Rechtsstreit zwischen Waymo, einem Tochterunternehmen von Alphabet Inc., und Uber zu einer Einigung in Höhe von 245 Millionen Dollar. Der Fall drehte sich um den Vorwurf, dass ein ehemaliger Waymo-Mitarbeiter vertrauliche Technologie für selbstfahrende Autos gestohlen und bei Uber verwendet habe.

Zukünftig werden Patente weiterhin eine wichtige Rolle bei der Förderung von Innovationen spielen. Sie ermöglichen es Unternehmen, strategische Allianzen und Partnerschaften einzugehen, um gemeinsam an neuen Technologien zu arbeiten. Laut **Artikel 10 PatG 1936** gewährt das europäische Patent seinem Inhaber das ausschließliche Recht, Dritten die Nutzung der patentierten Erfindung ohne Zustimmung zu verbieten.

2.2 Klassifizierung der Assistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme im modernen Automobilbau gliedern sich in verschiedene Kategorien, die jeweils spezifische Funktionen im Hinblick auf Sicherheit, Komfort und Informationsbereitstellung erfüllen. Wie **Winner 2023** beschreibt, umfassen diese Systeme sowohl unfallvorbeugende als auch Unfallfolgenmindernde Maßnahmen. Diese werden oft als aktive und passive Sicherheit bezeichnet. Aktive Sicherheitssysteme, wie das Antiblockiersystem (ABS), tragen durch präventive Maßnahmen zur Unfallvermeidung bei. Passive Sicherheitssysteme, wie Airbags, bieten Schutz bei bereits eingetretenen Unfällen. Darüber hinaus lassen sich Assistenzsysteme in Systeme für die Längs- und Querführung des Fahrzeugs unterteilen, die auch als Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) bekannt sind.

Die Integration von aktiven und passiven Sicherheitssystemen führt zur sogenannten Integralen Sicherheit. Dieses Konzept zielt darauf ab, die Effizienz und den Nutzen der Sicherheitssysteme über die gesamte Zeitspanne eines Fahrzeugs zu maximieren. **Abbildung 2** zeigt das Potenzial der Integralen Sicherheit, indem sie den zeitlichen Verlauf der aktiven, passiven und Integralen Sicherheitssysteme veranschaulicht.

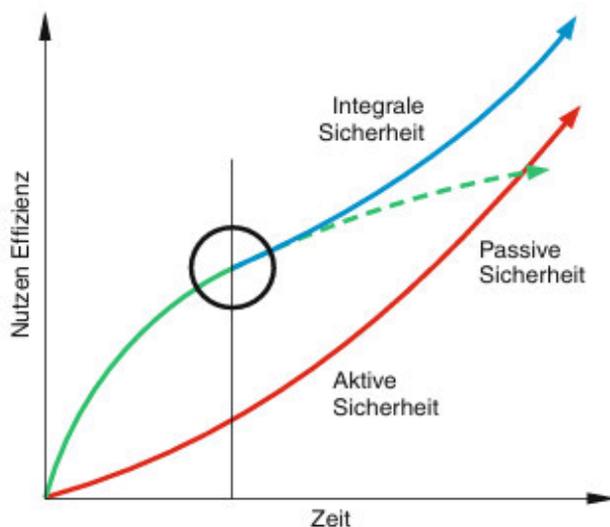


Abbildung 2: Potenzial der Integralen Sicherheit [Handbuch Kraftfahrzeugtechnik 2021]

Auf Ebene der automatisierten Fahrfunktionen, die eine partielle oder vollständige Übernahme der Fahrzeugsteuerung ermöglichen, wird laut Kraftfahrt-Bundesamt (**KBA 2024**) zwischen verschiedenen Automatisierungsgraden unterschieden, die von assistierten bis hin zu vollautonomen Fahrsystemen reichen. Diese hochentwickelten Systeme integrieren fortschrittliche Sensor- und Kamerasysteme sowie Algorithmen des maschinellen Lernens.

Um weltweit einheitliche Standards und ein klares Verständnis in Diskussionen über die verschiedenen Automatisierungsgrade von Fahrzeugen zu schaffen, hat die Society of Automotive Engineers (SAE) International im Jahr 2014 die Norm SAE J3016 eingeführt. Diese Norm klassifiziert die Automatisierungsgrade in sechs Stufen und wird international als Referenz verwendet. Nach der Überarbeitung durch **SAE International 2021** ergibt sich folgende Klassifizierung der Automatisierungsgrade:

Stufe 0: Keine Automatisierung

In dieser Stufe führt der Fahrer während der gesamten Fahrt dauerhaft die Längs- und Querführung des Fahrzeugs aus. Es ist kein System im Fahrzeug vorhanden, das in das Fahrgeschehen eingreifen kann. Fahrzeuge mit Systemen wie dem ABS oder dem ESP, welche den Fahrer im Hintergrund unterstützen, fallen ebenfalls in diese Kategorie.

Stufe 1: Assistiertes Fahren

Beim assistierten Fahren übernimmt der Fahrer entweder die Längs- oder die Querführung des Fahrzeugs, während die jeweils andere Aufgabe vom Fahrzeug selbst ausgeführt wird. Eine kontinuierliche Überwachung durch den Fahrer ist hierbei zwingend erforderlich, sodass er jederzeit die Kontrolle übernehmen kann. Ein Beispiel hierfür ist der Spurhalteassistent im Ford Focus. Dieses System unterstützt laut **Ford 2021** bei der Querführung, indem es den Fahrer warnt oder leichte Lenkeingriffe vornimmt, wenn das Fahrzeug unbeabsichtigt die Fahrspur zu verlassen droht. Hier bleibt der Fahrer für die Längsführung (Beschleunigen und Bremsen) verantwortlich. **In Abbildung 3** sieht man das Display des Ford Focus, das den Fahrer beim Einsatz des Spurhalteassistenten unterstützt.



Abbildung 3: Ford Focus mit aktivem Spurhalteassistenten [Ford 2021]

Stufe 2: Teilautomatisiertes Fahren

In dieser Stufe übernimmt das Fahrzeugsystem für bestimmte Anwendungsfälle selbstständig sowohl die Längs- als auch die Querführung. Der Fahrer muss das Fahrzeug jedoch weiterhin dauerhaft überwachen und jederzeit bereit sein, die Steuerung zu übernehmen. Ein Beispiel hierfür ist der Tesla Autopilot in seiner aktuellen Version, wie er in **Abbildung 4** zu sehen ist. Das System nutzt laut **Tesla 2023** eine Kombination aus acht umlaufenden Kameras, zwölf Ultraschallsensoren und einem nach vorne gerichteten Radar, um eine 360-Grad-Sicht um das Fahrzeug herum zu ermöglichen. Diese Sensoren sammeln detaillierte Daten über die Umgebung, die von einem leistungsstarken Bordcomputer verarbeitet werden.



Abbildung 4: Tesla Autopilot im Model 3 [Tesla 2023]

Nach **Tesla 2023** kann der Autopilot das Fahrzeug nicht nur in der Spur halten und den Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen regeln, sondern auch automatische Spurwechsel durchführen, wenn der Fahrer den Blinker betätigt. Zudem erkennt das System Geschwindigkeitsbegrenzungen mittels kamerabasierter Schildererkenkung und passt die Geschwindigkeit entsprechend an. In bestimmten Situationen kann das Fahrzeug selbstständig auf Autobahnen navigieren, Ausfahrten nehmen und sogar automatisch einparken. Gemäß **Tesla 2023** erfolgt die Verarbeitung der Sensordaten über fortschrittliche Algorithmen für maschinelles Sehen und neuronale Netze, die kontinuierlich durch Flottendaten verbessert werden. Trotz dieser technischen Fortschritte bleibt der Fahrer verantwortlich und muss das System ständig im Blick behalten. Es ist wichtig, die Hände am Lenkrad zu behalten und jederzeit bereit zu sein, eingreifen zu können.

Stufe 3: Hochautomatisiertes Fahren

Beim hochautomatisierten Fahren übernimmt das Fahrzeug in speziellen Anwendungsfällen die vollständige Längs- und Querführung, ohne dass der Fahrer das System dauerhaft überwachen muss. Das System erkennt seine Grenzen selbstständig und fordert den Fahrer in kritischen Situationen zur Übernahme auf.

Ein bedeutendes Beispiel für den aktuellen Stand der Technik ist der Honda Legend EX mit dem Traffic Jam Pilot, der als erstes Serienfahrzeug mit einem Level-3-System nach SAE J3016 in Japan für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen wurde.

Abbildung 5 zeigt den Honda Legend EX mit aktiviertem Traffic Jam Pilot. Laut **Honda 2021** ermöglicht dieses System dem Fahrzeug, auf Autobahnen bei Geschwindigkeiten unter 50 km/h die Fahraufgabe vollständig zu übernehmen, ohne dass der Fahrer das System dauerhaft überwachen muss.



Abbildung 5: Honda Legend X [Honda 2021]

Der Traffic Jam Pilot nutzt eine Kombination aus LiDAR, Radar, Kameras und präzisiertem GPS, um die Umgebung in Echtzeit zu analysieren und sicher zu navigieren. Hochauflösende LiDAR-Sensoren ermöglichen eine detaillierte 3D-Erfassung der Fahrzeugumgebung, während Radarsensoren und Kameras die Objekterkennung und -klassifizierung unterstützen. Das präzise GPS gewährleistet eine genaue Positionierung auf der Straße.

Ähnlich fortschrittlich ist der Mercedes-Benz Drive Pilot, der in der neuen S-Klasse zum Einsatz kommt. Die **Mercedes-Benz AG 2022** betont, dass dieses Level-3-System in Deutschland und im US-Bundesstaat Nevada für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen wurde. Der Drive Pilot ermöglicht hochautomatisiertes Fahren auf geeigneten Autobahnabschnitten bei Geschwindigkeiten von bis zu 60 km/h. **Abbildung 5** zeigt die Sensorik und deren Positionierung in der Mercedes-

Benz S-Klasse mit aktiviertem Drive Pilot. Durch die Integration von LiDAR-Sensorik, Kameras, Radarsensoren, Ultraschallsensoren und einem Feuchtigkeitsdetektor kann das System komplexe Verkehrssituationen bewältigen. Ein zentrales Element ist die HD-Kartendatenbank, die genaue Informationen über die Straßeninfrastruktur liefert.



Abbildung 6: Sensorik des Mercedes-Benz S-Klasse mit Drive Pilot [Mercedes-Benz 2022]

Beide Systeme repräsentieren den aktuellen Stand des hochautomatisierten Fahrens und nutzen eine Kombination aus LiDAR, Radar und Kameras zur Umfelderkennung. Während der Honda Legend EX sich auf den Einsatz in Stausituationen bei niedrigen Geschwindigkeiten spezialisiert hat, erweitert der Mercedes-Benz Drive Pilot den Einsatzbereich auf höhere Geschwindigkeiten und vielfältigere Verkehrssituationen. Die unterschiedlichen Sensorik-Konzepte und Einsatzbereiche zeigen die verschiedenen Ansätze der Hersteller zur Umsetzung von Level-3-Systemen.

Stufe 4: Vollautomatisiertes Fahren

In dieser Stufe steuert das Fahrzeugsystem für bestimmte Anwendungsfälle vollständig die Längs- und Querführung, ohne dass eine Überwachung durch den Fahrer erforderlich ist. Das Fahrzeug bewältigt alle auftretenden Situationen eigenständig und informiert den Fahrer erst nach Abschluss des Anwendungsfalls darüber, dass er die Kontrolle wieder übernehmen kann. Obwohl vollautomatisiertes Fahren technisch bereits erprobt wird, existieren derzeit noch keine Serienfahrzeuge auf diesem Automatisierungsniveau. Zahlreiche technische und rechtliche Hürden

müssen überwunden werden, bevor solche Systeme im öffentlichen Straßenverkehr eingesetzt werden können.

Stufe 5: Fahrerloses, Autonomes Fahren

Auf der höchsten Automatisierungsstufe übernimmt das Fahrzeugsystem sämtliche Fahraufgaben und steuert das Fahrzeug unter allen Bedingungen und auf allen Straßentypen vom Start bis zum Ziel. Der Mensch wird zum Passagier und ist nicht mehr in die Fahrzeugführung eingebunden. In diesem Szenario könnten klassische Bedienelemente wie Lenkung, Gas- und Bremspedal vollständig entfallen, da das Fahrzeug keine manuellen Eingriffe mehr vorsieht. Diese Vision des vollständig autonomen Fahrens befindet sich noch in der Entwicklung, und es sind erhebliche Fortschritte in Technik und Gesetzgebung erforderlich, um sie zu realisieren.

Die gesetzlichen Regelungen für automatisierte Fahrsysteme unterscheiden sich weltweit erheblich. Laut dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (**BMDV 2021**) wurde in Deutschland im Jahr 2021 das "Gesetz zum autonomen Fahren" verabschiedet. Dieses Gesetz ermöglicht unter bestimmten Bedingungen den Betrieb von autonomen Fahrzeugen der Stufe 4 im öffentlichen Straßenverkehr. Zu diesen Bedingungen zählen festgelegte Betriebsbereiche, in denen die Fahrzeuge eingesetzt werden dürfen, sowie strenge Anforderungen an die technische Ausstattung und die Sicherheitsüberwachung der Systeme.

Eine internationale Harmonisierung der Regelungen ist erforderlich, um grenzüberschreitenden Verkehr mit autonomen Fahrzeugen zu ermöglichen und einheitliche Sicherheitsstandards zu gewährleisten. Beispielsweise hat Japan bereits Level-3-Fahrzeuge für den öffentlichen Verkehr zugelassen, während in den USA die Gesetzgebung je nach Bundesstaat variiert. Wie in der Mitteilung der **Europäischen Kommission 2018** dargelegt, arbeitet die Europäische Union an gemeinsamen Richtlinien, um die Einführung automatisierter Fahrsysteme zu fördern und rechtliche Unsicherheiten zu minimieren.

Im Kontext der Sicherheitssysteme von Fahrerassistenzsystemen im Automobilbau spielt die kontinuierliche Entwicklung und Implementierung dieser Technologien eine zentrale Rolle bei der Steigerung der Verkehrssicherheit und der Reduzierung von

Unfallrisiken. Aktuelle Unfalldaten in Deutschland verdeutlichen den positiven Einfluss von Fahrerassistenzsystemen auf die Verkehrssicherheit.

Abbildung 7 veranschaulicht die Entwicklung der Verkehrsunfälle und der Anzahl der Verkehrstoten in Deutschland seit den 1950er Jahren. Besonders auffällig ist die deutliche Abnahme der Anzahl der Verkehrstoten seit den 1970er Jahren, als erste sicherheitsrelevante Systeme wie der Sicherheitsgurt eingeführt wurden. Mit der Einführung weiterer Fahrerassistenzsysteme wie Antiblockiersystem (ABS), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) und Notbremsassistenten hat sich dieser Trend fortgesetzt.

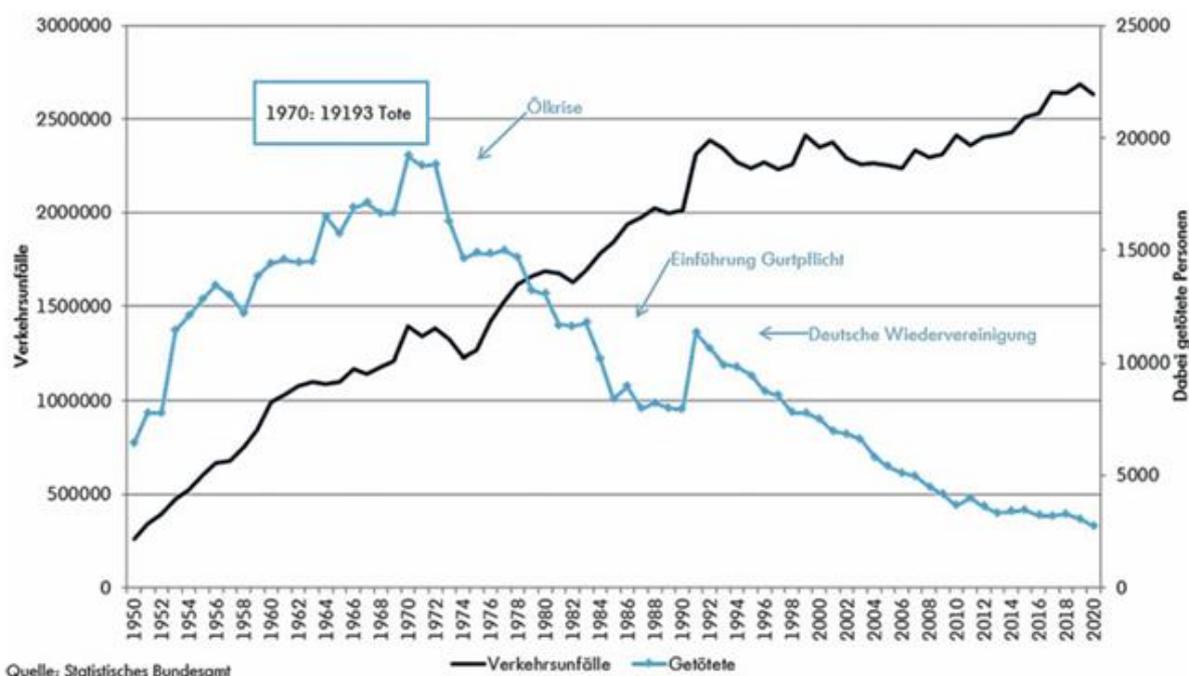


Abbildung 7: Verkehrsunfälle und getötete in Deutschland [Destatis 2020]

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (**Destatis 2023**) ereigneten sich im Jahr 2022 insgesamt rund 2,5 Millionen polizeilich erfasste Verkehrsunfälle in Deutschland. Dabei wurden etwa 300.000 Personen verletzt und 2.700 Menschen kamen ums Leben. Trotz einiger Schwankungen zeigt der langfristige Trend einen kontinuierlichen Rückgang der Verkehrstoten. Die Statistik in **Abbildung 8** zeigt, dass viele dieser Unfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen sind, insbesondere auf zu geringen Abstand, nicht angepasste Geschwindigkeit und Alkoholeinfluss. Diese drei Ursachen haben erheblich zur Anzahl der Unfälle mit Personenschaden beigetragen. Trotz einiger Schwankungen bleibt der Trend relativ stabil, was auf die kontinuierliche Notwendigkeit hinweist, Fahrerassistenzsysteme und andere

Sicherheitsmaßnahmen zu verbessern, um diese häufigen Unfallursachen zu reduzieren.

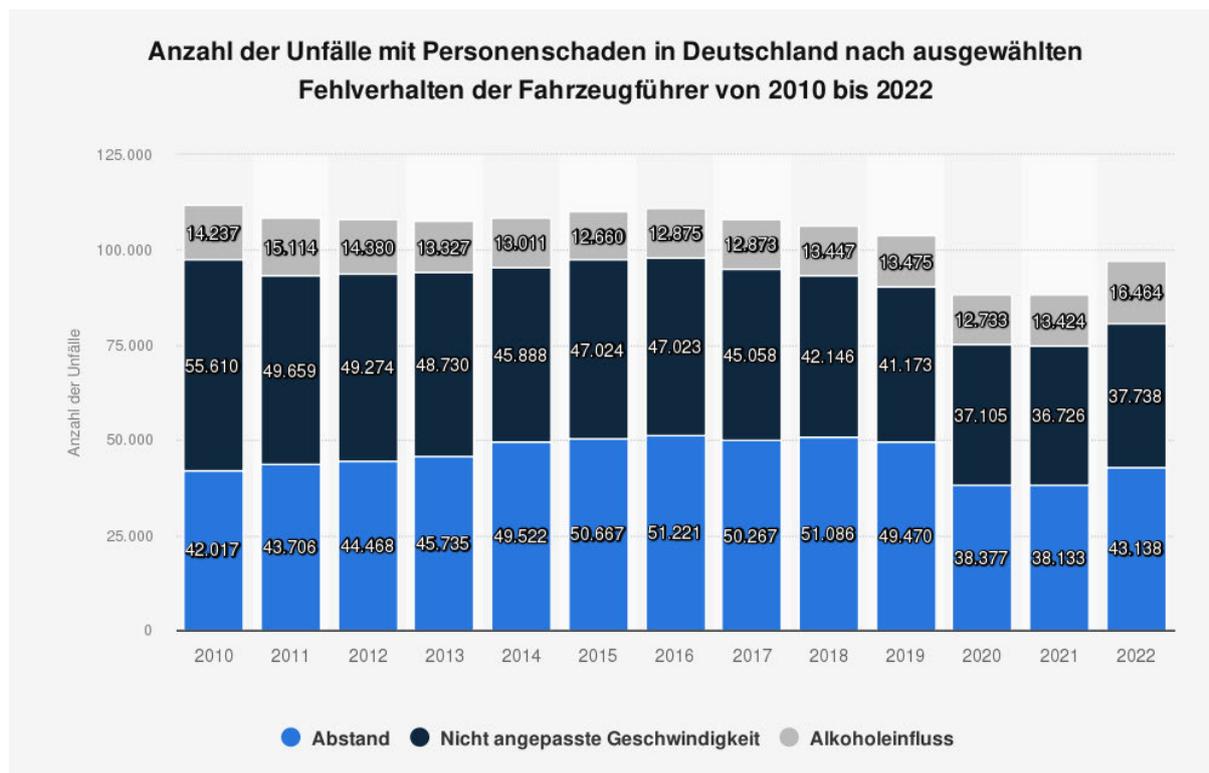


Abbildung 8: Anzahl der Unfälle mit Personenschäden in Deutschland nach Fehlverhalten der Fahrzeugführer [Destatis 2020]

2.2.1 Aktive Sicherheitssysteme

Fahrerassistenzsysteme im modernen Automobilbau gliedern sich in unterschiedliche Kategorien, die jeweils spezifische Funktionen im Hinblick auf Sicherheit, Komfort und Informationsbereitstellung erfüllen. Nach der **Euro NCAP 2024** umfassen diese Systeme sowohl aktive als auch passive Sicherheitstechnologien. Aktive Sicherheitssysteme sind darauf ausgerichtet, Unfälle zu verhindern, indem sie potenzielle Gefahren erkennen und darauf reagieren, bevor ein Unfall geschieht. Diese Systeme arbeiten in Echtzeit, um potenzielle Risiken zu identifizieren und zu vermeiden. Zu den wesentlichen aktiven Sicherheitssystemen gehören Assistenzsysteme, die den Zustand des Fahrzeugs durch verschiedene Sensoren überwachen. Diese Sensoren erfassen wichtige Fahrdaten wie Geschwindigkeit, Lenkwinkel und Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche. Die gewonnenen Daten werden verwendet, um Systeme wie das Antiblockiersystem (ABS) zu steuern.

Das ABS ist ein grundlegendes aktives Sicherheitssystem im modernen Automobilbau. Laut **Bosch 2024** verhindert das ABS, dass die Räder während des Bremsvorgangs blockieren, wodurch die Lenkfähigkeit und Stabilität des Fahrzeugs auch in kritischen Situationen erhalten bleibt. Das System arbeitet durch kontinuierliche Überwachung der Raddrehzahlen mittels Sensoren. Sobald die Sensoren eine Blockierneigung der Räder feststellen, reguliert das ABS die Bremskraft über Magnetventile und eine Hydraulikeinheit, um das Blockieren zu verhindern. **Abbildung 9** verdeutlicht den Unterschied im Bremsverhalten mit und ohne ABS. Ohne ABS kommt es bei starkem Bremsen – insbesondere auf glatten oder rutschigen Oberflächen – zum Blockieren der Räder, was zu einem Verlust der Lenkfähigkeit und möglicherweise zum Schleudern führen kann. Das Fahrzeug bleibt nicht mehr steuerbar, wie in der unteren Darstellung der Abbildung zu sehen ist. Mit ABS hingegen, wie in der oberen Darstellung der Abbildung gezeigt, bleibt das Fahrzeug auch während des Bremsens lenkbar, da die Bremskraft so reguliert wird, dass die Räder weiterhin mit einem kontrollierten Schlupf abrollen. Dies sorgt dafür, dass die Lenkfähigkeit erhalten bleibt, was besonders in Notsituationen wie plötzlichem Bremsen auf nassen oder vereisten Fahrbahnen von entscheidender Bedeutung ist.

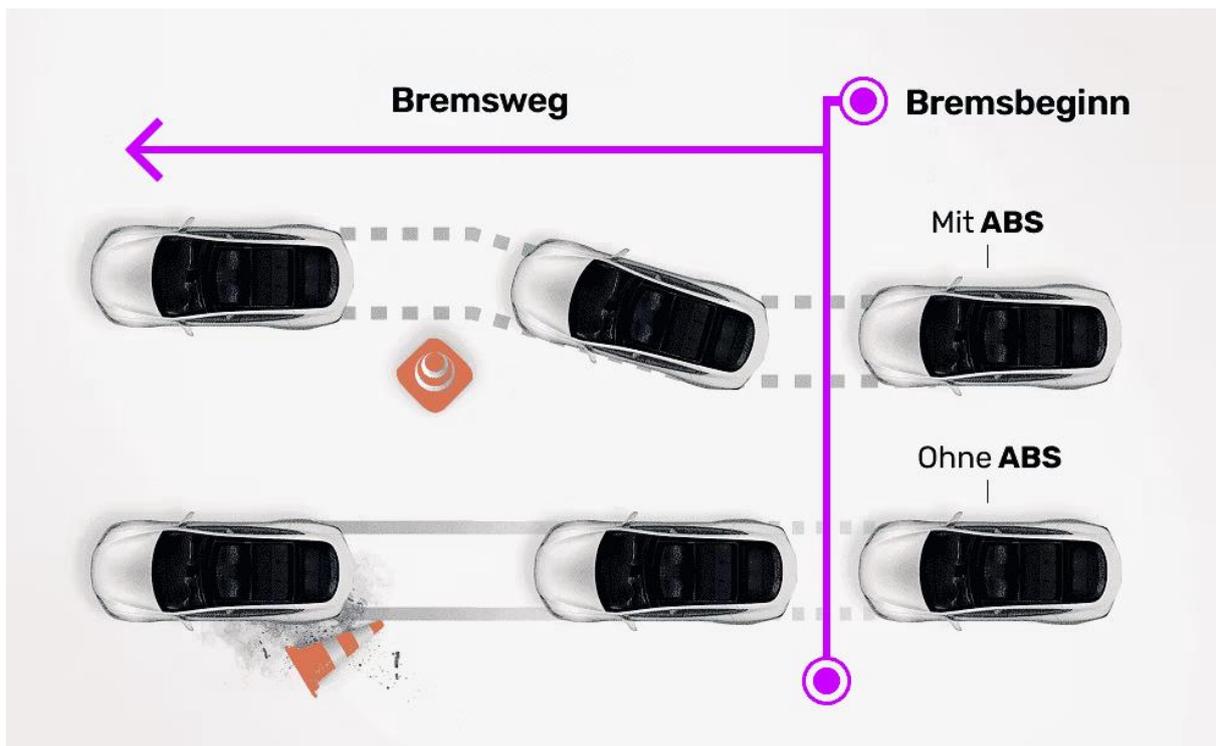


Abbildung 9: Vergleich des Bremsverhaltens mit und ohne ABS [MeinAuto 2024]

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der aktiven Sicherheitssysteme ist das ESP. Dieses System stabilisiert gemäß **Bosch 2024** das Fahrzeug, indem es selektiv Bremskräfte auf einzelne Räder anwendet, um Über- oder Untersteuern zu. ESP verwendet eine Vielzahl von Sensoren, um die Fahrsituation kontinuierlich zu überwachen. Zu diesen Sensoren gehören unter anderem Drehratensensoren, Lenkwinkelsensoren und Raddrehzahlsensoren. Das ESP-Steuergerät vergleicht die tatsächliche Fahrzeugbewegung mit den Eingaben des Fahrers und berechnet, ob das Fahrzeug von der gewünschten Fahrtrichtung abweicht.

Wenn das ESP-System feststellt, dass das Fahrzeug über- oder untersteuert, greift es laut **Bosch 2024** gezielt ein. Beim Übersteuern, bei dem das Fahrzeugheck ausbricht, wird das kurvenäußere Vorderrad abgebremst, um das Fahrzeug zu stabilisieren. Beim Untersteuern, bei dem das Fahrzeug über die Vorderräder aus der Kurve schiebt, wird das kurveninnere Hinterrad abgebremst, um die gewünschte Fahrlinie wiederherzustellen. Zusätzlich reduziert ESP bei Bedarf die Motorleistung, um die Stabilisierung zu unterstützen. Diese Maßnahmen tragen erheblich dazu bei, die Kontrolle über das Fahrzeug zu behalten und Unfälle zu vermeiden, insbesondere auf rutschigen oder kurvigen Straßen.

Nach **Bosch 2024** ist ESP eng mit dem ABS gekoppelt; beide Systeme nutzen dieselben Raddrehzahlsensoren und die Möglichkeit, den Bremsdruck an den einzelnen Rädern zu steuern. Durch diese Integration kann ESP präzise und schnell auf Instabilitäten des Fahrzeugs reagieren, indem es sowohl Brems- als auch Motorkontrollen verwendet. **Abbildung 10** zeigt die Wirkung des ESP beim Über- und Untersteuern. Links wird das Übersteuern dargestellt, wobei das Fahrzeug ohne ESP ausbricht und ins Schleudern gerät. Mit ESP wird das kurvenäußere Vorderrad abgebremst, um das Fahrzeug zu stabilisieren. Rechts wird das Untersteuern illustriert, bei dem das Fahrzeug ohne ESP die Kurve nicht halten kann und nach außen getragen wird. Mit ESP wird das kurveninnere Hinterrad abgebremst, um die gewünschte Fahrlinie wiederherzustellen.

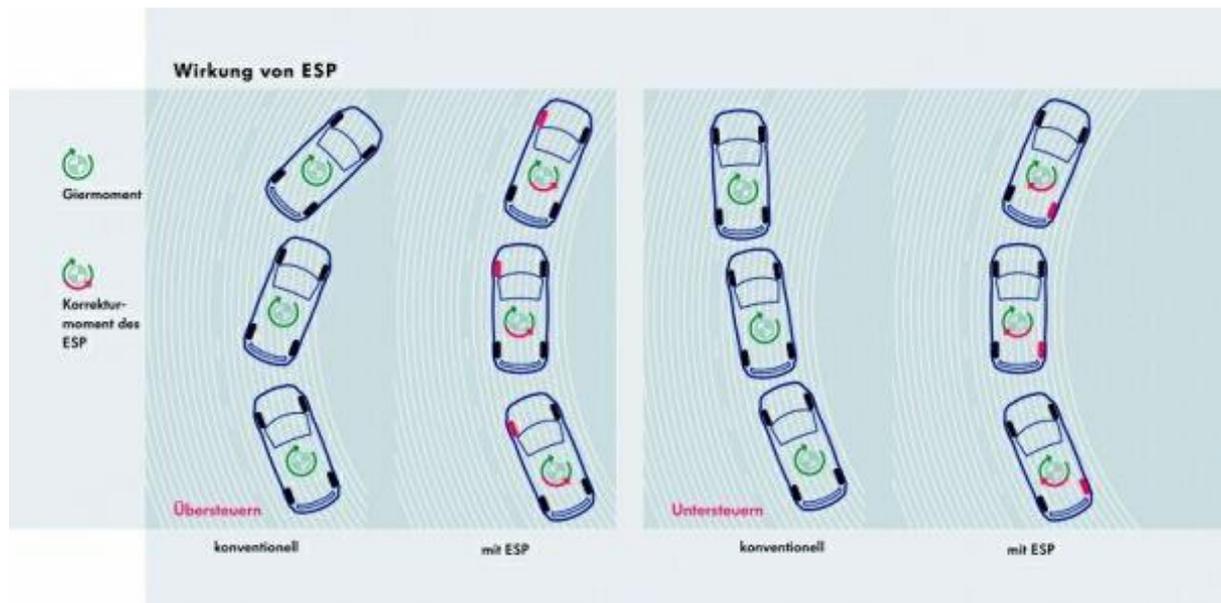


Abbildung 10: Wirkung von ESP beim Über- und Untersteuern [kfztech 2021]

Die ACC ist ebenfalls ein wichtiges aktives Sicherheitssystem. **Bosch 2024** berichtet, dass ACC erheblich zur Reduzierung von Auffahrunfällen beiträgt, indem es die Reaktionszeit des Fahrzeugs auf plötzliche Bremsmanöver verkürzt. ACC nutzt Radar- und Kamerasensoren, um den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu messen und die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs automatisch anzupassen, um einen sicheren Abstand zu wahren. Das System kann das Fahrzeug bremsen und beschleunigen, um die gewünschte Geschwindigkeit und den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug beizubehalten. Dies entlastet den Fahrer besonders bei langen Fahrten und in Stop-and-Go-Verkehrssituationen.

Zu den fortschrittlichsten Sicherheitstechnologien gehört das Automatische Notbremssystem (AEB). **Nach Euro NCAP 2024** verwendet dieses System Sensoren wie Radar, Lidar und Kameras, um die Straße vor dem Fahrzeug zu überwachen und potenzielle Hindernisse zu identifizieren. Das AEB-System zielt darauf ab, Auffahrunfälle mit anderen Fahrzeugen zu vermeiden oder deren Schwere zu reduzieren, indem es den Fahrer warnt und, falls erforderlich, automatisch eine Notbremsung einleitet.

Laut dem Protokoll werden verschiedene Szenarien getestet, um die Wirksamkeit des AEB-Systems zu bewerten, darunter:

- **Car-to-Car Rear Stationary (CCRs):** Das Fahrzeug nähert sich einem stehenden Fahrzeug von hinten.
- **Car-to-Car Rear Moving (CCRm):** Das Fahrzeug nähert sich einem vorausfahrenden, sich bewegenden Fahrzeug von hinten.
- **Car-to-Car Rear Braking (CCRb):** Das vorausfahrende Fahrzeug bremst plötzlich ab.
- **Car-to-Car Front Turn-Across-Path (CCFtap):** Ein entgegenkommendes Fahrzeug biegt vor dem eigenen Fahrzeug ab.
- **Car-to-Car Crossing Straight Crossing Path (CCCscp):** Ein Fahrzeug kreuzt den Fahrweg des eigenen Fahrzeugs an einer Kreuzung.
- **Car-to-Car Front Head-On Straight (CCFhos):** Frontalzusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, das aus der Spur driftet.
- **Car-to-Car Front Head-On Lane Change (CCFhol):** Frontalzusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, das versucht zu überholen und in die Fahrspur des eigenen Fahrzeugs wechselt.

Bei der Erkennung einer drohenden Kollision warnt das AEB-System zunächst den Fahrer durch akustische und visuelle Signale, bekannt als Forward Collision Warning (FCW). Reagiert der Fahrer nicht rechtzeitig, aktiviert das System automatisch die Bremsen, um eine Kollision zu verhindern oder die Aufprallgeschwindigkeit zu reduzieren. Diese Maßnahmen tragen erheblich dazu bei, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, insbesondere in Situationen, in denen der Fahrer abgelenkt ist oder die Gefahr nicht rechtzeitig erkennt. **Abbildung 11** illustriert die verschiedenen Phasen des AEB-Systems gemäß dem Euro NCAP:

1. **Gefahrenerkennung:** Das System identifiziert ein potenzielles Hindernis.
2. **Warnphase (FCW):** Der Fahrer wird akustisch und visuell gewarnt, um auf die drohende Gefahr aufmerksam zu machen.

3. Bremsvorbereitung: Das System bereitet die Bremsen vor oder führt eine leichte Bremsung durch, um die Reaktionszeit zu verkürzen.

4. Notbremsung (AEB): Bei ausbleibender Fahrerreaktion wird eine starke Bremsung eingeleitet, um eine Kollision zu verhindern oder die Aufprallgeschwindigkeit zu minimieren.

Diese Systeme sind besonders effektiv bei Stadtfahrten, wo häufig plötzliche Hindernisse auftreten. Durch die Fähigkeit, schnell auf unerwartete Situationen zu reagieren, trägt das AEB-System erheblich zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit bei.

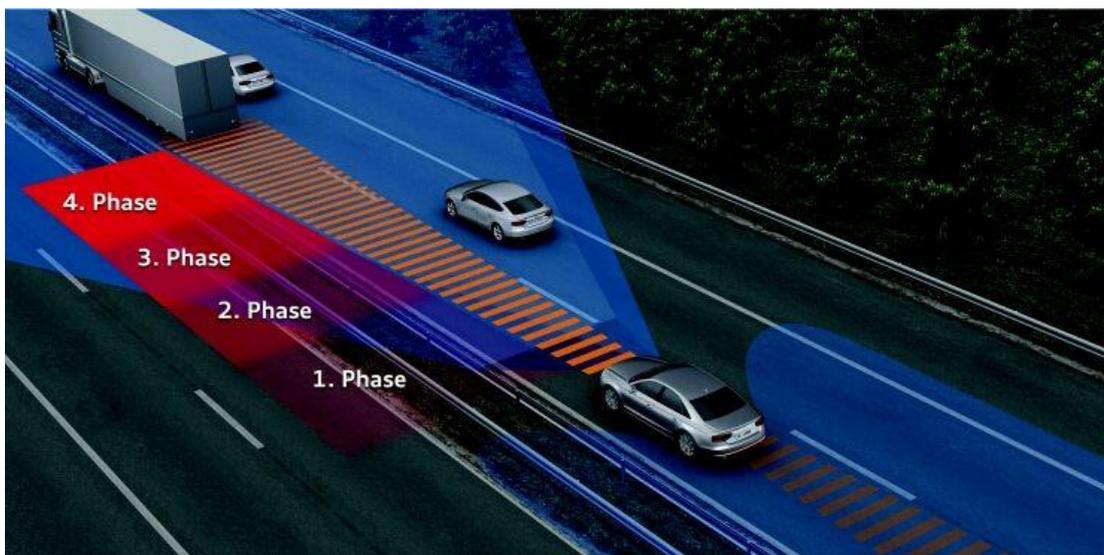


Abbildung 11: Funktionsphasen automatisches Notbremssystem [kfztech 2021]

Früher hatten Scheinwerfer bei Nachtfahrten oft das Problem, dass sie beim Abbiegen nicht ausreichend die Kurve ausleuchteten, was zu einer zeitweisen Fahrt ins Dunkel führte. Mit dem dynamischen Kurvenlicht wurde dieses Problem gelöst. **Seat 2021** beschreibt, wie dieses System den Lichtkegel des Fahrzeugs in die Richtung der Kurve schwenkt, wodurch die Fahrbahn besser ausgeleuchtet wird und der Fahrer Hindernisse früher erkennen kann.

Das System ist geschwindigkeitsabhängig und aktiviert sich ab 10 km/h. Der innere Scheinwerfer schwenkt dabei bis zu 15°, der äußere bis zu 7,5°, um den Gegenverkehr nicht zu blenden. Lenkwinkelsensoren erfassen den Lenkeinschlag, die Geschwindigkeit und die Gierrate, und die Bordelektronik steuert entsprechend die Scheinwerfer. **Abbildung 12** verdeutlicht, wie das dynamische Kurvenlicht die Ausleuchtung in Kurven verbessert. Der Lichtkegel folgt der Fahrtrichtung und macht

Fußgänger und andere potenzielle Gefahrenquellen frühzeitig sichtbar, was die Verkehrssicherheit erhöht, besonders bei Nacht und in schlecht beleuchteten Stadtgebieten.



Abbildung 12: Funktionsweise des dynamischen Kurvenlichts [Seat 2021]

Laut **Bosch 2024** stellt der Spurhalteassistent ein wesentliches Fahrerassistenzsystem dar, das entwickelt wurde, um den Fahrer beim Halten der Fahrspur zu unterstützen und somit die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Dieses System erkennt mithilfe einer Videokamera die Fahrspurmarkierungen und sorgt durch gezielte Eingriffe in die Lenkung dafür, dass das Fahrzeug nicht unbeabsichtigt die Spur verlässt. Bei Bedarf kann der Fahrer jederzeit die Kontrolle übernehmen, was seine Verantwortung für das sichere Fahren unterstreicht. Ein Spurhalteassistent kann zwar nicht die vollständige Querführung eines Fahrzeugs übernehmen, aber er trägt dazu bei, Unfälle durch Ablenkung oder Müdigkeit des Fahrers zu vermeiden, indem er das Fahrzeug aktiv in der Mitte der Fahrspur hält. Besonders auf Autobahnen und gut ausgebauten Landstraßen ist dieser Assistent von großem Nutzen. Zusätzlich verfügt der Spurhalteassistent über Sicherheitsmechanismen, um Missbrauch zu verhindern. Beispielsweise überwacht das System, ob der Fahrer seine Hände am Lenkrad hat. Falls nicht, fordert das System nach kurzer Zeit zur Übernahme auf und beendet die Unterstützung durch den Assistenten mit einer optischen oder akustischen Warnung.

Bosch 2024 beschreibt den Totwinkelassistenten als ein wichtiges Fahrerassistenzsystem, das dazu entwickelt wurde, Unfälle beim Spurwechsel zu vermeiden. Dieses System überwacht den Bereich neben und hinter dem Fahrzeug, der vom Fahrer in den Seitenspiegeln nicht eingesehen werden kann, und warnt vor Fahrzeugen im sogenannten "toten Winkel". Der Totwinkelassistent nutzt verschiedene Sensorkonzepte, die sich in Kosten und Leistungsfähigkeit unterscheiden. Typischerweise sind dies Radar- oder Ultraschallsensoren, die am hinteren Teil des Fahrzeugs montiert sind und den seitlichen und hinteren Bereich überwachen. Wenn ein Fahrzeug in den überwachten Bereich einfährt, wird der Fahrer durch visuelle oder akustische Signale gewarnt. Diese Warnungen können durch Leuchtelemente in den Seitenspiegeln oder durch akustische Signale im Innenraum des Fahrzeugs erfolgen. Zusätzlich kann der Totwinkelassistent in kritischen Situationen eingreifen, indem er einen leichten Lenkimpuls gibt, um den Fahrer zu unterstützen, den Spurwechsel abubrechen und somit eine Kollision zu vermeiden. Dieses System ist besonders nützlich auf Autobahnen und mehrspurigen Straßen, wo die Gefahr von Kollisionen durch übersehene Fahrzeuge im toten Winkel hoch ist.

Zusätzlich ist die Car-to-X-Kommunikation ein wichtiger Fortschritt. Hierbei tauschen Fahrzeuge Informationen untereinander und mit der Infrastruktur aus, wodurch frühzeitig vor Gefahren wie Glatteis oder Unfällen gewarnt werden kann. Die Vernetzung der Fahrzeuge trägt zur Erhöhung des Schutzpotenzials bei und ist ein bedeutender Schritt hin zum automatisierten Fahren. Die **Mercedes-Benz Group 2019** beschreibt, dass die Car-to-X-Technologie die Übermittlung von sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen in Echtzeit ermöglicht, was die Reaktionszeit der Fahrer verbessert und somit die Verkehrssicherheit erhöht.

2.2.2 Passive Sicherheitssysteme

Die passive Sicherheit in einem Auto erhöht den Insassenschutz, wenn es zu einem Unfall kommt. Laut **Reif 2014** sind es 150 Millisekunden, die bei einem Autounfall entscheidend sind, ob es bei einem Sachschaden bleibt oder ob schwere Verletzungen der Insassen hinzukommen. Kommt es zu einem Unfall, können zahlreiche Komponenten des Fahrzeugs überlebenswichtig sein. Dazu gehören Sicherheitsfahrergastzellen, stabile Karosserien, Knautschzonen, Sicherheitslenksäulen, Kopfstützen, Airbags und Sicherheitsgurte mit Gurtstraffern.

Abbildung 14 verdeutlicht, wie die verschiedenen passiven Sicherheitssysteme im Fahrzeug zusammenarbeiten, um die Insassen bei einem Unfall bestmöglich zu schützen. Vorgespannte Sicherheitsgurte straffen sich unmittelbar vor einem Aufprall, um die Insassen sicher in ihren Sitzen zu halten. Airbags entfalten sich in Millisekunden, um den Aufprall abzumildern und die Insassen vor schweren Verletzungen zu bewahren. Zusätzlich absorbieren Deformationszonen die Aufprallenergie und verhindern so, dass diese vollständig auf die Insassen übertragen wird. Diese synergistische Wirkung der Sicherheitssysteme maximiert den Schutz der Insassen bei einem Unfall.

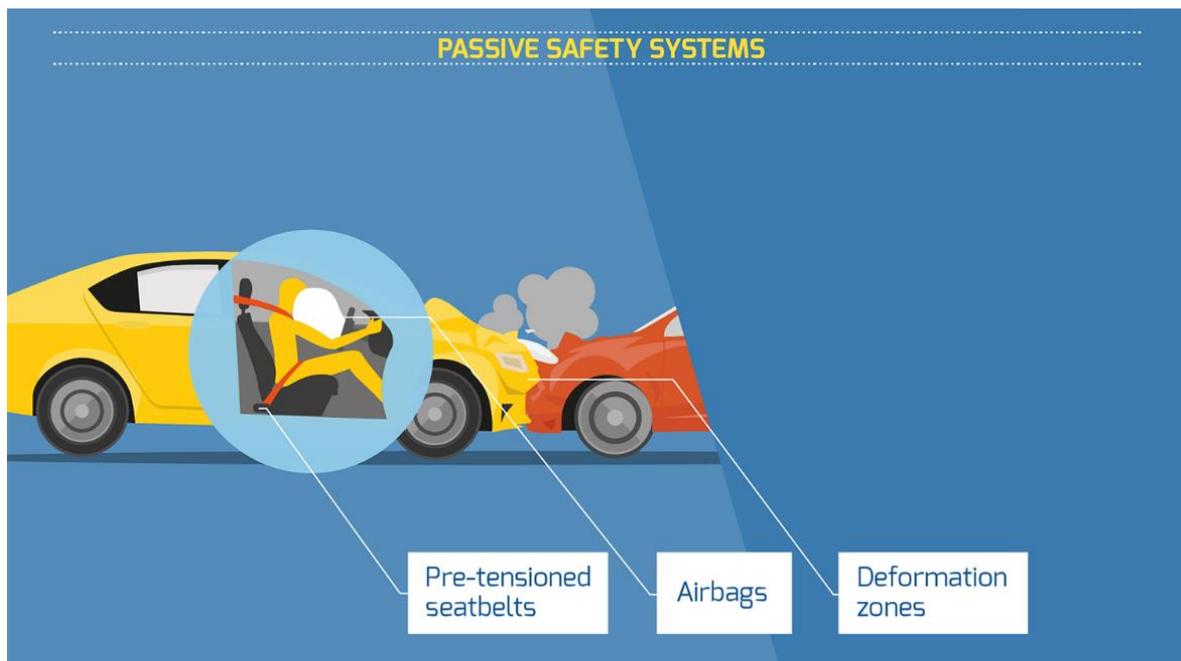


Abbildung 14: Veranschaulichung passiver Sicherheitssysteme [roadsafetyfacts 2019]

Während die aktive Sicherheit darauf abzielt, einen drohenden Unfall zu vermeiden, soll die passive Sicherheit nach **Bosch 2024** die Folgen eines unvermeidlichen Unfalls mindern. Durch die Verknüpfung mit Fahrerassistenzsystemen und aktiver Sicherheit sorgen neue erweiterte Funktionen der passiven Sicherheit für einen umfassenderen Insassenschutz. Das Airbag-Steuergerät sammelt Informationen über Geschwindigkeit, Temperatur, Gurtschlosszustände und die Sitzposition der Insassen. Diagnosen, Fahrzustände und Unfälle werden erfasst und in einem Datenspeicher abgelegt. Über den Diagnosestecker können Daten gelesen und gegebenenfalls auch Software-Updates durchgeführt werden.

Gesetzliche Vorschriften geben Anforderungen für die passive Sicherheit in Fahrzeugen vor. Sie umfassen die Sicherheit für Fahrer, Passagiere, insbesondere Kinder und Fußgänger. In der EU vorgeschriebene Sicherheitsanforderungen beinhalten Bestimmungen für den Front- und Seitenaufprallschutz sowie den Fußgängerschutz. Diese sind in UN/ECE-Regelungen abgebildet, die für die EU gültig sind und auch von vielen außereuropäischen Ländern übernommen wurden. In den USA gibt es die Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS), die technische Vorschriften zur Fahrzeugsicherheit darstellen und Gesetzescharakter haben. Das NCAP (New Car Assessment Program) soll laut **Bosch 2024** Fahrzeugherstellern und -käufern eine realistische und unabhängige Beurteilung der Sicherheitsmerkmale von Fahrzeugen bieten. Hierzu werden standardisierte Crash- und Überrolltests von Fahrzeugen durchgeführt. Die Bewertung der Sicherheit wird aus den an den Dummies erfassten Messwerten abgeleitet.

Bosch 2024 beschreibt, dass es neben diesen klassischen passiven Sicherheitssystemen auch erweiterte Schutzmaßnahmen wie Überrollschutzsysteme und Fußgängerschutz gibt. Bei einem Überschlag des Fahrzeugs aktivieren sich beispielsweise spezielle Überrollbügel oder Kassetten, um die Insassen zu schützen. Fußgängerschutzsysteme umfassen konstruktive Maßnahmen wie die Gestaltung von Stoßfängern und Motorhauben, die bei einem Aufprall Verletzungen verringern sollen. Zudem kann die Motorhaube angehoben oder ein äußerer Airbag aktiviert werden, um den Aufprall zu dämpfen.

Die kontinuierlichen Fortschritte in den Bereichen Sensorik, Datenverarbeitung und künstliche Intelligenz treiben die Entwicklung der passiven Sicherheitssysteme laut **Bosch 2024** weiter voran. Sensoren erfassen permanent die Fahrzeugumgebung und erkennen verschiedene Aufprallarten, wie Front-, Seiten- oder Heckaufpralle. Diese Daten werden in Echtzeit verarbeitet, um die optimalen Maßnahmen zur Insassensicherung zu ergreifen. Intelligente Algorithmen bewerten die Signale und entscheiden über die Aktivierung von Rückhaltemitteln wie Airbags und Gurtstraffern.

2.3 Funktionsweise von Fahrerassistenzsystemen

2.3.1 Sensoren

Um ein sicheres und effizientes Fahren im öffentlichen Straßenverkehr zu ermöglichen, sind Fahrzeuge auf spezialisierte Sensoren zur Umgebungswahrnehmung angewiesen, wie in Abbildung 15 dargestellt. Laut **Bosch 2023** besteht die Hauptaufgabe dieser Sensoren darin, Hindernisse in der Umgebung des Fahrzeugs zu erkennen. Diese Sensoren, wie Lidar, Radar und Kamerasysteme, erfassen ihre Umgebung über das Prinzip der Fremddortung. Das bedeutet, dass die Hindernisse selbst keine Signale aussenden müssen. Stattdessen senden die Sensoren Signale aus und messen die reflektierten Wellen oder Lichtimpulse, um Informationen wie Abstand, Geschwindigkeit und Richtung der Objekte zu bestimmen. Diese Sensortechnologien spielen eine zentrale Rolle bei der Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Entwicklung hochautomatisierter Fahrsysteme. Im Folgenden werden die verschiedenen Arten der Sensoren vorgestellt und ihre spezifischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede erläutert.

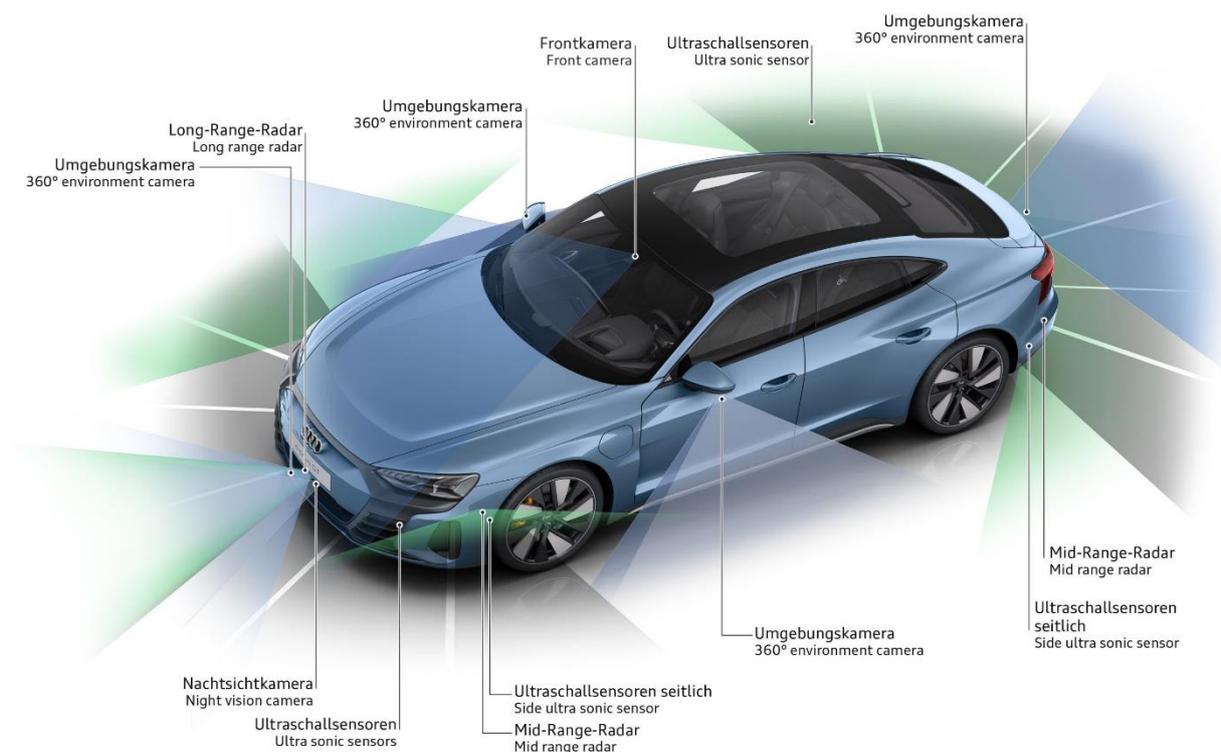


Abbildung 15: Fahrzeugsensoren eines automatisierten Fahrzeuges [Audi 2021]

Radar (Radio Detection and Ranging)

Radar-Sensoren sind in vielen modernen Fahrzeugen verbaut und stellen eine wesentliche Technologie für teil- und hochautomatisiertes Fahren dar. **Bosch 2023** hebt hervor, dass die Funktionsweise von Radarsensoren auf dem Doppler-Effekt basiert. Der Sensor sendet elektromagnetische Wellen aus, die von Objekten in der Umgebung reflektiert werden. Durch die Messung der Laufzeit und der Frequenzänderung zwischen ausgesendeten und empfangenen Wellen können der Abstand und die Relativgeschwindigkeit der Objekte präzise ermittelt werden.

Radar-Systeme arbeiten im Mikrowellenbereich und nutzen spezifische Frequenzbänder, insbesondere bei 24 GHz und 77 GHz. **Bosch 2023** unterscheidet dabei zwischen verschiedenen Radar-Typen, die sich durch ihre Reichweite und Anwendung unterscheiden:

- **Long-Range Radar:** Arbeitet typischerweise im 76–77 GHz Bereich und erfasst Objekte bis zu 250 Metern Entfernung. Es wird häufig bei Abstandsregeltempomaten (ACC) eingesetzt und ist weniger stör anfällig.
- **Mid-Range Radar:** Wird ebenfalls im 76–77 GHz Bereich eingesetzt und kann Objekte bis etwa 100 Meter erfassen, was für mittelgroße Distanzen in verschiedenen Fahrerassistenzsystemen nützlich ist.
- **Short-Range Radar:** Nutzt Frequenzbänder von 24 GHz oder 77–81 GHz und wird für Nahbereichsanwendungen mit einer Reichweite von bis zu 30 Metern eingesetzt. Es ist besonders für die Detektion von Objekten in der unmittelbaren Umgebung des Fahrzeugs wichtig, z.B. für den Parkassistenten.

Diese Radar-Technologien sind entscheidend für die präzise Wahrnehmung der Umgebung und tragen wesentlich zur Sicherheit und Effizienz des automatisierten Fahrens bei.

Lidar (Light Detection and Ranging)

Lidar-Sensoren arbeiten ähnlich wie Radarsensoren, verwenden jedoch Lichtimpulse aus dem infraroten oder sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Laut **Bosch 2023** senden die Sensoren Laserstrahlen aus, die von Objekten wie Fahrzeugen, Fußgängern oder anderen Hindernissen reflektiert werden, wie in **Abbildung 16** zu sehen ist. Dieses Verfahren ermöglicht die präzise

Entfernungsmessung und erstellt detaillierte 3D-Karten der Umgebung. Lidar-Sensoren haben eine Reichweite von bis zu 150 Metern, was sie ideal für City-Break-Assistenten oder Stop-and-Go-Funktionen macht. Allerdings sind sie, im Vergleich zu Radarsensoren, empfindlicher gegenüber schwierigen Wetterbedingungen wie Nebel oder starkem Regen. Lidar-Systeme arbeiten besonders gut in Kombination mit Radar- und Videosystemen, um eine redundante Umgebungserfassung zu gewährleisten und so die Sicherheit in hochautomatisierten Fahrzeugen zu verbessern.

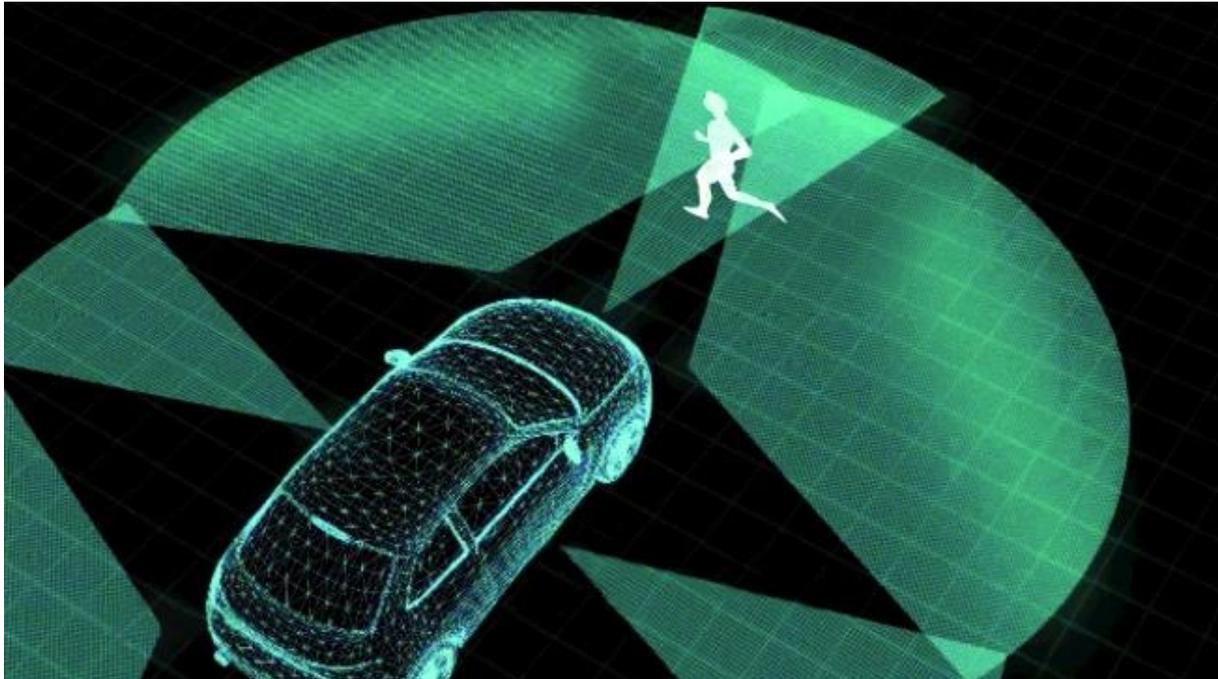


Abbildung 16: Funktion eines Lidar-Sensors [Leddartech 2019]

Laserscanner

Laserscanner, eine spezielle Art von Lidar-Sensoren, verwenden einen Laserstrahl und einen rotierenden Spiegel, um die Umgebung des Fahrzeugs präzise zu erfassen. **Bosch 2023** beschreibt, dass diese Kombination sowohl die Entfernung als auch den Winkel der Objekte misst und detaillierte 3D-Bilder erstellt. Durch die rotierende Bewegung des Spiegels kann der Laserscanner den gesamten Sichtbereich abdecken, was ihn besonders nützlich für die Navigation und Hinderniserkennung macht. Diese Technologie wird zunehmend in Assistenzsystemen wie automatischen Notbremsfunktionen eingesetzt und ermöglicht eine hochgenaue Umfeldwahrnehmung.

Videosensoren, so erklärt **Bosch 2023**, spielen eine entscheidende Rolle bei der Umgebungserkennung und der Fahrbahnanalyse in modernen Fahrerassistenzsystemen. Ein zentraler Vorteil dieser Sensoren liegt in ihrer Fähigkeit, Farben zu erkennen, was sie für die Identifizierung von Verkehrsschildern, Fahrbahnmarkierungen und Ampeln besonders nützlich macht. Es wird zwischen zwei Typen unterschieden: Monokameras und Stereokameras. Monokameras erfassen zweidimensionale Bilder, während durch softwaregestützte Algorithmen Tiefeninformationen hinzugefügt werden können. Stereokameras hingegen verwenden zwei Linsen, um präzise 3D-Bilder der Umgebung zu erstellen, was eine exakte Erkennung von Objekten und Entfernungen ermöglicht. Diese Sensoren tragen entscheidend zur Fahrspurerkennung und Hinderniserfassung bei, insbesondere bei automatisierten Fahrfunktionen. Ein Nachteil von Videosensoren ist ihre Beeinflussbarkeit durch Licht, Schatten und Spiegelungen, sowie ihre Anfälligkeit bei schlechten Wetterbedingungen.

Infrarotsensoren

Infrarotsensoren senden Infrarotstrahlen aus und erkennen die reflektierte Strahlung von Objekten, wie Menschen, Fahrzeugen oder Tieren, die Wärme abstrahlen. **Bosch 2023** beschreibt, dass diese Sensoren besonders vorteilhaft sind, da sie Temperaturunterschiede erkennen und somit auch bei Dunkelheit oder schlechten Sichtverhältnissen gut funktionieren. Besonders bei Nachtsichtassistenten kommen sie zum Einsatz, da sie in der Lage sind, Hindernisse wie Fußgänger oder Tiere auch bei völliger Dunkelheit zu erfassen und so die Fahrsicherheit zu erhöhen. Allerdings stoßen Infrarotsensoren bei extremen Wetterbedingungen wie starkem Regen, Schnee oder Nebel an ihre Grenzen, da die Strahlung durch solche Umwelteinflüsse gestört werden kann.

Ultraschallsensoren

Ultraschallsensoren arbeiten durch das Aussenden von Schallwellen, die von Objekten in der Umgebung reflektiert werden. Sie eignen sich besonders gut für die Nahbereichsüberwachung von Fahrzeugen, wie beispielsweise bei Parkassistenzsystemen oder der Totwinkelerkennung. Laut **Bosch 2023** beträgt ihre Reichweite typischerweise etwa 1 bis 5 Meter, was sie ideal für die Erkennung von Hindernissen in unmittelbarer Nähe macht. Ein Vorteil der Ultraschallsensoren ist ihre kostengünstige Herstellung, jedoch sind sie in ihrer Reichweite und Genauigkeit

gegenüber elektromagnetischen Sensoren, wie Radar, begrenzt. Ultraschallsensoren arbeiten zudem langsamer, was sie weniger geeignet für die Erfassung schnell bewegender Objekte macht. Sie werden primär in Parksensoren eingesetzt, wo die Messung von kurzen Distanzen ausreicht und eine hohe Präzision nicht notwendig ist.

Laut **Bosch 2023** hat jede Sensorklasse ihre Vor- und Nachteile. Um eine zuverlässige und umfassende Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung zu gewährleisten, setzen moderne Fahrerassistenzsysteme auf eine Kombination unterschiedlicher Sensortypen. Dies schließt Radar, Lidar, Kameras und Ultraschallsensoren ein. Jede dieser Technologien trägt spezifische Stärken bei: Während Radar eine hohe Reichweite und Wetterresistenz bietet, liefert Lidar präzise 3D-Bilder der Umgebung. Kameras können Farben und Verkehrszeichen erkennen, und Ultraschallsensoren sind besonders für die Nahbereichsüberwachung nützlich. Die Kombination dieser Systeme ermöglicht es, die Schwächen eines Sensors durch die Stärken eines anderen auszugleichen und so die funktionale Sicherheit und Genauigkeit zu erhöhen, insbesondere in komplexen Fahrscenarien wie dem hochautomatisierten Fahren. **Tabelle 1** zeigt, dass kein Sensor alle Anforderungen perfekt erfüllt. Beispielsweise ist Radar gut in der Objekterkennung und Witterungsresistenz, aber schlecht in der Objektklassifizierung. Lidar bietet eine gute Objekterkennung und mittlere Reichweite, jedoch ist es weniger witterungsresistent. Kameras sind ausgezeichnet in der Objektklassifizierung, jedoch anfällig für Witterungsbedingungen. Ein System könnte beispielsweise Radar für die allgemeine Objekterkennung und Witterungsresistenz verwenden, während Lidar für genaue Abstandsmessungen und Kameras für die detaillierte Objekterkennung genutzt werden. **Bosch 2023** hebt hervor, dass durch die Integration von verschiedenen Sensoren, wie Radar für die allgemeine Objekterkennung und Wetterfestigkeit, Lidar für präzise Abstandsmessungen und Kameras für detaillierte Objektklassifizierung, eine optimale Umgebungserkennung erreicht wird. Diese Kombination minimiert Fehlinterpretationen und verbessert die allgemeine Sicherheit und Effizienz des Fahrzeugs.

| Kategorie | Radar | Lidar | Laser | Kamera | Infrarot | Ultraschall |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|----------|-------------|
| Objekterkennung | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★★★ |
| Objektklassifizierung | × | ★★ | ★★ | ★★★★ | ★★ | × |
| Reichweite | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★★★ | ★★ | × |
| Witterungsresistenz | ★★★ | ★★ | ★★ | × | ★★ | ★★★ |

Table 1: Bewertung unterschiedliche Sensoren - Objekterkennung und -Klassifizierung, Reichweite, Witterungsresistenz. Bewertungshorizont X/★★/★★★ [Eigene Darstellung nach: NXP 2017]

Abbildung 17 zeigt eine vernetzte Verkehrssituation, in der die Erfassungsfelder verschiedener Sensoren am Automobil dargestellt sind. Diese Sensoren sind so konzipiert, dass sich ihre Blickfelder überlappen und unterschiedliche Reichweiten abdecken. In diesem Beispiel erfolgt die Erfassung durch Kamerasysteme sowie Nah- und Fernbereichsradare. Dies ermöglicht eine umfassende und genaue Erfassung der Umgebung, wodurch die Stärken der einzelnen Sensoren optimal genutzt und ihre Schwächen ausgeglichen werden können.

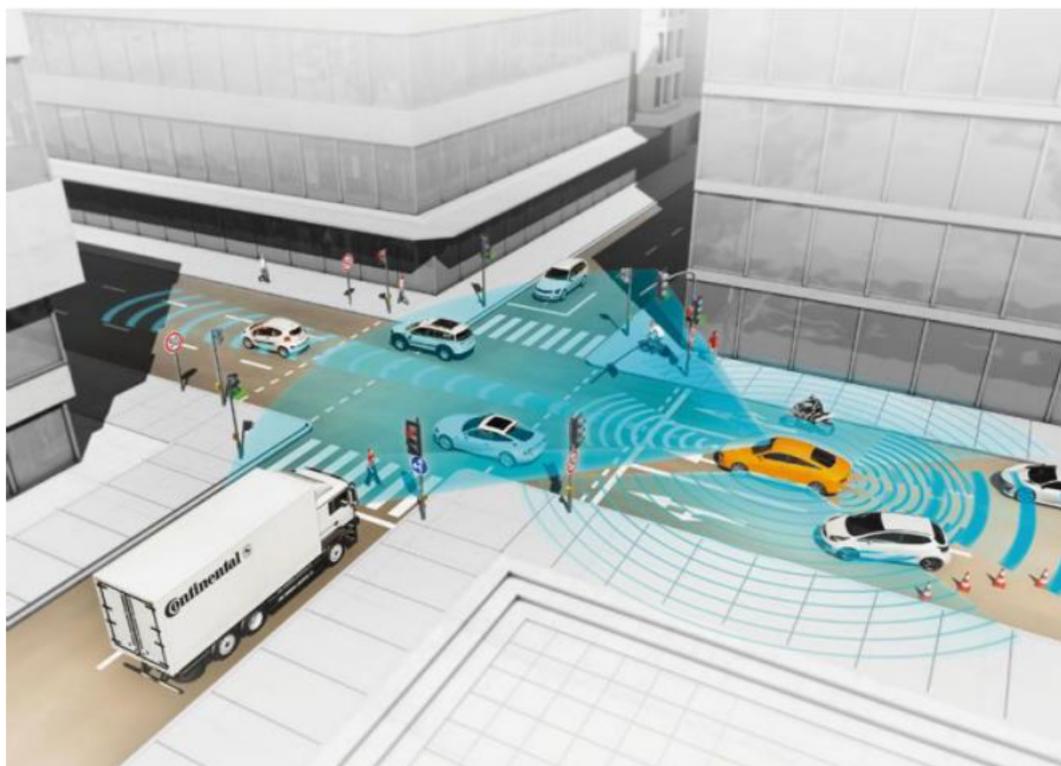


Abbildung 17: Darstellung der Sensorfelder vernetzter Verkehrssituation [Spiegel 2013]

2.3.2 Software und Algorithmen

Die Software ist das Herzstück moderner Fahrerassistenzsysteme. Sie steuert die Verarbeitung der Sensordaten, die Entscheidungsfindung und die Aktorik des Fahrzeugs.

Nach **Reif 2014** ist Software eine Sammlung von Programmen, Prozeduren und zugehörigen Dokumentationen, die bestimmte Aufgaben auf einem Computersystem ausführen. Sie bildet die nicht-physischen Komponenten eines Computers, im Gegensatz zu Hardware, die die physischen Komponenten umfasst. Es gibt verschiedene Arten von Software, darunter Systemsoftware, die Betriebssysteme und Hilfsprogramme umfasst, die die Ausführung von Anwendungssoftware ermöglichen, sowie Anwendungssoftware, die spezifische Aufgaben für den Benutzer oder eine Anwendung ausführt. In Fahrerassistenzsystemen beispielsweise steuert die Software Sensoren und Aktoren, verarbeitet GPS-Daten und stellt dem Fahrer über Benutzeroberflächen wichtige Informationen bereit.

Ein Algorithmus ist laut **Kersken 2015** eine Reihe von Anweisungen, die dazu verwendet werden, ein Problem zu lösen oder eine Aufgabe zu erfüllen. Zum Beispiel wird bei der Routenplanung der A*-Algorithmus verwendet, um den besten Weg zu finden. Dieser Algorithmus prüft verschiedene Routen und wählt diejenige aus, die am wenigsten Zeit oder Kosten erfordert.

Bei Fahrerassistenzsystemen sind Software und Algorithmen maßgeblich für die Datenverarbeitung und die Steuerung der Fahrzeugfunktionen. Die Software in modernen Fahrzeugen ist hochkomplex und modular aufgebaut, um verschiedene Aufgaben effizient zu bewältigen. Laut **Bosch 2023** sind die Hauptkomponenten der Software in Fahrerassistenzsystemen die Module für die Signalverarbeitung, die Sensordatenfusion, die Umfelderkennung, die Fahrdynamikregelung und die Entscheidungstechnik. Diese Module arbeiten zusammen, um eine präzise Steuerung und sichere Navigation des Fahrzeugs zu gewährleisten.

Bosch 2023 erklärt, dass die Signalverarbeitung der erste Schritt ist, bei dem die Rohdaten der Sensoren gefiltert und vorverarbeitet werden, um Störsignale zu entfernen und die Genauigkeit zu erhöhen. Dies ist ein entscheidender Schritt, um verlässliche Daten für die weiteren Verarbeitungsschritte zu gewährleisten. Danach folgt die Sensordatenfusion, bei der die Daten von verschiedenen Sensoren wie

Radar, Lidar und Kameras kombiniert werden, um ein einheitliches und präzises Bild der Fahrzeugumgebung zu erstellen. Diese Fusion von Sensordaten verbessert die Zuverlässigkeit der Objekterkennung und der Situationsanalyse. Die Umfelderkennung nutzt Algorithmen zur Mustererkennung und maschinellem Lernen, um Objekte und deren Bewegungen in der Umgebung des Fahrzeugs zu identifizieren und zu klassifizieren. Dies umfasst die Erkennung von Fahrzeugen, Fußgängern, Verkehrszeichen und Fahrbahnmarkierungen. Die Fahrdynamikregelung steuert das dynamische Verhalten des Fahrzeugs, indem sie Beschleunigung, Bremsung und Lenkung an die aktuellen Fahrbedingungen anpasst und so für Stabilität und Sicherheit sorgt. Basierend auf den analysierten Daten und den vorgegebenen Fahrzielen treffen die Algorithmen der Entscheidungstechnik Entscheidungen darüber, wie das Fahrzeug auf verschiedene Situationen reagieren soll. Dies umfasst die Spurführung, Abstandsregelung und das Ausweichen von Hindernissen.

Moderne Fahrerassistenzsysteme nutzen eine Vielzahl von Algorithmen, um ihre Aufgaben zu bewältigen. Diese umfassen maschinelles Lernen, Deep Learning, klassische Regelungstechnik und probabilistische Filter wie Bayes'sche Filter. Laut **Bosch 2023** ermöglichen maschinelles Lernen und Deep Learning es den Systemen, aus großen Datenmengen zu lernen und Muster zu erkennen, was besonders bei der Umfelderkennung und der Vorhersage des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer effektiv ist. Die klassische Regelungstechnik steuert das dynamische Verhalten des Fahrzeugs und sorgt für Stabilität und Sicherheit in verschiedenen Fahrsituationen. Probabilistische Filter wie der Kalman-Filter sind mathematische Algorithmen, die verwendet werden, um Unsicherheiten in Messdaten zu handhaben und genaue Schätzungen von Zuständen zu liefern. Sie basieren auf der Wahrscheinlichkeitstheorie und sind besonders nützlich, wenn Datenrauschen oder Messfehler vorhanden sind. Der Kalman-Filter, ein häufig verwendeter probabilistischer Filter, schätzt Zustände wie Position und Geschwindigkeit eines Objekts aus verrauschten Sensordaten und aktualisiert kontinuierlich Schätzungen, indem er neue Daten einbezieht und Unsicherheiten minimiert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen ist die Verwendung von speziellen Betriebssystemen für Fahrzeuge. Verschiedene Hersteller arbeiten an eigenen Betriebssystemen, um eine bessere Integration und Kontrolle der verschiedenen Fahrzeugfunktionen zu ermöglichen. Tesla nutzt ein eigenes

Betriebssystem namens Tesla OS. **Knecht 2020** erklärt, dass dieses Betriebssystem stark auf die Integration mit den Fahrzeugfunktionen und die kontinuierliche Verbesserung durch Over-the-Air-Updates ausgelegt ist. Tesla OS basiert auf Linux und wurde intern von Tesla entwickelt, um alle wesentlichen Fahrzeugfunktionen, einschließlich der zentralen Anzeige, Infotainmentsysteme und Autopilot-Funktionen, zu steuern. **Abbildung 18** präsentiert das Interieur des Tesla Model 3 mit seinem zentralen Touchscreen-Display. Das Betriebssystem Tesla OS integriert nahtlos verschiedene Fahrzeugfunktionen wie Navigation, Entertainment und Autopilot-Funktionen auf diesem Display. Die intuitive Benutzeroberfläche und die zentrale Steuerung aller Funktionen über einen einzigen Bildschirm sind charakteristisch für die modernen, softwaregesteuerten Betriebssysteme von Tesla. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle, die Software bei der Bedienung und Kontrolle moderner Fahrzeuge spielt.



Abbildung 18: Tesla Model 3 - Interieur [Auto Motor und Sport 2020]

Google arbeitet mit verschiedenen Automobilherstellern zusammen, um Android Automotive als Betriebssystem in Fahrzeuge zu integrieren. **Knecht 2020** beschreibt, dass Android Automotive eine spezialisierte Version von Android ist, die direkt im Fahrzeug läuft und nicht von einem Smartphone abhängig ist, wodurch eine tiefe Integration mit den Fahrzeugfunktionen ermöglicht wird. In **Abbildung 19** wird das Interieur von BMW veranschaulicht, das mit Android Auto ausgestattet ist. Android Auto bietet eine tiefe Integration von Fahrzeugfunktionen und erlaubt den Zugang zu

verschiedenen Apps und Diensten direkt über das Fahrzeugdisplay. Diese Lösung verbessert die Nutzererfahrung, indem sie eine benutzerfreundliche und bekannte Schnittstelle bietet, die viele Fahrer bereits von ihren Smartphones kennen. Die Integration von Android Auto demonstriert, wie Fahrzeughersteller und Technologieunternehmen zusammenarbeiten, um ein verbessertes Fahrerlebnis zu bieten.



Abbildung 19: BMW Interieur mit Android Automotive [BMW 2019]

Volkswagen entwickelt ein eigenes Betriebssystem namens VW.OS. Ein Bericht von **CARIAD 2023** erläutert, dass dieses Betriebssystem eine nahtlose Integration und Kontrolle der verschiedenen Fahrzeugfunktionen ermöglichen soll und ein zentraler Bestandteil der Strategie für zukünftige, vernetzte und autonome Fahrzeuge sein wird. Das Interieur des Volkswagen ID.3 ist in **Abbildung 20** dargestellt, ausgestattet mit dem VW.OS. Dieses Betriebssystem ist speziell entwickelt, um die verschiedenen Fahrzeugfunktionen zu integrieren und zu steuern. VW.OS repräsentiert Volkswagens Ansatz zur Schaffung einer einheitlichen Softwareplattform für ihre Fahrzeuge, die zukünftige Updates und Erweiterungen erleichtert. Dies unterstreicht die Bedeutung von maßgeschneiderter Softwareentwicklung in der Automobilindustrie.



Abbildung 20: Volkswagen ID.4 Interieur [VW 2024]

BMW verwendet laut **BMW Group 2022** das BMW Operating System (OS), das in Zusammenarbeit mit dem Technologiepartner Bosch entwickelt wurde. OS bietet eine umfassende Plattform zur Steuerung und Integration von Fahrzeugfunktionen, einschließlich Infotainment, Navigation und Fahrerassistenzsystemen, und unterstützt ebenfalls OTA-Updates. In **Abbildung 21** zeigt das Interieur eines BMW-Fahrzeugs, das mit dem BMW Operating System 8 (OS8) ausgestattet ist. OS8 basiert ebenfalls auf Linux und bietet eine umfassende Steuerung und Integration von Fahrzeugfunktionen, einschließlich Infotainment und Fahrerassistenzsystemen. BMW OS8 illustriert, wie Automobilhersteller fortschrittliche Betriebssysteme entwickeln, um die Vielzahl der elektronischen Systeme in ihren Fahrzeugen zu verwalten. Die Nutzung von Linux als Basis ermöglicht eine flexible und stabile Plattform für zukünftige Entwicklungen und Updates.



Abbildung 21: BMW OS 8 Interieur [BMW 2024]

Die zunehmende Bedeutung von Software in der Fahrzeugentwicklung wird durch die steigende Anzahl an Codezeilen deutlich. Während Fahrzeuge in den 1980er Jahren mit nur wenigen tausend Codezeilen auskamen, haben moderne Fahrzeuge oft Millionen von Codezeilen. **Burkacky 2020** erklärt, dass heutige Fahrzeuge typischerweise zwischen 10 und 100 Millionen Codezeilen enthalten, und zukünftige Fahrzeuge voraussichtlich bis zu 300 Millionen Codezeilen haben werden. Diese Zahlen verdeutlichen die steigende Komplexität und den Umfang der Software in modernen Fahrzeugen.

Nach **IONOS 2020** sind Codezeilen, auch Quellcode genannt, die grundlegenden Einheiten eines Computerprogramms. Jede Zeile enthält spezifische Anweisungen, die der Computer ausführt, um bestimmte Aufgaben zu erledigen. In einem Fahrzeug können diese Anweisungen beispielsweise die Regelung der Motordrehzahl, das Öffnen und Schließen der Fenster oder die Verarbeitung von Daten der zahlreichen Sensoren umfassen. Je mehr Funktionen und Technologien ein Fahrzeug hat, desto mehr Codezeilen sind erforderlich, um diese Funktionen zu steuern und zu koordinieren. Dies führt zu einer erheblichen Zunahme der Codezeilen in modernen Fahrzeugen im Vergleich zu älteren Modellen. Diese Codezeilen umfassen die Steuerung aller Aspekte des Fahrzeugs, von der Motorsteuerung bis zu den Infotainmentsystemen. Zum Vergleich: **Desjardins 2017** berichtet, dass ein modernes Smartphone-Betriebssystem wie Android etwa 12 bis 15 Millionen Codezeilen hat.

Diese immense Komplexität erfordert robuste und sichere Softwareentwicklungsprozesse sowie fortlaufende Wartung und Updates. Die Entwicklung der Anzahl der Codezeilen in Fahrzeugen ist in **Abbildung 22** dargestellt. Sie zeigt die Transformation von einer mechanischen und bauteilorientierten Entwicklung hin zu einer software- und vernetzungsorientierten Entwicklung. Während Fahrzeuge in der Vergangenheit einfach verkabelt waren und nur wenige Codezeilen benötigten, sind moderne Fahrzeuge mit zahlreichen Steuergeräten und Assistenzsystemen ausgestattet, die eine viel höhere Anzahl an Codezeilen erfordern. Die Abbildung verdeutlicht, dass zukünftige Fahrzeuge vollständig vernetzt sein werden und eine Software-Plattform für vollautomatisches Fahren benötigen, was die Anzahl der Codezeilen weiter erhöhen wird.



Abbildung 22: Entwicklung des VW-Entwicklungsprozesses [VW 2022]

Laut **Burkacky 2020** erfordert die Integration von modernen Steuergeräten und Assistenzsystemen eine erhebliche Zunahme an Codezeilen, um die komplexen Funktionen und die Vernetzung der Fahrzeuge zu unterstützen. Die steigende Anzahl an Codezeilen zeigt nicht nur die zunehmende Komplexität der Fahrzeugsoftware, sondern auch die Anforderungen an die Softwareentwicklung in Bezug auf Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wartbarkeit. Die Entwickler müssen sicherstellen, dass die Software fehlerfrei ist und in Echtzeit auf die verschiedenen Sensor- und Systemeingaben reagieren kann. Die kontinuierliche Integration und das Testen der Software sind daher wesentliche Bestandteile des Entwicklungsprozesses.

2.3.3 Car-to-X Kommunikation

Die Car-to-X (C2X)-Kommunikation ist nach **Pischinger 2021** eine Schlüsseltechnologie im Bereich des vernetzten Fahrens und umfasst zwei Hauptkomponenten: Car-to-Car (C2C)-Kommunikation und Car-to-Infrastructure (C2I)-Kommunikation. Diese Technologien ermöglichen den direkten Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen, um die Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr zu erhöhen und fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme sowie zukünftige autonome Fahrwendungen zu unterstützen.

Fuchs 2015 betont, dass die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander sowie mit der Infrastruktur eine immer größere Bedeutung gewinnt und als Basistechnologie für zukünftige kooperative intelligente Transportsysteme (C-ITS) dient. Die Car-to-X-Kommunikation (C2X) ermöglicht es, dass Fahrzeuge sowohl mit anderen Fahrzeugen als auch mit Infrastrukturelementen wie Baken, Verkehrsschilderbrücken, Lichtsignalanlagen und Verkehrszentralen kommunizieren. Diese Vernetzung führt zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit, einer Verbesserung der Verkehrseffizienz und einem gesteigerten Fahrkomfort.

Fuchs 2015 stellt außerdem heraus, dass die Forschung zu C2X-Technologien bereits seit den späten 1990er Jahren in verschiedenen nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten betrieben wird. In der ersten Phase lag der Fokus auf der Entwicklung und Erprobung grundlegender Technologien, beispielsweise in Projekten wie „FleetNet“, „Network-on-Wheels“ und „PReVENT“. In einer zweiten Phase wurden diese Technologien anhand von Demonstratoren in Fahrzeugen und Infrastruktur getestet, wie es in den Projekten „CVIS“, „SAFESPOT“ und „COOPERS“ der Fall war. **Fuchs 2015** erklärt, dass die dritte Phase großmaßstäbliche Feldversuche beinhaltet, um die Praxistauglichkeit und Interoperabilität der Systeme, etwa in den Projekten „simTD“ und „DRIVE C2X“, zu bestätigen.

Zudem hebt **Fuchs 2015** die Rolle des Car-2-Car Communication Consortiums (C2C-CC) hervor, das von Fahrzeugherstellern gegründet wurde, um die Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr durch kooperative ITS-Systeme zu verbessern. **Fuchs (2023)** betont, dass C2X-basierte Fahrerassistenzsysteme (FAS) den

Wahrnehmungshorizont eines Fahrzeugs über den Sichtbereich des Fahrers und die Reichweite herkömmlicher Sensoren wie Radar oder Lidar hinaus erweitern. Dadurch können solche Systeme Informationen „um die Ecke“ oder durch Hindernisse hindurch erfassen und so die Verkehrssicherheit deutlich erhöhen.

Allerdings merkt **Fuchs 2015** an, dass die Wirksamkeit der C2X-Technologie stark von der Ausstattung der beteiligten Fahrzeuge und Infrastruktureinrichtungen abhängt. Die Ausstattungsrate beeinflusst maßgeblich die Anzahl der realisierbaren Funktionen. Dies muss bei der Betrachtung von Einführungsszenarien unbedingt berücksichtigt werden.

Ein zentrales Anwendungsbeispiel der C2I-Kommunikation ist die dynamische Verkehrssteuerung, wie **Fuchs 2015** hervorhebt. Fahrzeuge können über die Vernetzung mit der Straßenverkehrsinfrastruktur, wie Ampeln und Verkehrsleitzentralen, in Echtzeit Informationen austauschen, um den Verkehrsfluss zu optimieren und Staus zu reduzieren. Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur ermöglicht eine Vielzahl neuer oder verbesserter Funktionen, die zur Verbesserung der Verkehrseffizienz und -sicherheit beitragen. Dazu gehört auch die Übermittlung von aktuellen Straßenbedingungen, wie Baustellen oder Glatteis, an Fahrzeuge, was es Fahrern und autonomen Systemen ermöglicht, ihre Routenwahl und Fahrweise entsprechend anzupassen.

Renault 2021 betont, dass durch die Kommunikation mit Ampeln Fahrzeuge beispielsweise frühzeitig vor einem Wechsel der Ampelphase gewarnt werden können, was das Risiko von Unfällen an Kreuzungen reduziert. Zudem kann die C2I-Kommunikation dazu beitragen, den Verkehrsfluss in städtischen Gebieten zu optimieren, indem sie Echtzeitdaten über die Verkehrsdichte und -geschwindigkeit verwendet, um die Ampelsteuerung zu dynamisieren und so den Verkehrsfluss zu verbessern. **Abbildung 23** zeigt eine Vielzahl von Warnmeldungen und Kommunikationsarten, die im Rahmen der Car-to-X-Kommunikation genutzt werden, um die Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr zu erhöhen. Fahrzeuge werden gewarnt, wenn ein aktiver Sicherheitseingriff notwendig ist oder sie sich Pannenstellen nähern. Zudem erhalten sie Informationen über das Ende eines Staus, was den Fahrern ermöglicht, rechtzeitig zu reagieren und mögliche Auffahrunfälle zu vermeiden. Weiterhin werden Fahrzeuge über die Annäherung von

Sondereinsatzfahrzeugen informiert, um diesen die nötige Vorfahrt zu gewähren. Die Kommunikation umfasst auch Warnungen vor Unfallstellen auf der Route, sodass Fahrer ihre Fahrweise anpassen oder alternative Routen wählen können. Zusätzlich werden Fahrzeuge über stationäre Gefahrenstellen wie Baustellen oder andere Hindernisse auf der Fahrbahn informiert, um eine sichere und reibungslose Fahrt zu gewährleisten.

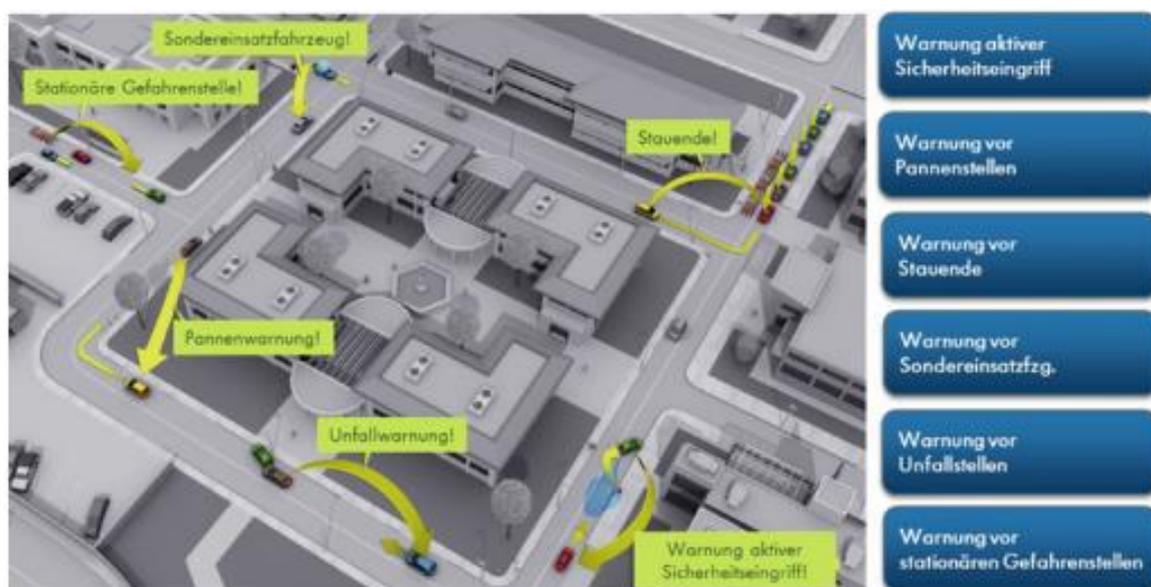


Abbildung 23: Gefahrenwarnung mit C2X [*Handbuch Fahrerassistenzsysteme 2022*]

Trotz der vielen Vorteile gibt es auch Herausforderungen bei der Implementierung der C2I-Kommunikation. **Fuchs 2015** betont, dass die Infrastruktur das Rückgrat der C2C- und C2I-Kommunikation bildet und entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung dieser Technologien ist. Eine gut ausgebaute und intelligente Infrastruktur ermöglicht eine effiziente und zuverlässige Kommunikation zwischen Fahrzeugen und ihrer Umgebung. Der Ausbau von Netzwerken, insbesondere von Mobilfunknetzen wie 5G, ist ein wesentlicher Faktor, um eine flächendeckende Netzabdeckung zu gewährleisten. Diese ist notwendig, um sicherzustellen, dass Fahrzeuge auch in abgelegenen Gebieten zuverlässig miteinander und mit der Infrastruktur kommunizieren können.

Darüber hinaus beschreibt **Fuchs 2015**, dass die Kapazität der Netzwerke ausreichend dimensioniert sein muss, um den Datenverkehr der wachsenden Anzahl vernetzter Fahrzeuge zu bewältigen. Eine robuste Netzwerkinfrastruktur ermöglicht es, die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen wie Ampeln

und Verkehrsleitzentralen zu gewährleisten, um so den Verkehrsfluss zu optimieren und die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Ein weiteres wichtiges Element, das **Fuchs 2015** hervorhebt, ist die Integration verschiedener Kommunikationstechnologien wie DSRC und 5G. Eine nahtlose Integration dieser Technologien ist notwendig, um eine reibungslose und schnelle Datenübertragung zu ermöglichen. Durch die Verlagerung von Rechenleistungen näher an den Ort der Datenerfassung (Edge Computing) können Latenzzeiten reduziert und somit besonders sicherheitsrelevante Anwendungen, wie etwa Unfallvermeidungssysteme, optimiert werden.

Zusammengefasst zeigt **Fuchs 2015**, dass der Ausbau einer robusten und flächendeckenden Kommunikationsinfrastruktur sowie die Integration unterschiedlicher Technologien entscheidend für die erfolgreiche Implementierung der C2C- und C2I-Kommunikation sind. Diese Maßnahmen tragen maßgeblich dazu bei, die Effizienz und Sicherheit im Straßenverkehr zu verbessern.

2.4 Datenschutz und Cybersicherheit

Die Datenverarbeitung spielt in unserer digitalen Welt eine zentrale Rolle. Sie umfasst alle Prozesse, die mit der Handhabung von Daten verbunden sind, und ist entscheidend für die Funktionalität und Effizienz zahlreicher Systeme und Anwendungen. Der Datenschutz bezieht sich dabei auf den Schutz personenbezogener Daten vor Missbrauch und unerlaubtem Zugriff, um die Privatsphäre und Rechte der Individuen zu wahren. In diesem Kapitel werden zunächst die Datenverarbeitung in modernen Fahrerassistenzsystemen detailliert untersucht, gefolgt von den damit verbundenen Aspekten des Datenschutzes und der Cybersicherheit.

Sorge 2022 definiert die Datenverarbeitung als jeden Vorgang oder jede Vorgangsreihe im Zusammenhang mit personenbezogenen Daten, die mit oder ohne Hilfe automatisierter Verfahren ausgeführt werden. Dazu gehören insbesondere das Erheben, Speichern, Verändern, Auslesen, Verwenden, Übermitteln und Löschen von Daten. Die Entwicklung der Datenverarbeitung hat sich parallel zur technologischen Evolution vollzogen. Während sie in den frühen Phasen überwiegend manuell und papierbasiert war, begann mit der Einführung von Computern und IT-Systemen in den

1960er und 1970er Jahren die Ära der elektronischen Datenverarbeitung. Dies führte zu einer zunehmenden Automatisierung und Effizienzsteigerung bei der Verarbeitung großer Datenmengen. Mit dem Aufkommen des Internets, Cloud Computing und Big-Data-Technologien sind die Möglichkeiten zur Erfassung, Speicherung und Analyse von Daten exponentiell gewachsen. Diese Fortschritte haben jedoch auch neue Herausforderungen in Bezug auf Datenschutz und Datensicherheit mit sich gebracht, die durch gesetzliche Regelungen wie die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) adressiert werden.

Moderne Fahrzeuge sind komplexe Systeme, die auf eine Vielzahl von Sensoren und Technologien angewiesen sind, um Daten zu sammeln und zu verarbeiten. Diese Datenverarbeitung ist entscheidend für die Funktion und Verbesserung von Fahrerassistenzsystemen. **Winner 2021** erläutert, dass Sensoren im Fahrzeug, darunter Radar, Lidar, Kameras, Ultraschall- und Infrarotsensoren sowie GPS-Daten eine umfassende Wahrnehmung der Umgebung ermöglichen und die präzise Steuerung des Fahrzeugs unterstützen.

Die von Fahrerassistenzsystemen genutzten Daten stammen aus verschiedenen Quellen. Laut **ADAC 2023** handelt es sich zum einen um fahrzeugeigene Daten, die durch die Sensoren des Fahrzeugs generiert werden. Diese umfassen unter anderem:

- **Navigationsdaten:** Standort, Reiseziel und Reisezeiten.
- **Fahrdynamikdaten:** Beschleunigungen und Bremsvorgänge.
- **Fahrverhaltensdaten:** Abgeleitet aus verschiedenen Lokalisierungsdaten.
- **Umgebungsdaten:** Aufzeichnungen der Fahrzeugkameras.

Darüber hinaus liefern externe Einrichtungen der informationstechnischen Infrastruktur wichtige Daten. Das **BMDV 2015** betont, dass dazu beispielsweise Ampelanlagen und andere Sensoren gehören, die das Verkehrsaufkommen beobachten. Diese Infrastrukturkomponenten tragen dazu bei, ein umfassendes Bild der Verkehrssituation zu erstellen und die Sicherheit sowie Effizienz im Straßenverkehr zu erhöhen.

Eine wesentliche Herausforderung bei der Datenverarbeitung in Fahrzeugen ist die Echtzeitverarbeitung der gesammelten Daten. Nach Angaben des **ADAC 2023** werden die Daten in Echtzeit von leistungsfähigen Bordcomputern verarbeitet. Diese Systeme

nutzen fortschrittliche Algorithmen und künstliche Intelligenz, um kontinuierlich die Umgebung zu analysieren und autonome Entscheidungen zu treffen. Beispielsweise nutzen Spurhalteassistenten und Notbremsassistenten diese Daten, um ihre Funktionen zuverlässig zu erfüllen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Speicherung und Nutzung der Daten. **Winner 2021** beschreibt, dass die meisten Daten vorübergehend in den Bordcomputern gespeichert werden, um in Echtzeit verarbeitet zu werden. Dies geschieht oft in flüchtigem Speicher, der nur temporär Daten hält. Einige Daten—insbesondere solche, die für langfristige Fahrzeugdiagnosen, Fahrstatistiken oder die Optimierung von Assistenzsystemen nützlich sind—können jedoch dauerhaft gespeichert werden. Zudem verfügen moderne Fahrzeuge über einen Fehlerspeicher, der Fehlercodes und Diagnoseinformationen speichert. Dieser hilft bei der Identifikation und Behebung von Problemen und ist ein wesentliches Instrument für die Fahrzeugwartung und -reparatur.

Die Fähigkeit, große Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten und zu analysieren, bildet gemäß **Winner 2021** die Basis für eine intelligentere und sicherere Mobilität. Diese fortschrittliche Datenverarbeitung ist nicht nur für aktuelle Fahrerassistenzsysteme entscheidend, sondern auch für die Entwicklung zukünftiger Technologien wie des autonomen Fahrens. Die fortschreitende Vernetzung und Digitalisierung in der Fahrzeugtechnologie bringt erhebliche Herausforderungen im Bereich Datenschutz und Cybersicherheit mit sich. Während die Datenverarbeitung das Rückgrat der Funktionalität und Effizienz moderner Fahrerassistenzsysteme bildet, ist der Schutz der dabei generierten und verarbeiteten personenbezogenen Daten von zentraler Bedeutung.

Der Datenschutz ist ein Konzept, das entwickelt wurde, um Individuen vor dem Missbrauch ihrer Daten zu schützen. **Petric 2022** beschreibt, dass der Bedarf an Datenschutz erst in den 1970er Jahren erkannt wurde, als leistungsfähige Großrechner eingeführt wurden und die Angst vor dem „gläsernen Bürger“ aufkam. Diese Befürchtungen wurden durch historische Erfahrungen mit Diktaturen verstärkt, die technische Entwicklungen und Datensammlungen gegen die Bevölkerung einsetzten. Vor den 1970er Jahren gab es nur punktuelle Regelungen über besondere Schweigepflichten, wie das Steuergeheimnis und die anwaltliche Schweigepflicht. Erst

mit der Einführung moderner Computersysteme und der Zentralisierung von Datensammlungen wurden umfassendere Datenschutzgesetze notwendig.

Laut **Petric 2022** wurde 1970 in Hessen das weltweit erste allgemeine Datenschutzgesetz erlassen, gefolgt vom Bundesdatenschutzgesetz 1977 und ähnlichen Gesetzen in anderen Ländern. Auf internationaler Ebene wurde 1981 die Europäische Datenschutzkonvention beschlossen, die seit 1985 in Kraft ist und wichtige Grundsätze des modernen Datenschutzrechts enthält. 1995 folgte die Datenschutzrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft, die 2018 durch die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) abgelöst wurde. Diese soll ein einheitliches hohes Datenschutzniveau in der EU gewährleisten und den freien Datenverkehr innerhalb des Binnenmarktes ermöglichen.

In der modernen Fahrzeugtechnologie sind Telematikdienste und Over-the-Air (OTA) Updates von entscheidender Bedeutung. Der **ADAC 2023** beschreibt Telematikdienste als Dienstleistungen, die Fahrzeugdaten zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit, Effizienz und Wartung nutzen. Diese Dienste umfassen Echtzeit-Verkehrsinformationen, Fahrzeugdiagnosen und Navigationshilfen. OTA-Updates ermöglichen es, Fahrzeugsoftware aus der Ferne zu aktualisieren, ohne dass ein Werkstattbesuch erforderlich ist. Dies erhöht die Flexibilität und Aktualität der Software, erfordert jedoch umfassende Sicherheitsmaßnahmen.

Die für Telematikdienste und OTA-Updates genutzten Daten müssen sicher gespeichert und geschützt werden. Dies erfolgt laut **ADAC 2023** in gesicherten Datenzentren, die umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen implementieren, um die Privatsphäre der Nutzer zu schützen und unbefugten Zugriff zu verhindern. Die Speicherung erfolgt häufig verschlüsselt und unterliegt strengen Datenschutzbestimmungen. Oft werden nur aggregierte und anonymisierte Daten für statistische Auswertungen oder zur Verbesserung der Systeme verwendet. Persönliche Daten und fahrzeugspezifische Informationen werden gemäß den Datenschutzrichtlinien behandelt und in der Regel nur dann gespeichert, wenn dies für spezifische Dienste erforderlich ist oder der Nutzer ausdrücklich zugestimmt hat.

Um die Datenintegrität und -sicherheit zu gewährleisten, sind umfassende Cybersicherheitsmaßnahmen notwendig. Eine sichere und effiziente Datenverarbeitung ist von zentraler Bedeutung für die Entwicklung und

Implementierung von vernetzten und automatisierten Fahrzeugen. Das **BMDV 2020** hebt hervor, dass die Nutzung fortschrittlicher Sicherheitsprotokolle und Verschlüsselungstechnologien essenziell ist, um unbefugten Zugriff und Datenmissbrauch zu verhindern. Telematikdienste und OTA-Updates müssen stets den neuesten Sicherheitsstandards entsprechen, um die Integrität der Fahrzeugdaten zu gewährleisten.

2.5 Ethik und Recht

Ethik beschäftigt sich mit den grundlegenden Fragen des menschlichen Handelns und den Prinzipien, die unser Verhalten leiten sollten. Nach **Werner 2021** ist Ethik eine Disziplin der Philosophie, die Antworten auf die Frage sucht, was ein gutes Leben ausmacht und welche moralischen Prinzipien unsere Entscheidungen leiten sollten. Diese Fragen sind von zentraler Bedeutung für das menschliche Zusammenleben, da sie unser tägliches Handeln und die Art und Weise, wie wir unser Leben gestalten, beeinflussen.

In der modernen Gesellschaft sieht sich die Ethik mit einer Vielzahl von Herausforderungen konfrontiert, die durch technologische, wissenschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen entstehen. Die Relevanz der Ethik zeigt sich laut **Funk 2023** in verschiedenen Bereichen wie der Medizin, der Umwelt, der Wirtschaft und der Technologie. Diese Bereichsethiken demonstrieren, dass ethische Überlegungen und Prinzipien in spezifischen Kontexten angewendet und weiterentwickelt werden müssen. Ein zentrales Thema ist die Frage, wie ethische Orientierung in einer pluralistischen Gesellschaft gefunden werden kann. Angesichts der Vielfalt an ethischen Theorien und moralischen Überzeugungen stellt sich die Frage, wie gemeinsame ethische Standards entwickelt werden können. Der Dialog und die kritische Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Positionen sind essenziell, um eine fundierte ethische Orientierung zu erreichen.

Nach **Heinze 2023** kann das Recht in verschiedene Kategorien unterteilt werden, darunter das öffentliche Recht, das die Beziehungen zwischen Staat und Individuen regelt, und das private Recht, das die Beziehungen zwischen Individuen selbst regelt. Die Hauptfunktionen des Rechts sind die Friedenssicherung, Schaffung von Ordnung, Schutz der Freiheit, Streben nach Gerechtigkeit und Schaffung von Rechtsicherheit.

Mit der Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen und autonomen Fahrzeugen ergeben sich neue rechtliche Herausforderungen. Es müssen Regelungen für Haftung, Versicherung und Sicherheitsstandards entwickelt werden, um die Verantwortlichkeiten bei Unfällen zu klären. **Schulze 2021** betont, dass das Recht sich nicht nur an technologische Fortschritte anpassen, sondern diese auch aktiv fördern muss. Der Gesetzgeber sollte Rahmenbedingungen schaffen, die Freiheiten ermöglichen und gleichzeitig Barrieren für Innovationen senken. Dies umfasst die Anpassung bestehender Haftungs- und Versicherungsregelungen sowie die Berücksichtigung der gesamten IT-Infrastruktur und Datenverarbeitung, die intelligenten Fahrzeugen zugrunde liegt. Zudem darf die Regulierung nicht ausschließlich auf Risiken fokussieren, sondern muss auch die Voraussetzungen für eine sinnvolle technologische Entwicklung schaffen. Durch eine verbraucherfreundliche Vereinfachung der Haftungsregeln und die Förderung von Cyber-Sicherheitsstandards kann das Vertrauen in autonome Systeme gestärkt werden. Somit stellt **Schulze 2021** klar, dass eine ganzheitliche rechtliche Anpassung notwendig ist, um den Einsatz solcher Technologien angemessen zu regeln und gleichzeitig den technischen Fortschritt zu unterstützen.

3 Analyse ethischer und rechtlicher Herausforderungen bei der Implementierung von Fahrerassistenzsystemen

Zur Analyse der ethischen und rechtlichen Aspekte von Fahrerassistenzsystemen im Automobilbau werden relevante Daten und Fakten aus verschiedenen internationalen Richtlinien und Standards herangezogen. Die Untersuchung konzentriert sich auf aktuelle gesetzliche Vorgaben und ethische Überlegungen, die bei der Entwicklung und Implementierung dieser Systeme berücksichtigt werden müssen. Um einen umfassenden Überblick zu erhalten, werden neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen auch die Anforderungen von Verbraucherschutzprogrammen wie dem Euro NCAP sowie ethische Leitlinien und Empfehlungen aus der Forschung und Praxis herangezogen. Die Ergebnisse dieser Analyse sollen aufzeigen, wie rechtliche und ethische Vorgaben die Gestaltung und Einführung von Fahrerassistenzsystemen beeinflussen und welche Herausforderungen und Chancen sich daraus ergeben.

3.1 Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit

Laut **Murphey 2023** tragen aktuelle Fahrerassistenzsysteme signifikant zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und dem Energieverbrauch bei. Technologien wie vorausschauendes Fahren und adaptive Geschwindigkeitsregelungen senken den Kraftstoffverbrauch und führen zu einer messbaren Reduktion der CO₂-Emissionen. Fahrzeuge mit diesen Systemen nutzen Energie effizienter, was einen positiven Effekt auf die Umwelt hat.

Verschiedene spezifische Systeme tragen direkt zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bei. Dazu gehören neben den Eco-Driving-Modi und automatischen Start-Stopp-Systemen auch adaptive Tempomaten und das sogenannte „Segeln“, bei dem der Motor in bestimmten Fahrsituationen abgeschaltet wird, um den Energieverbrauch weiter zu reduzieren. Nach **Lienkamp 2012** können solche Systeme unter realen Fahrbedingungen signifikante Kraftstoffeinsparungen ermöglichen. Durch den Einsatz dieser Systeme können Einsparungen von bis zu 10-15% des Kraftstoffverbrauchs erzielt werden, was sich direkt auf die Reduktion der CO₂-Emissionen auswirkt.

Murphey 2023 betont, dass die Materialwahl bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen zunehmend auf Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit ausgerichtet ist. Viele der verwendeten Materialien sind wiederverwertbar, was zur Schonung von Ressourcen beiträgt. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs – von der Produktion bis zur Entsorgung – fokussiert sich zunehmend auf die Minimierung des ökologischen Fußabdrucks, wobei Konzepte der Kreislaufwirtschaft vermehrt eingesetzt werden, um geschlossene Stoffkreisläufe zu etablieren.

Der gesamte Lebenszyklus der Fahrerassistenzsysteme rückt zunehmend in den Fokus. Hersteller beginnen, verstärkt auf umweltfreundliche Materialien und energieeffiziente Produktionsprozesse zu setzen. Laut **Hannon 2020** wird erwartet, dass bis 2030 ein erheblicher Anteil der Materialien in einem durchschnittlichen Neuwagen aus recycelten oder nachhaltigen Quellen stammen wird, insbesondere durch den verstärkten Einsatz von recyceltem Aluminium und Kunststoffen. Diese Maßnahmen sind Teil der Bemühungen der Automobilindustrie, die Materialemissionen signifikant zu reduzieren und zur Dekarbonisierung beizutragen. Ein Beispiel hierfür ist BMW, das sich zum Ziel gesetzt hat, den Anteil von recycelten Materialien in seinen Fahrzeugen deutlich zu erhöhen. Die "i Vision Circular" Konzeptstudie von BMW zeigt ein Fahrzeug, das zu 100 % aus recycelten Materialien besteht, was den Trend zu mehr Nachhaltigkeit in der Materialwahl unterstreicht.

Laut der **BMW Group 2024** verkörpert BMW i Vision Circular die Vision eines vollständig nachhaltigen Fahrzeugs, das auf den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft basiert. Das Fahrzeug ist nicht nur aus recycelten Materialien gefertigt, sondern auch darauf ausgelegt, am Ende seines Lebenszyklus komplett recycelbar zu sein. Es verwendet Sekundär-Aluminium, biobasierte Werkstoffe und verzichtet auf herkömmliche Lacke zugunsten innovativer Oberflächenveredelungen. Damit setzt BMW neue Maßstäbe in der nachhaltigen Mobilität und zeigt, wie der gesamte Lebenszyklus eines Fahrzeugs neu gedacht werden kann. **Abbildung 24** zeigt das BMW i Vision Circular Konzeptfahrzeug und verdeutlicht eindrucksvoll, wie zukunftsweisendes Design und nachhaltige Materialien harmonisch zusammengeführt werden können. Das Fahrzeug steht somit sinnbildlich für die neuen Maßstäbe, die BMW in der nachhaltigen Mobilität setzt.



Abbildung 24: BMW i Vision Konzeptfahrzeug [BMW AG 2024]

In den letzten Jahren haben Automobilhersteller erhebliche Fortschritte bei der Energieeffizienz in der Produktion gemacht. Gemäß einem Bericht der **IEA 2023** hat die Einführung von Industrie 4.0-Technologien es ermöglicht, den Energieverbrauch in der Fertigung signifikant zu senken. Diese Fortschritte wurden insbesondere durch den Einsatz von energieeffizienten Maschinen und optimierten Produktionsprozessen erzielt. Der verstärkte Einsatz von Solarenergie und anderen erneuerbaren Energiequellen in der Produktion trägt ebenfalls zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei und unterstützt die Nachhaltigkeitsziele vieler Hersteller.

Die Frage, ob die Forschung an Fahrerassistenzsystemen mit ethischen Prinzipien vereinbar ist, wird laut **Murphey 2023** differenziert betrachtet. Fahrerassistenzsysteme tragen erheblich zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bei und stehen somit im Einklang mit ethischen Prinzipien. Diese Systeme helfen, Verkehrsunfälle zu reduzieren und dadurch sowohl menschliches Leid als auch Umweltschäden zu minimieren.

Ethisch gesehen haben Automobilhersteller die Verantwortung, Technologien zu entwickeln, die den ökologischen Fußabdruck ihrer Produkte minimieren. Fahrerassistenzsysteme bieten laut **Stanton 2015** ein erhebliches Potenzial, indem sie durch gezielte Funktionen wie automatische Start-Stopp-Systeme, regenerative Bremsen und intelligente Verkehrssteuerung zur Reduzierung des

Kraftstoffverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen beitragen. Der aktuelle Stand zeigt, dass viele Hersteller bereits Eco-Driving-Modi und andere umweltfreundliche Funktionen in ihre Fahrzeuge integrieren. Diese Technologien sind zunehmend in Mittel- und Oberklassefahrzeugen verbreitet, während sie in preisgünstigeren Modellen noch nicht flächendeckend verfügbar sind. Dennoch wächst die Nachfrage nach umweltfreundlichen Fahrzeugen auch in diesen Segmenten, was die Hersteller dazu zwingt, diese Technologien breiter verfügbar zu machen.

Murphey 2023 diskutiert auch die Nachhaltigkeit der Investitionen in Fahrerassistenzsysteme. Systeme können durch die Optimierung des Kraftstoffverbrauchs und die Reduktion von Emissionen einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten. Diese Investitionen müssen jedoch im Kontext betrachtet werden, ob sie langfristig zur Reduktion des gesamten ökologischen Fußabdrucks der Automobilindustrie beitragen. In Kombination mit anderen nachhaltigen Technologien wie der Elektromobilität könnten Fahrerassistenzsysteme eine Schlüsselrolle bei der Verringerung der Umweltauswirkungen des Verkehrssektors spielen.

Auf der rechtlichen Seite gibt es zahlreiche Gesetze und Vorschriften, die die Entwicklung umweltfreundlicher Fahrerassistenzsysteme direkt beeinflussen. Laut **Seiffert 2021** zwingen die verschärften EU-Emissionsgrenzwerte die Hersteller dazu, innovative Lösungen zu entwickeln, die den gesetzlichen Anforderungen entsprechen, um Sanktionen zu vermeiden. Diese Vorschriften haben dazu geführt, dass Hersteller verstärkt in die Entwicklung von emissionsarmen Technologien und effizienteren Fahrerassistenzsystemen investieren.

3.2 Integration von Künstlicher Intelligenz

Laut **Hakuli 2015** spielt die Integration von KI (künstliche Intelligenz) in Fahrerassistenzsysteme eine zentrale Rolle in der modernen Automobilindustrie. Diese Technologie ermöglicht es Fahrerassistenzsystemen, komplexe Entscheidungen in Echtzeit zu treffen und das Fahrzeugverhalten dynamisch an die Umgebung anzupassen, was zu einer erheblichen Steigerung der Sicherheit und des Komforts führt. Gleichzeitig bringt die Integration von KI erhebliche ethische und rechtliche Herausforderungen mit sich, die bereits in der Praxis zu intensiven Diskussionen geführt haben.

Ein zentrales ethisches Dilemma betrifft laut **Lalli 2023** die Entscheidungsfindung der KI in kritischen Situationen, etwa bei drohenden Unfällen. Die Verantwortung für Entscheidungen der KI bleibt komplex, da unklar ist, wer die Haftung trägt, wenn eine KI-Entscheidung zu einem Unfall führt. Eine Studie von **Gurney 2017** analysiert die rechtlichen Rahmenbedingungen in verschiedenen Ländern und zeigt, dass die Haftung in den meisten Fällen weiterhin beim Fahrzeughalter oder Hersteller liegt. Besonders in den Fällen, in denen autonome Fahrzeuge Unfälle verursachen, bleibt unklar, ob die Verantwortung beim Nutzer oder beim Hersteller der Technologie – wie etwa Google – liegt, da autonome Fahrzeuge viele Fahraufgaben übernehmen. In dem von **Gurney 2017** beschriebenen Szenario wird beispielsweise ein Unfall diskutiert, bei dem der Nutzer durch Ablenkung nicht die Kontrolle übernimmt, während das autonome System versagt. Hier bleibt die Frage offen, ob der Nutzer oder der Hersteller haftbar gemacht werden sollte. Es wird jedoch zunehmend über die Einführung spezifischer Haftungsgesetze für KI-Entscheidungen diskutiert, um solche Unklarheiten zu beseitigen. Diese Unsicherheiten im Haftungsrecht, wie sie Gurney anhand realer Szenarien aufzeigt, könnten dazu führen, dass die Einführung von KI in sicherheitskritischen Systemen, wie zum Beispiel im autonomen Fahren, verzögert wird, bis klare gesetzliche Regelungen bestehen. Diese Diskussionen sind entscheidend, um Vertrauen in KI-gesteuerte Systeme zu schaffen und ihre Akzeptanz in der Gesellschaft zu fördern.

Die Transparenz der KI-Algorithmen ist von großer Bedeutung, da sie sicherstellt, dass die Entscheidungen der KI nachvollziehbar und fair sind. Laut **Holdsworth 2023** ist es entscheidend, dass KI-Systeme fair und nachvollziehbar agieren, was durch die Vermeidung von Bias in den Trainingsdaten unterstützt wird. Bias bezieht sich auf Verzerrungen oder Vorurteile in den Daten oder Algorithmen, die zu unfairen oder diskriminierenden Ergebnissen führen können. Eine Untersuchung von **Mehrabi 2021** zeigt, dass Bias nicht nur durch unrepräsentative Daten verursacht wird, sondern auch dadurch entsteht, dass soziale Kontexte in der Entwicklung von Algorithmen unzureichend berücksichtigt werden. Zum Beispiel können algorithmische Entscheidungen, die lediglich auf Netzwerkverbindungen oder Nutzungsdaten basieren, das tatsächliche Verhalten und die sozialen Interaktionen der Nutzer verzerrt wiedergeben. Außerdem kann sich Bias durch die Verstärkung bestehender gesellschaftlicher Stereotype in Trainingsdaten weiter verschärfen, wie es in

Untersuchungen zu strukturierten Vorhersagemodellen und Geschlechterrollen deutlich wird.

Die Integration von KI in Fahrerassistenzsystemen ist laut **Winner 2015** in vielen Bereichen weit fortgeschritten. Automobilhersteller wie BMW, Mercedes-Benz und Tesla nutzen KI erfolgreich, um Systeme wie Notbremsassistenten und Spurhalteassistenten zu optimieren. Diese Systeme haben sich in der Praxis als zuverlässig erwiesen und tragen zur Erhöhung der Fahrzeugsicherheit bei, auch wenn Herausforderungen in Bezug auf Transparenz und Bias weiterhin bestehen.

Murphey 2023 beschreibt spezifische technische Herausforderungen bei der Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme, insbesondere die Zuverlässigkeit der Sensorik. Es wurden Fälle dokumentiert, in denen extreme Wetterbedingungen oder komplexe Verkehrssituationen die Sensorik beeinträchtigten und zu fehlerhaften Entscheidungen der KI führten. Dies hat verstärkte Forschungs- und Entwicklungsbemühungen zur Folge gehabt, um die Robustheit der Sensorik weiter zu verbessern. Zudem müssen verschiedene KI-Systeme nahtlos miteinander kommunizieren, was eine Interoperabilität erfordert, die nicht immer gegeben ist, wenn die Systeme von unterschiedlichen Herstellern stammen.

Ein zunehmend relevanter Aspekt in der Entwicklung und Anwendung von KI-Systemen ist die ethische Implementierung. Laut **Lalli 2023** greifen Unternehmen vermehrt auf sogenannte Ethical AI Frameworks und Richtlinien zurück, um sicherzustellen, dass ihre KI-Technologien nicht nur den gesetzlichen Vorgaben, sondern auch ethischen Standards gerecht werden. Eine zentrale Rolle spielen dabei die 'Ethics Guidelines for Trustworthy AI', die 2019 von der Europäischen Kommission veröffentlicht wurden. Diese Leitlinien definieren klare Grundsätze wie Transparenz, Fairness und Verantwortung und bieten Unternehmen einen strukturierten Rahmen, um ethische Prinzipien in ihre KI-Systeme zu integrieren.

Reese 2024 hebt besonders die Bedeutung der Transparenz hervor, die als Schlüsselement dieser Leitlinien gilt und im Kontext des EU AI Act weiter verstärkt wird. Insbesondere für KI-Systeme mit hohem Risiko und General Purpose AI wird Transparenz als wesentliches Kriterium für das Vertrauen in KI-Systeme betrachtet. Reese erklärt, dass Unternehmen ihre KI-Modelle nicht nur technisch, sondern auch

ethisch vertretbar gestalten müssen, um das Vertrauen der Öffentlichkeit und der Regulierungsbehörden zu gewinnen.

In der Praxis sieht **Reese 2024** bereits eine umfassende Implementierung dieser Frameworks. Diese helfen Unternehmen dabei, ethische Standards systematisch in den Entwicklungs- und Entscheidungsprozessen von KI-Systemen zu verankern. Die Einhaltung dieser Standards ist nach Reese nicht nur eine gesetzliche und ethische Verpflichtung, sondern wird zunehmend als Wettbewerbsvorteil in einem regulierten europäischen Markt wahrgenommen.

Zusätzlich zu den rechtlichen Rahmenbedingungen, wie dem EU AI Act, betont **Reese 2024** die Rolle der ethischen Leitlinien, um soziale Verantwortung und Innovationsförderung in Einklang zu bringen. Unternehmen, die frühzeitig auf ethische KI setzen, positionieren sich laut Reese als Vorreiter in der digitalen Transformation und tragen maßgeblich zur Entwicklung vertrauenswürdiger KI-Systeme bei.

Die OECD AI Principles von 2019 betonen die Wichtigkeit regelmäßiger Audits, um sicherzustellen, dass KI-Algorithmen nicht nur technisch korrekt, sondern auch ethisch vertretbar arbeiten. Diese Audits dienen dazu, potenzielle Risiken wie Verzerrungen, Diskriminierungen oder unfaire Entscheidungen frühzeitig zu erkennen und zu beheben, bevor sie Schaden anrichten können. **Mökander 2023** unterstreicht in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit von Transparenz, Fairness und Rechenschaftspflicht bei der Entwicklung und Implementierung von KI-Systemen.

Erste Ansätze für solche Audits werden bereits erfolgreich in der Industrie umgesetzt, wie Beispiele aus dem Bereich der Rekrutierung oder der Kreditvergabe zeigen. Unternehmen wie AstraZeneca haben begonnen, unabhängige ethische Audits durchzuführen, um sicherzustellen, dass ihre KI-Systeme den ethischen Standards entsprechen und somit Vertrauen bei den Nutzern schaffen. **Mökander 2023** hebt hervor, dass der Erfolg solcher Audits stark von ihrer Unabhängigkeit abhängt.

Darüber hinaus gewinnen ethische Zertifizierungen für KI-Systeme an Bedeutung, insbesondere im Hinblick auf die Wahrung von Datenschutz, Fairness und der Vermeidung von Diskriminierungen. Solche Zertifizierungen helfen nicht nur, das Vertrauen der Öffentlichkeit zu stärken, sondern bieten Unternehmen auch einen Wettbewerbsvorteil, indem sie ihre Systeme als transparent und ethisch korrekt

positionieren. **Mökander 2023** argumentiert, dass ethische Audits nicht nur als Risikomanagement-Tool betrachtet werden sollten, sondern auch als Möglichkeit, die Innovationsfähigkeit und die öffentliche Wahrnehmung eines Unternehmens zu fördern..

Im Kontext der Zertifizierung von KI-Systemen in der Automobilindustrie, wie sie von **Winner 2015** beschrieben wird, wurden bereits erste Normen und Standards etabliert, die eine zentrale Rolle bei der Gewährleistung der Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit dieser Systeme spielen.

Technologisch gesehen befinden sich KI-Systeme in Fahrerassistenzsystemen laut **Murphey 2023** in einem fortgeschrittenen Stadium, doch bleibt die Fehleranfälligkeit eine Herausforderung. Dokumentierte Vorfälle, bei denen KI-gesteuerte Systeme unerwartet versagten, haben das Vertrauen der Nutzer beeinträchtigt, was die Industrie dazu bewegt hat, verstärkt in die Verbesserung der Systemstabilität zu investieren.

Die gesellschaftliche Akzeptanz von KI in Fahrerassistenzsystemen ist laut **Winner 2015** gemischt. Während viele die Vorteile von KI in Fahrerassistenzsystemen erkennen, gibt es auch Skepsis und Ängste, insbesondere bezüglich der Kontrolle und Sicherheit dieser Systeme. Aktuelle Studien und Umfragen verdeutlichen, dass öffentliche Aufklärung und transparente Kommunikation seitens der Hersteller notwendig sind, um das Vertrauen der Verbraucher zu stärken und die Akzeptanz dieser Technologien zu fördern.

3.3 Autonomes Fahren

Das autonome Fahren hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht und steht kurz davor, eine zentrale Rolle in der Mobilität der Zukunft einzunehmen, wie **Winkelhake 2022** betont. Führende Unternehmen wie Tesla und Waymo investieren stark in diese Technologie. Waymo, eine Tochtergesellschaft von Alphabet, hat bereits Millionen von Testmeilen in Städten wie Phoenix und San Francisco gesammelt. Diese Entwicklungen verdeutlichen, dass Fahrerassistenzsysteme und autonome Fahrtechnologien eine Schlüsselrolle in der zukünftigen Mobilität spielen.

Murphey 2023 beschreibt das autonome Fahren als bedeutenden technologischen Fortschritt, der durch Fahrerassistenzsysteme wie Notbrems- und Spurhalteassistenten ermöglicht wird. Diese Systeme nutzen Künstliche Intelligenz (KI) und fortschrittliche Sensorik, um das Fahrzeugverhalten dynamisch an die Umgebung anzupassen. Diese Technologien sind entscheidend für die Entwicklung höherer Autonomiestufen, wie sie von der Society of Automotive Engineers (SAE) definiert wurden, insbesondere für Stufe 5, die vollautonomes Fahren ermöglicht.

Obwohl die Technologie viele Vorteile bietet, wie erhöhte Sicherheit und weniger Verkehrsstau, wirft sie auch komplexe rechtliche Fragen auf. **Redavid 2023** hebt hervor, dass bei Unfällen mit autonomen Fahrzeugen unklar ist, wer die Verantwortung trägt – der Hersteller, der Softwareentwickler oder der Fahrzeughalter. Diese Unsicherheit wird durch technische Herausforderungen verschärft, da oft nicht eindeutig ist, ob ein Softwarefehler, ein Hardwaredefekt oder das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer einen Unfall verursacht hat.

Autonome Fahrzeuge müssen oft zwischen verschiedenen Optionen zur Schadensminimierung wählen, was ethische Dilemmata schafft. **Evans 2020** beschreibt, dass diese Problematik häufig durch das Trolley-Problem illustriert wird, bei dem Algorithmen programmiert werden müssen, um in Gefahrensituationen Prioritäten zu setzen. Es ist entscheidend, dass solche Entscheidungen transparent sind, um das Vertrauen der Nutzer zu gewährleisten. Studien betonen, dass nachvollziehbare Entscheidungsprozesse unerlässlich sind, um die Akzeptanz autonomer Fahrzeuge zu erhöhen.

Ein weiteres ethisches Problem bei autonomen Systemen ist die Vermeidung von Diskriminierung durch algorithmische Entscheidungen. Der Einsatz von Daten, die Verzerrungen aufweisen, könnte zu diskriminierenden Ergebnissen führen, wenn bestimmte Gruppen schlechter behandelt werden. **Evans 2020** weist darauf hin, dass KI-Systeme regelmäßig auf Fairness überprüft und ihre Algorithmen hinsichtlich Gleichbehandlung und Gerechtigkeit analysiert werden müssen, um diese ethischen Probleme zu vermeiden.

Im rechtlichen Bereich ist die Haftungsfrage besonders bedeutsam. **Gurney 2017** betont, dass klare Regelungen notwendig sind, um die Haftung vom Fahrer auf den Hersteller oder Entwickler zu übertragen, sobald die Technologie vollständig autonom

arbeitet. Dies ist essenziell, um rechtliche Unsicherheiten zu beseitigen und im Schadensfall eine faire Entschädigung zu gewährleisten.

Darüber hinaus ist eine internationale Harmonisierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Sicherheitsstandards notwendig, um die globale Einführung autonomer Fahrzeuge zu erleichtern. **Winner 2015** weist darauf hin, dass ohne einheitliche Standards der Entwicklungsaufwand für Hersteller steigt, da sie ihre Systeme für verschiedene Märkte anpassen müssen.

Neben den rechtlichen und ethischen Herausforderungen haben autonome Fahrzeuge auch erhebliche soziale Auswirkungen. Der Bericht von **Viscelli 2018** hebt hervor, dass Berufsgruppen wie Lkw- und Taxifahrer besonders durch die Automatisierung gefährdet sind. Es wird prognostiziert, dass bis zu 294.000 Fernfahrerjobs durch autonome Lastwagen ersetzt werden könnten. Zwar könnten neue Jobs in der lokalen Zustellung entstehen, diese werden jedoch voraussichtlich schlechter bezahlt und von geringerer Qualität sein, wenn keine proaktiven politischen Maßnahmen ergriffen werden. Um den Arbeitsmarkt zu stabilisieren, sind daher Umschulungsprogramme und gezielte soziale Maßnahmen dringend notwendig. Diese Programme könnten dazu beitragen, betroffene Arbeitnehmer auf neue Rollen vorzubereiten und negative Auswirkungen der Automatisierung abzumildern.

3.4 Internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen

Die internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen ist ein entscheidender Faktor für die Zukunft der globalen Automobilindustrie. **Winner 2015** betont, dass es in einer zunehmend vernetzten und globalisierten Welt unerlässlich ist, einheitliche Standards und Vorschriften zu entwickeln, um sicherzustellen, dass diese Systeme weltweit sicher und effektiv funktionieren. Dabei stellt die Harmonisierung jedoch eine komplexe Aufgabe dar, die mit erheblichen ethischen und rechtlichen Herausforderungen verbunden ist.

Ethisch gesehen ist die Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen eine schwierige Aufgabe, da verschiedene Länder unterschiedliche ethische Normen und Prioritäten haben. **Winner 2015** erklärt, dass in einigen Ländern, wie Deutschland, der Fokus stark auf der Gewährleistung maximaler Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer liegt. Dies spiegelt sich in Diskussionen wie dem "Trolley-Problem" wider, bei dem ethische

Entscheidungen über Leben und Tod in unvermeidbaren Unfallsituationen getroffen werden müssen. Die deutsche Ethikkommission zum automatisierten und vernetzten Fahren hat hierzu bereits Leitlinien entwickelt, die den Schutz des menschlichen Lebens als oberste Priorität festlegen. Demgegenüber stehen Länder wie die USA, in denen der Schutz individueller Freiheiten und der Datenschutz eine größere Rolle spielen. Hier fehlen oft formal festgelegte ethische Leitlinien, was die internationale Harmonisierung erschwert. Trotz zahlreicher Bemühungen internationaler Gremien, wie der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UN-ECE), gibt es bisher noch keine einheitlichen globalen ethischen Standards für Fahrerassistenzsysteme. Die Bemühungen zur Definition ethischer Prinzipien befinden sich noch in einem frühen Stadium und haben bislang nur zu wenigen verbindlichen Ergebnissen geführt.

Auch auf rechtlicher Ebene bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den nationalen Regelungen, die die Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen erschweren. **Winner 2015** weist darauf hin, dass in der EU strenge Datenschutzvorschriften, wie die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), gelten, die den Umgang mit Daten in Fahrerassistenzsystemen stark regulieren. Diese Vorschriften stehen oft im Widerspruch zu den weniger restriktiven Regelungen in anderen Ländern, insbesondere in den USA, wo der Datenschutz weniger streng gehandhabt wird. Diese Diskrepanzen führen dazu, dass internationale Vereinbarungen, die den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen weltweit regeln sollen, schwierig zu erreichen sind. Ein konkretes Beispiel für internationale Harmonisierung ist die Arbeit der UN-ECE, insbesondere die Regelung Nr. 79, die technische Anforderungen für Fahrerassistenzsysteme wie Spurhalteassistenten festlegt. Obwohl diese Regelungen von vielen Ländern übernommen wurden, gibt es weiterhin Unterschiede in der Implementierung, die eine vollständige Harmonisierung behindern.

Um diese Herausforderungen zu überwinden, setzen internationale Organisationen wie die UN-ECE und die Internationale Organisation für Normung (ISO) auf die Entwicklung von Global Technical Regulations (GTRs) und ISO-Standards. **Winner 2015** beschreibt, dass diese Standards als Grundlage für nationale Gesetze dienen und die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Fahrerassistenzsystemen weltweit gewährleisten sollen. Beispiele hierfür sind die ISO 26262, die sich mit der funktionalen Sicherheit von elektrischen und elektronischen Systemen in Fahrzeugen befasst, und die ISO 21448 (SOTIF), die die Sicherheit der beabsichtigten Funktionalität adressiert.

Ein weiteres Beispiel ist die Zusammenarbeit zwischen der Europäischen Union und den Vereinigten Staaten, die darauf abzielt, Sicherheitsstandards für Fahrerassistenzsysteme, insbesondere für automatisierte Notbremssysteme, zu harmonisieren. Trotz dieser Bemühungen bestehen weiterhin Unterschiede in der Regulierung und den Testverfahren, die eine vollständige Harmonisierung verhindern.

Die Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen ist jedoch nicht ohne Risiken. **Winner 2015** weist darauf hin, dass die Vereinheitlichung auf den kleinsten gemeinsamen Nenner hinauslaufen könnte, was Innovationen bremsen könnte. Zudem könnten spezifische nationale Anforderungen, die auf besondere kulturelle oder geografische Gegebenheiten abgestimmt sind, in einem globalen Standard verloren gehen. Trotz dieser Risiken überwiegen jedoch die potenziellen Vorteile einer Harmonisierung, insbesondere in einer zunehmend globalisierten und vernetzten Welt. Einheitliche Standards erleichtern den internationalen Handel und stärken die Innovationskraft.

Winner 2015 betont, dass die internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen ein wichtiges Ziel bleibt, das sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz der globalen Mobilität fördern kann. Der aktuelle Stand der Bemühungen zeigt zwar Fortschritte, aber es bestehen weiterhin erhebliche Herausforderungen, um weltweit einheitliche Standards zu schaffen, die den ethischen und rechtlichen Anforderungen gerecht werden. Die kommenden Jahre werden entscheidend dafür sein, ob und wie diese Harmonisierung gelingt und welche Auswirkungen sie auf die globale Automobilindustrie haben wird.

3.5 Mensch-Maschine-Interaktion

Die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) ist von zentraler Bedeutung für die Implementierung und das sichere Funktionieren von Fahrerassistenzsystemen im Alltag. Diese Interaktion umfasst die Schnittstellen und Interaktionen zwischen dem Fahrer und dem Assistenzsystem, die durch visuelle Anzeigen, akustische Signale, haptisches Feedback oder Sprachsteuerung realisiert werden. Die Gestaltung dieser Schnittstellen ist nicht nur technologisch anspruchsvoll, sondern wirft auch eine Reihe ethischer und rechtlicher Fragen auf, die sorgfältig berücksichtigt werden müssen. Ethische Aspekte der MMI betreffen insbesondere das Vertrauen der Nutzer in das

System. Fahrer müssen darauf vertrauen können, dass das Fahrerassistenzsysteme in kritischen Situationen die richtigen Entscheidungen trifft. **Bengler 2021** betont, dass eine klare und intuitive Benutzeroberfläche entscheidend dafür ist, dass Fahrer das System richtig verstehen und entsprechend reagieren können. Ein Beispiel ist die Gestaltung der Schnittstellen bei Tesla-Fahrzeugen, wo visuelle, akustische und haptische Warnungen den Fahrer daran erinnern, die Hände am Lenkrad zu behalten, um eine übermäßige Abhängigkeit vom System zu vermeiden. Diese Art der Interaktion soll sicherstellen, dass der Fahrer jederzeit bereit ist, die Kontrolle zu übernehmen, was eine Balance zwischen technischer Unterstützung und menschlicher Aufsicht erfordert. **Abbildung 24** zeigt eine typische Tesla-Anzeige, bei der das Fahrzeug den Fahrer darauf hinweist, dass das Autosteer-System für den Rest der Fahrt deaktiviert ist, und fordert ihn auf, das Lenkrad manuell zu steuern. Diese visuelle Darstellung kombiniert mit den roten Hand-Symbolen soll den Fahrer warnen und sicherstellen, dass er weiterhin aktiv in das Fahrgeschehen eingreift.



Abbildung 25: Tesla-Autopilot System [Motor1 2017]

Ein weiteres ethisches Dilemma ergibt sich laut **Bengler 2021** aus der Verantwortung und Haftung im Falle eines Unfalls, der aufgrund eines Missverständnisses zwischen Mensch und Maschine geschieht. Wenn das System eine Fehlfunktion aufweist oder der Fahrer die Anweisungen des Systems missversteht, stellt sich die Frage, wer verantwortlich gemacht werden kann. Derzeit gibt es noch keine einheitlichen Regelungen, die in allen Ländern gelten. Dies führt zu rechtlichen Unsicherheiten, da sowohl Hersteller als auch Fahrer oft gemeinsam Verantwortung tragen.

Datenschutz ist ein weiterer kritischer ethischer Aspekt der MMI. Moderne Fahrerassistenzsysteme sammeln umfangreiche Daten über das Verhalten und die Präferenzen des Fahrers, um personalisierte Assistenzleistungen zu erbringen. **Eckstein 2021** hebt hervor, dass es eine Herausforderung ist, diese Daten sicher zu verwalten und gleichzeitig den Anforderungen der Datenschutzgesetze gerecht zu werden. In der Praxis werden zunehmend Technologien wie Datenanonymisierung und strenge Zugriffsprotokolle implementiert, um die Privatsphäre der Nutzer zu schützen. Dennoch bleibt dies ein Bereich, in dem kontinuierliche Forschung und Anpassung erforderlich sind, da die Menge und Art der gesammelten Daten weiter zunimmt.

Fairness und Inklusion spielen ebenfalls eine wichtige Rolle in der MMI. **Bengler 2021** weist darauf hin, dass Fahrerassistenzsystemen die Bedürfnisse und Fähigkeiten aller Nutzergruppen berücksichtigen müssen, einschließlich älterer Menschen und Menschen mit Behinderungen. Bereits wurden Fortschritte erzielt, etwa durch die Entwicklung von barrierefreien Benutzeroberflächen und die Integration von Funktionen, die speziell auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Nutzergruppen zugeschnitten sind. Dies fördert eine personalisierte Benutzererfahrung, die Ablenkungen minimiert und die Inklusion stärkt.

Rechtlich gesehen gibt es spezifische Rahmenbedingungen, die die MMI bei Fahrerassistenzsystemen regeln. Diese Gesetze legen fest, wie Benutzeroberflächen gestaltet sein müssen, um die Sicherheit zu gewährleisten und Ablenkungen zu minimieren. Zudem regeln sie, inwieweit der Hersteller für Unfälle haftbar gemacht werden kann, die auf Fehlverhalten des Systems oder Missverständnisse in der Interaktion zwischen Mensch und Maschine zurückzuführen sind. **Winner 2024** betont, dass diese rechtlichen Regelungen von Land zu Land unterschiedlich sind, was zu Unsicherheiten führen kann. In der EU beispielsweise müssen Hersteller strenge Anforderungen an die Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit ihrer Systeme erfüllen, während in anderen Regionen weniger detaillierte Vorschriften existieren.

4 Herausforderungen und Lösungsansätze

4.1 Technologische Herausforderungen

Die technologischen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen sind vielfältig und betreffen verschiedene zentrale Bereiche:

Die Notwendigkeit, den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und die CO₂-Emissionen zu senken, stellt gemäß **Murphey 2023** eine erhebliche Herausforderung dar. Die Entwicklung von Technologien, die unter realen Bedingungen zuverlässig arbeiten und die versprochenen Umweltvorteile tatsächlich erzielen, ist komplex. Zudem betont **Hannon 2020**, dass die Materialwahl entscheidend ist; die Herausforderung besteht darin, neue, nachhaltige Materialien zu entwickeln, die sowohl umweltfreundlich als auch technologisch leistungsfähig sind.

Die Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme ist laut **Murphey 2023** technisch anspruchsvoll, insbesondere im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Systeme. Die Sensoren, die die notwendigen Daten für KI-Algorithmen liefern, müssen unter extremen Bedingungen präzise und zuverlässig funktionieren. Darüber hinaus stellt die Interoperabilität von KI-Systemen eine Herausforderung dar, da diese Systeme von verschiedenen Herstellern stammen und potenziell inkompatibel sein könnten.

Die Entwicklung vollständig autonomer Fahrzeuge (Level 5) ist laut **Murphey 2023** eine der größten technologischen Herausforderungen in der Automobilindustrie. Diese Fahrzeuge müssen in der Lage sein, ohne menschliche Eingriffe zu operieren, was eine hochentwickelte Sensorik, präzise Kartendaten, leistungsstarke KI-Algorithmen und eine robuste Kommunikationsinfrastruktur erfordert. Ein weiteres Hindernis ist die notwendige Systemredundanz, um im Falle eines Ausfalls die Sicherheit zu gewährleisten. **Murphey 2023** betont, dass diese Redundanz jedoch die Komplexität und die Kosten erheblich erhöht.

Unterschiedliche nationale Anforderungen und Vorschriften erschweren die Entwicklung einheitlicher Fahrerassistenzsysteme. **Winner 2015** hebt hervor, dass die Unterschiede in Sicherheitsstandards, Testmethoden und Zulassungsverfahren zwischen verschiedenen Ländern erhebliche Hindernisse für die Schaffung global einheitlicher Systeme darstellen.

Die MMI stellt laut **Bengler 2021** eine zentrale Herausforderung dar, da Fahrerassistenzsysteme nicht nur autonom agieren, sondern auch mit dem Fahrer effektiv kommunizieren müssen. Eine fehlerhafte Kommunikation zwischen Mensch und Maschine kann zu gefährlichen Situationen führen, insbesondere wenn der Fahrer plötzlich die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen muss.

Nach **Murphey 2023** sollten Hersteller verstärkt auf die Entwicklung neuer, leichter Materialien setzen, die den Energieverbrauch der Fahrzeuge senken können. Diese Maßnahme könnte erheblich zur Optimierung der Energieeffizienz und Materialnutzung in der Automobilindustrie beitragen. **Hannon 2020** ergänzt, dass die Entwicklung fortschrittlicher Simulations- und Testverfahren notwendig ist, um die Umweltverträglichkeit der Systeme unter realen Bedingungen sicherzustellen. Eine verstärkte Forschung und Entwicklung im Bereich der Kreislaufwirtschaft könnte ebenfalls dazu beitragen, die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge zu minimieren, indem Materialien effizienter wiederverwertet und Ressourcen geschont werden.

Die **IEA 2023** empfiehlt die Einführung von Industrie-4.0-Technologien und die Optimierung der Lieferketten, um die CO₂-Bilanz der Produktion zu verbessern. Der Einsatz erneuerbarer Energien sollte dabei maximiert werden, um nachhaltige Produktionsprozesse zu fördern, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch vorteilhaft sind.

Murphey 2023 betont auch die Notwendigkeit, in die Entwicklung robusterer Sensoren zu investieren, die unter unterschiedlichsten Bedingungen zuverlässig arbeiten können. Diese Verbesserung könnte durch den Einsatz von Redundanztechniken und fortschrittlicher Sensortechnologie erreicht werden, was die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Fahrerassistenzsysteme erhöhen würde.

Winner 2015 hebt die Notwendigkeit hervor, globale Standards für die Interoperabilität von KI-Systemen zu etablieren. Diese Standards würden eine reibungslose Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen ermöglichen und potenzielle Inkompatibilitäten minimieren, was für die weltweite Implementierung von Fahrerassistenzsystemen von entscheidender Bedeutung ist.

Um die Sensoren und KI-Algorithmen weiter zu verbessern, schlägt **Murphey 2023** umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen vor. Der Einsatz von maschinellem Lernen und Big Data könnte dabei helfen, die Systeme besser an reale Bedingungen anzupassen und ihre Fähigkeit zu erhöhen, komplexe Verkehrssituationen sicher zu bewältigen.

Darüber hinaus empfiehlt **Murphey 2023** die Entwicklung von Multi-Funktions-Sensoren, die mehrere Aufgaben gleichzeitig übernehmen können, um die Kosten der notwendigen Redundanzsysteme zu senken, ohne dabei die Sicherheit der Fahrzeuge zu beeinträchtigen. Diese kosteneffizienten Redundanzstrategien könnten dazu beitragen, die wirtschaftliche Umsetzbarkeit fortschrittlicher Fahrerassistenzsysteme zu verbessern.

Winner 2015 betont ferner die Notwendigkeit, globale Standards zu entwickeln, die die Sicherheit und Effizienz von Fahrerassistenzsystemen in allen Märkten gewährleisten. Dies könnte durch die Zusammenarbeit internationaler Organisationen wie der UN-ECE, der ISO und den nationalen Regierungen erreicht werden. Einheitliche Test- und Zertifizierungsverfahren, die von **Winner 2015** empfohlen werden, könnten es den Herstellern ermöglichen, ihre Systeme global zu vermarkten, während gleichzeitig sichergestellt wird, dass Sicherheits- und Umweltstandards weltweit eingehalten werden.

Im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion empfiehlt **Bengler 2021** die Entwicklung adaptiver Schnittstellen, die sich an die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse des Fahrers anpassen könnten. Solche Schnittstellen könnten die Interaktion zwischen Mensch und Maschine verbessern und die Sicherheit erheblich erhöhen. Laut **Bengler 2021** könnte die Integration von KI in die Mensch-Maschine-Interaktion dazu beitragen, dass die Systeme besser auf die individuellen Bedürfnisse der Fahrer eingehen. Diese KI-gesteuerten Systeme könnten kontinuierlich lernen und sich an das Fahrverhalten des Nutzers anpassen, um eine noch effizientere und sicherere Interaktion zu gewährleisten.

4.2 Gesellschaft und Ethik

Die gesellschaftlichen und ethischen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen sind komplex und umfassen verschiedene zentrale Aspekte. Eine bedeutende Herausforderung im Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt besteht darin, dass Hersteller Technologien entwickeln müssen, die tatsächlich zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks beitragen. Dies betrifft den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs, von der Materialwahl über den Energieverbrauch während der Nutzung bis hin zur Entsorgung und Wiederverwertung. Wie **Sullivan 2012** hervorhebt, spielen dabei auch kritische Materialien wie seltene Erden eine zentrale Rolle, die in Elektromotoren und Batterien verwendet werden. Der Abbau und die Verarbeitung dieser Ressourcen, insbesondere in Ländern wie China, sind häufig mit hohen ökologischen Belastungen und sozial problematischen Bedingungen verbunden. Diese Herausforderungen verdeutlichen die Notwendigkeit, nicht nur effizientere Technologien, sondern auch nachhaltige und verantwortungsbewusste Produktionsprozesse zu entwickeln. Insbesondere die Verwendung umweltschädlicher Materialien wie seltener Erden, deren Abbau und Verarbeitung erhebliche ökologische und soziale Auswirkungen haben können, stellt ein zentrales ethisches Problem dar.

Im Bereich der Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme identifiziert **Lalli 2023** erhebliche ethische Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der Verantwortung und Entscheidungsfindung in kritischen Situationen. Ein zentrales ethisches Dilemma ist die Programmierung von KI-Systemen für Situationen, in denen Unfälle unvermeidbar sind. Die Frage, wie diese Systeme moralisch vertretbare Entscheidungen treffen sollen, bleibt weiterhin ungeklärt. Darüber hinaus sind die Erfüllung der von der **Europäischen Kommission 2019** festgelegten ethischen Prinzipien – wie Achtung der menschlichen Autonomie, Schadensverhütung, Fairness und Erklärbarkeit – von zentraler Bedeutung, um das Vertrauen der Öffentlichkeit in KI-gesteuerte Systeme zu stärken.

Das autonome Fahren bringt laut **Murphey 2023** weitere ethische und gesellschaftliche Herausforderungen mit sich, vor allem im Hinblick auf die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und die soziale Gerechtigkeit. Die zunehmende Automatisierung könnte zu sozialen Spannungen führen, da Berufsgruppen wie Lkw-Fahrer und Taxifahrer durch Technologie ersetzt werden könnten. Zudem stellt sich

die Frage, wie die Vorteile des autonomen Fahrens gerecht verteilt werden können, um eine Polarisierung der Gesellschaft zu vermeiden.

Winner 2015 weist darauf hin, dass die internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen ebenfalls ethische Herausforderungen mit sich bringt. Insbesondere die unterschiedlichen ethischen Standards und Werte, die in verschiedenen Ländern gelten, erschweren die Entwicklung global einheitlicher ethischer Standards. Auch der Umgang mit Daten und Datenschutzfragen wird unterschiedlich bewertet, was zu weiteren ethischen Konflikten führen kann.

Die MMI stellt laut **Bengler 2021** eine weitere ethische Herausforderung dar, da sie das Vertrauen der Nutzer in die Systeme beeinflusst. Ein zentrales Problem ist die Verantwortlichkeit im Falle von Fehlfunktionen, insbesondere wenn die Benutzeroberflächen nicht intuitiv genug gestaltet sind, um eine klare und verständliche Kommunikation zwischen Mensch und Maschine zu gewährleisten. Der Datenschutz ist ebenfalls ein wesentliches ethisches Thema, da moderne Fahrerassistenzsysteme eine große Menge an Daten über das Verhalten und die Präferenzen der Fahrer sammeln, was Fragen zur ethischen Nutzung und zum Schutz dieser Daten aufwirft.

Im Bereich der Integration von KI in Fahrerassistenzsystemen sollten die ethischen Prinzipien der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2019 als Grundlage für die Entwicklung dieser Systeme dienen. **Lalli 2023** betont, dass die Hersteller diese Leitlinien bei der Programmierung ihrer Systeme berücksichtigen sollten, um sicherzustellen, dass die KI-Systeme die menschliche Autonomie respektieren, Schaden minimieren, Fairness gewährleisten und ihre Entscheidungen erklärbar machen. Regelmäßige Überprüfungen und Audits sind notwendig, um sicherzustellen, dass die KI-Systeme weiterhin den ethischen Standards entsprechen, insbesondere wenn neue Daten und Technologien in die Systeme integriert werden.

Um die ethischen Herausforderungen im Bereich autonomes Fahren zu bewältigen, schlägt **Murphey 2023** vor, soziale Ausgleichsmaßnahmen zu entwickeln, die den Übergang zu einer autonomen Mobilität abfedern. Dies könnte durch Umschulungsprogramme für betroffene Arbeitnehmer, staatliche Unterstützung für den Kauf autonomer Fahrzeuge durch einkommensschwache Haushalte und die Förderung von öffentlichen autonomen Verkehrsmitteln erreicht werden. Zudem

sollten ethische Diskussionen über die gerechte Verteilung der Vorteile dieser Technologien geführt werden, um sicherzustellen, dass alle Gesellschaftsschichten von den Fortschritten im Bereich des autonomen Fahrens profitieren.

Winner 2015 empfiehlt, dass internationale Gremien ethische Standards entwickeln, die global akzeptiert und umgesetzt werden können, um die Herausforderungen der internationalen Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen zu bewältigen. Dies könnte durch die Schaffung eines internationalen ethischen Rahmenwerks erreicht werden, das die unterschiedlichen ethischen Werte berücksichtigt und dennoch gemeinsame Prinzipien festlegt. Darüber hinaus sollte der Datenschutz in allen Ländern als unverzichtbarer Bestandteil der ethischen Standards für Fahrerassistenzsysteme angesehen werden.

Um die ethischen Herausforderungen der MMI zu bewältigen, empfiehlt **Bengler 2021** die Benutzeroberflächen so zu gestalten, dass sie intuitiv und benutzerfreundlich sind und dem Fahrer jederzeit klare und verständliche Rückmeldungen geben. Strenge Datenschutzrichtlinien sollten entwickelt und umgesetzt werden, um sicherzustellen, dass die gesammelten Daten sicher aufbewahrt und nur für legitime Zwecke verwendet werden. Darüber hinaus sollten die Hersteller ethische Leitlinien für die Nutzung von Fahrer- und Fahrzeugdaten entwickeln, um den Schutz der Privatsphäre zu gewährleisten und das Vertrauen der Nutzer zu stärken.

4.3 Regulatorische und rechtliche Aspekte

Die regulatorischen und rechtlichen Herausforderungen im Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt sind vielfältig und betreffen vor allem die Einhaltung von Emissionsvorschriften und die Förderung umweltfreundlicher Technologien. **Seiffert 2021** hebt hervor, dass die zunehmend verschärften Emissionsgrenzwerte in der EU die Hersteller dazu zwingen, innovative Lösungen zu entwickeln, um den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden und mögliche Sanktionen zu vermeiden. Ein weiteres bedeutendes Problem ist die Fragmentierung der Umweltvorschriften in verschiedenen Ländern, die die Entwicklung und Implementierung einheitlicher Fahrerassistenzsysteme erschwert. Unterschiedliche nationale Gesetze und Vorschriften führen dazu, dass Hersteller ihre Systeme an die jeweiligen regionalen Anforderungen anpassen müssen, was die Entwicklungskosten erhöht und die Markteinführung verzögert.

Im Bereich der Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme ergeben sich insbesondere rechtliche Unsicherheiten in Bezug auf Haftungsfragen im Falle eines Unfalls. **Gurney 2017** weist darauf hin, dass die Haftung in den meisten Ländern weiterhin beim Fahrzeughalter oder Hersteller liegt, obwohl KI-Systeme zunehmend autonome Entscheidungen treffen. Diese Unsicherheiten könnten die Einführung von KI in sicherheitskritischen Systemen verzögern, da klare gesetzliche Regelungen fehlen. Ein weiteres rechtliches Problem ist der Datenschutz. Die Verarbeitung großer Mengen an personenbezogenen Daten durch KI-Systeme in Fahrerassistenzsysteme stellt eine erhebliche Herausforderung für den Schutz der Privatsphäre dar, insbesondere in Ländern mit strengen Datenschutzgesetzen wie der EU.

Das autonome Fahren bringt zusätzliche rechtliche Herausforderungen mit sich, insbesondere in Bezug auf die Fragen der Zulassung und der Haftung. **Murphey 2023** weist darauf hin, dass es derzeit keine einheitlichen Regelungen für die Zulassung autonomer Fahrzeuge gibt, was die Markteinführung dieser Technologien erheblich erschwert. Zudem bleibt die Frage der Haftung im Falle eines Unfalls ungeklärt, was zu weiteren rechtlichen Unsicherheiten führt. Die internationale Koordination der Rechtsvorschriften stellt ebenfalls eine Herausforderung dar, da unterschiedliche Zulassungsanforderungen in verschiedenen Ländern die Entwicklung und den Einsatz autonomer Fahrzeuge auf globaler Ebene erschweren.

Die Herausforderungen im Zusammenhang mit der internationalen Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen betreffen vor allem die unterschiedlichen nationalen Vorschriften und Standards. **Winner 2015** betont, dass die Fragmentierung der Rechtsvorschriften die Entwicklung einheitlicher globaler Systeme behindert und die Markteinführung verzögert. Die Einhaltung unterschiedlicher Sicherheits- und Emissionsstandards in verschiedenen Ländern zwingt die Hersteller, ihre Systeme an die jeweiligen regionalen Anforderungen anzupassen, was die Entwicklungskosten erhöht und die Markteinführung verlangsamt.

Auch die MMI birgt rechtliche Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf die Haftung im Falle eines Unfalls, der durch ein Missverständnis zwischen Mensch und Maschine verursacht wird. **Bengler 2021** hebt hervor, dass es derzeit keine einheitlichen Regelungen gibt, die in allen Ländern gelten, was zu rechtlichen Unsicherheiten führt. Darüber hinaus stellt der Datenschutz eine weitere

Herausforderung dar, da moderne Fahrerassistenzsysteme eine große Menge an Daten über das Verhalten und die Präferenzen der Fahrer sammeln.

Um die regulatorischen und rechtlichen Herausforderungen im Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt zu bewältigen, sollten internationale Standards entwickelt werden, die in allen Ländern einheitlich angewendet werden können. **Seiffert 2021** betont, dass eine engere Zusammenarbeit zwischen den nationalen Regierungen und internationalen Organisationen notwendig ist, um sicherzustellen, dass die Umweltvorschriften harmonisiert und die Entwicklung umweltfreundlicher Fahrerassistenzsysteme gefördert werden. Darüber hinaus sollten Anreize für Hersteller geschaffen werden, die besonders umweltfreundliche Technologien entwickeln, etwa durch steuerliche Vorteile oder Subventionen.

Zur Bewältigung der rechtlichen Herausforderungen bei der Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme empfiehlt **Gurney 2017** die Entwicklung klarer Haftungsregelungen, die die Verantwortung für Entscheidungen von KI-Systemen eindeutig festlegen. Dies könnte durch die Einführung spezifischer Gesetze für KI-Entscheidungen erreicht werden, die die Haftung zwischen dem Hersteller, dem Softwareentwickler und dem Fahrzeughalter aufteilen. Darüber hinaus sollten strenge Datenschutzrichtlinien entwickelt werden, die den Schutz der persönlichen Daten gewährleisten und gleichzeitig die Entwicklung fortschrittlicher KI-Systeme ermöglichen.

Um die rechtlichen Herausforderungen des autonomen Fahrens zu bewältigen, schlägt **Murphey 2023** vor, internationale Abkommen und Standards zu entwickeln, die die Zulassung und den Betrieb autonomer Fahrzeuge regeln. Dies könnte durch die Zusammenarbeit internationaler Organisationen wie der UN-ECE und der ISO erreicht werden. Zudem sollten klare Haftungsregelungen entwickelt werden, die die Verantwortung zwischen den verschiedenen Akteuren eindeutig festlegen und dadurch rechtliche Unsicherheiten minimieren.

Im Hinblick auf die internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen betont **Winner 2015**, dass internationale Standards und Vorschriften entwickelt werden sollten, die in allen Ländern einheitlich angewendet werden können. Die Entwicklung globaler Test- und Zertifizierungsverfahren würde es den Herstellern

ermöglichen, ihre Systeme global zu vermarkten und gleichzeitig sicherzustellen, dass Sicherheits- und Umweltstandards weltweit eingehalten werden.

Schließlich empfiehlt **Bengler 2021** zur Bewältigung der rechtlichen Herausforderungen der MMI die Entwicklung klarer Haftungsregelungen, die die Verantwortung zwischen dem Hersteller und dem Fahrer eindeutig festlegen. Darüber hinaus sollten strenge Datenschutzrichtlinien entwickelt werden, die den Schutz der persönlichen Daten gewährleisten und gleichzeitig die Entwicklung fortschrittlicher MMI-Systeme ermöglichen. Internationale Standards für die Gestaltung von MMI sollten entwickelt werden, um die Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit der Systeme weltweit zu gewährleisten.

5 Fazit und Ausblick

Fazit

In dieser Arbeit, die sich auf eine umfassende Analyse der rechtlichen Vorgaben und ethischen Überlegungen bei der Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen im Automobilbau konzentriert, wurden verschiedene methodische Ansätze genutzt, um die zentrale Forschungsfrage zu beantworten:

Welche rechtlichen Vorgaben und ethischen Überlegungen müssen bei der Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen berücksichtigt werden, und inwiefern beeinflussen diese die Gestaltung und Einführung dieser Technologien?

Durch die gezielte Untersuchung der rechtlichen Rahmenbedingungen und ethischen Prinzipien, die für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen relevant sind, wurde ein systematischer Analyseansatz entwickelt. Dieser ermöglichte es, die wesentlichen Herausforderungen in den Bereichen Nachhaltigkeit und Umwelt, Integration von Künstlicher Intelligenz, autonomes Fahren, internationale Harmonisierung von Fahrerassistenzsystemen sowie Mensch-Maschine-Interaktion zu identifizieren und differenziert zu bewerten.

Die Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen ist mit komplexen ethischen und rechtlichen Herausforderungen verbunden, die sich in verschiedenen Aspekten manifestieren. Die Analyse zeigt, dass nachhaltige und umweltfreundliche Technologien entwickelt werden müssen, um den gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden und ökologische Ziele zu erreichen. Die verschärften Emissionsgrenzwerte der Europäischen Union zwingen die Hersteller dazu, innovative Lösungen zu entwickeln, um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge zu erhalten. Dies erfordert erhebliche Investitionen in Forschung und Entwicklung, insbesondere in Bereiche wie energieeffiziente Antriebssysteme, Leichtbaumaterialien und umweltfreundliche Produktionsprozesse.

Die Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme wirft komplexe ethische Fragen auf, insbesondere hinsichtlich der Verantwortung und Entscheidungsfindung in kritischen Situationen. KI-Systeme müssen so programmiert werden, dass sie in unvermeidbaren Unfallsituationen ethisch vertretbare Entscheidungen treffen. Dies erfordert die

Entwicklung von ethischen Leitlinien und Algorithmen, die menschliche Werte und Normen berücksichtigen. Zudem sind klare rechtliche Rahmenbedingungen notwendig, um Haftungsfragen zu klären und das Vertrauen der Nutzer zu gewinnen. Ohne eindeutige gesetzliche Regelungen besteht die Gefahr, dass Unsicherheiten bezüglich der Verantwortung bei Unfällen mit KI-basierten Systemen entstehen, was die Akzeptanz dieser Technologien beeinträchtigen könnte.

Das autonome Fahren steht vor ähnlichen Herausforderungen, insbesondere bezüglich Zulassung und Haftung. Derzeit fehlen einheitliche internationale Regelungen für die Zulassung autonomer Fahrzeuge, was die Entwicklung und den Einsatz dieser Technologie erschwert. Unterschiedliche nationale Gesetze und Vorschriften führen zu einer Fragmentierung des Marktes, die die Hersteller dazu zwingt, ihre Systeme an die jeweiligen regionalen Anforderungen anzupassen. Dies erhöht nicht nur die Entwicklungskosten, sondern verzögert auch die Markteinführung innovativer Technologien. Die Haftungsfrage im Falle von Unfällen mit autonomen Fahrzeugen ist ebenfalls ungeklärt, was rechtliche Unsicherheiten schafft und das Vertrauen der Verbraucher beeinträchtigen kann.

Die internationale Harmonisierung von Standards ist essenziell, um globale Sicherheitsstandards zu gewährleisten und den internationalen Handel mit Fahrerassistenzsystemen zu erleichtern. Allerdings wird dieser Prozess durch unterschiedliche nationale Vorschriften und Standards erschwert. Die Vereinheitlichung von Sicherheitsstandards, Testverfahren und Zulassungsprozessen erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen internationalen Organisationen wie der UN-ECE, der ISO und den nationalen Regierungen. Ohne eine solche Harmonisierung besteht die Gefahr, dass Sicherheitslücken entstehen und die globale Einführung sicherer und effizienter Fahrerassistenzsysteme behindert wird.

Die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) muss so gestaltet werden, dass sie intuitiv und sicher ist, wobei Datenschutz und Verantwortlichkeit zentrale Aspekte sind. Die Gestaltung von Benutzeroberflächen und Interaktionsmechanismen spielt eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz und Sicherheit von Fahrerassistenzsystemen. Fehlende Standards und unklare rechtliche Regelungen bezüglich der Verantwortung bei Missverständnissen zwischen Fahrer und System können zu Unsicherheiten führen und das Vertrauen der Nutzer beeinträchtigen. Zudem stellt die Sammlung und Verarbeitung großer Mengen an personenbezogenen Daten durch diese Systeme eine

Herausforderung für den Datenschutz dar. Strenge Datenschutzrichtlinien und transparente Datennutzungspraktiken sind erforderlich, um die Privatsphäre der Nutzer zu schützen und gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden.

Insgesamt konnte die Arbeit zeigen, dass die Entwicklung und Implementierung von Fahrerassistenzsystemen mit zahlreichen rechtlichen und ethischen Herausforderungen verbunden ist, die umfassend adressiert werden müssen, um eine sichere, effiziente und ethisch vertretbare Nutzung dieser Technologien im Automobilbau zu gewährleisten. Nur durch eine ganzheitliche Herangehensweise, die technologische Innovation mit ethischer Reflexion und rechtlicher Klarheit verbindet, können nachhaltige und ethisch akzeptable Lösungen für die zukünftige Mobilität geschaffen werden. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Regierungen, Forschungseinrichtungen und der Gesellschaft insgesamt, um sicherzustellen, dass die entwickelten Technologien sowohl den gesetzlichen Anforderungen entsprechen als auch die ethischen Überlegungen und gesellschaftlichen Werte reflektieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit unterstreichen die Notwendigkeit, die rechtlichen Rahmenbedingungen kontinuierlich an den technologischen Fortschritt anzupassen und ethische Leitlinien zu entwickeln, die die Verantwortung und Vertrauenswürdigkeit von Fahrerassistenzsystemen stärken. Nur so kann gewährleistet werden, dass diese Systeme nicht nur technische Innovationen darstellen, sondern auch einen positiven Beitrag zur Sicherheit, Nachhaltigkeit und gesellschaftlichen Entwicklung leisten.

Ausblick

Die zukünftige Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen wird maßgeblich davon abhängen, inwieweit es gelingt, die identifizierten technologischen, gesellschaftlichen und rechtlichen Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen. Strengere Emissionsvorschriften werden die Automobilhersteller weiterhin dazu zwingen, in umweltfreundliche Technologien zu investieren und innovative Lösungen zu entwickeln. Dies umfasst nicht nur die Optimierung der Antriebstechnologien und die Verbesserung der Energieeffizienz von Fahrzeugen, sondern auch die verstärkte Verwendung von nachhaltigen Materialien und die Implementierung von Kreislaufwirtschaftskonzepten in der Produktion. Die Entwicklung neuer Leichtbaumaterialien und die Integration von recycelten Werkstoffen können dazu

beitragen, den Ressourcenverbrauch zu reduzieren und den ökologischen Fußabdruck der Fahrzeuge zu minimieren.

Die Integration von KI in Fahrerassistenzsysteme wird weiter zunehmen und dabei immer komplexere Aufgaben übernehmen. Der Fokus wird verstärkt auf Transparenz, Fairness und Haftung liegen, um das Vertrauen der Nutzer zu gewinnen und rechtliche Unsicherheiten zu minimieren. Die Entwicklung von erklärbaren KI-Systemen (Explainable AI) wird es ermöglichen, die Entscheidungsprozesse der Algorithmen nachvollziehbar zu machen. Dies ist besonders wichtig, um ethische Standards einzuhalten und Bias in den Algorithmen zu vermeiden. Zudem wird die Etablierung klarer Haftungsregelungen erforderlich sein, die die Verantwortung bei Unfällen eindeutig festlegen und so die rechtliche Grundlage für den Einsatz von KI in sicherheitskritischen Systemen schaffen.

Autonomes Fahren wird durch internationale Kooperation und harmonisierte Regelungen gefördert werden. Die Entwicklung einheitlicher internationaler Standards und gesetzlicher Rahmenbedingungen ist entscheidend, um die Zulassung und den Betrieb autonomer Fahrzeuge weltweit zu ermöglichen. Dies beinhaltet die Harmonisierung von Sicherheitsstandards, Testverfahren und Zulassungsprozessen. Durch die Zusammenarbeit von internationalen Organisationen wie der UN-ECE, der ISO und den nationalen Regierungen können globale Standards geschaffen werden, die die Entwicklung und Einführung autonomer Fahrzeuge beschleunigen. Die Klärung von Haftungsfragen und die Entwicklung neuer Versicherungsmodelle werden notwendig sein, um rechtliche Unsicherheiten zu beseitigen und das Vertrauen der Verbraucher in diese Technologien zu stärken.

Die MMI wird durch die Entwicklung adaptiver und personalisierter Schnittstellen weiter verbessert werden, um die Akzeptanz und Sicherheit der Systeme zu erhöhen. Diese Schnittstellen werden in der Lage sein, sich an die individuellen Bedürfnisse und Präferenzen der Nutzer anzupassen, was zu einer intuitiveren und effizienteren Interaktion führt. Fortschritte in der Kognitionswissenschaft und der Benutzerforschung werden dazu beitragen, Benutzeroberflächen zu gestalten, die die Aufmerksamkeit des Fahrers optimal unterstützen und Ablenkungen minimieren. Die Integration von Spracherkennung, Gestensteuerung und haptischem Feedback kann die Bedienung der Systeme erleichtern und die Benutzerfreundlichkeit steigern. Zudem wird der Schutz personenbezogener Daten eine zentrale Rolle spielen, um das Vertrauen der

Nutzer in die neuen Technologien zu stärken und den gesetzlichen Datenschutzanforderungen gerecht zu werden.

Letztlich erfordert die erfolgreiche Gestaltung einer nachhaltigen und verantwortungsvollen Mobilität der Zukunft eine enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Regierungen, Forschungseinrichtungen und der Gesellschaft insgesamt. Die Industrie muss kontinuierlich in Forschung und Entwicklung investieren, um innovative Lösungen zu finden und umzusetzen. Regierungen sind gefordert, rechtliche Rahmenbedingungen zu schaffen, die Innovation fördern und gleichzeitig Sicherheit und Datenschutz gewährleisten. Forschungseinrichtungen spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer Technologien und der Bewertung ihrer Auswirkungen. Die Gesellschaft sollte aktiv in den Diskussionsprozess eingebunden werden, um Akzeptanz zu schaffen und sicherzustellen, dass die entwickelten Technologien den Bedürfnissen und Werten der Menschen entsprechen. Bildungs- und Umschulungsprogramme können dazu beitragen, den Übergang zu einer neuen Mobilitätsära sozial verträglich zu gestalten und die Chancen der Digitalisierung für alle zugänglich zu machen.

Durch diese ganzheitliche Herangehensweise können die Potenziale von Fahrerassistenzsystemen voll ausgeschöpft und gleichzeitig die Herausforderungen bewältigt werden, um eine sichere, effiziente und nachhaltige Mobilität für kommende Generationen zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

- ADAC 2024** ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB: *Daten im Auto: Fluch oder Segen?*, 2024 2019 – URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/assistenzsysteme/daten-modernes-auto/> (18.07.2024)
- ADAC 2023** ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB: Updates over the air: Wie das Auto per Software aufgefrischt wird, 2023 – URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/reparatur-pflege-wartung/reparatur-rueckruf/updates-over-the-air/> (29.07.2024)
- Audi 2021** AUDI: *Audi e-tron GT quattro*, 2021 – URL: <https://www.audi-mediacybercenter.com/de/fotos/detail/audi-e-tron-gt-quattro-98512> (04.08.2024)
- BMDV 2015** BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR: *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren*. - broschuere-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf (bund.de) (16.08.2024)
- BMDV 2021** BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR: *Automatisiertes und vernetztes Fahren*, 2021 - URL: <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>, (04. 06.2024)
- BMW 2024** BMW: *BMW iDRIVE MIT QUICK SELECT*, 2024 – URL: <https://www.bmw.de/de/topics/service-zubehoer/bmw-connecteddrive/bmw-idrive.html> (16.08.2024)
- BMW AG 2024** BMW AG: *Der BMW i Vision Circular*, 2024 – URL: <https://www.bmw.de/de/topics/faszination-bmw/bmw-concept-cars/bmw-i-vision-circular-ueberblick.html> (12.09.2024)
- Bosch 2024** ROBERT BOSCH GMBH: *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2024, S. 1804 – 1850
- Burkacky 2018** BURKACKY, Ondrej: *Cybersecurity in automotive*. 2020 S. 6 - 10
- CARIAD 2023** CARIAD: *VW.os: The heart of our tech stack*, 2023 – URL: [VW.os software platform explained | CARIAD](https://www.vw.com/en/technology/cariad/vw-os-software-platform-explained) (15.08.2024)
- Chen 2018** CHEN, Nanding: *Waymo v. Uber: Surprise Settlement Five Days into Trial*, 2018 – URL: <https://jolt.law.harvard.edu/digest/waymo-v-uber-surprise-settlement-five-days-into-trial> (12.08.2024)

- Destatis 2020** STATISTISCHES BUNDESAMT: *Gesellschaft und Umwelt – Verkehrsunfälle, 2020* – URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/_inhalt.html (17.08.2024)
- Destatis 2023** STATISTISCHES BUNDESAMT: *Durchschnittlich 8 Tote und 1 004 Verletzte pro Tag im Straßenverkehr im Jahr 2023, 2023* – URL: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/07/PD24_261_46241.html#:~:text=Pressemitteilung%20Nr.,261%20vom%205.%20Juli%2024&text=WIESBADEN%20%E2%80%93%20Im%20Jahr%202023%20sind,Gesetze%20mehr%20als%20im%20Vorjahr. (11.08.2024)
- Darms 2015** DARMS, Michael: In: SINGER, Christina (Hrsg.) *Vieweg Handbuch Fahrerassistenzsysteme* Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015 S. 439 – 450
- Desjaridns** DESJARDINS, Jeff: *How Many Millions of Lines of Code Does It Take?*, 2017 – URL: <https://www.visualcapitalist.com/millions-lines-of-code/> (01.08.2024)
- DPMA 2023** DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT: *Jahresbericht 2023*, - URL: https://www.dpma.de/digitaler_jahresbericht/2023/assets23/pdf/jahresbericht2023.pdf (27.06.2024)
- Euro NCAP 2024** EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME: *ASSESSMENT PROTOCOL – SAFETY ASSIST SAFE DRIVING, 2024* - URL: <https://www.euroncap.com/media/80158/euro-ncap-assessment-protocol-sa-safe-driving-v104.pdf> (27.09.2024)
- Euro NCAP 2024** EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME: *TEST PROTOCOL – AEB Car-to-Car systems, 2024* - URL: EURO NCAP AEB C2C TEST PROTOCOL - V4.3.1 (27.09.2024)
- Europäische Kommission 2018** EUROPÄISCHE KOMMISSION: *Auf dem Weg zu automatisierter Mobilität: Eine EU-Strategie für die Mobilität der Zukunft*, 2018 – URL: https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2018/0101-0200/185-18.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (19.09.2024)
- ESA 2023** EUROPEAN SPACE AGENCY: *What is Galileo?*, 2023 – URL: https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/What_is_Galileo (18.07.2024)
- Evans 2020** EVANS, Katherine: *Ethical Decision Making in Autonomous Vehicles: The AV Ethics Project*, 2020 S. 3287 – 3289
- Ford 2021** FORD: *Wie funktioniert der Fahrspurhalte-Assistent?*, 2021 URL: <https://www.ford.de/hilfe/anleitungen/technologie/fahrerassistenzsysteme/wie-funktioniert-der-spurhalteassistent> (25.09.2024)

- Fuchs 2015** FUCHS, Hendrik: In: SINGER, Christina (Hrsg.) *Vieweg Handbuch Fahrerassistenzsysteme* Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015 S.
- Funk 2023** FUNK, Michael: *Ethik künstlicher Intelligenz*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2023 S. 4 - 9
- Gundlach 2021** GUNDLACH, Ingmar: *Zeitoptimale Trajektorienplanung für automatisiertes Fahren bis in den fahrdynamischen Grenzbereich*, (2020)
- Gurney 2017** GURNEY, Jeffrey: *SUE MY CAR NOT ME: PRODUCTS LIABILITY AND ACCIDENTS INVOLVING AUTONOMOUS VEHICLES*, 2017 S. 255 - 260
- Gorzelany 2017** GORZELANY, Jim: *Autonomes Fahren: Alles über Teslas Autopilot*, 2017 – URL: <https://de.motor1.com/news/333883/teslas-autopilot-autonomes-fahren/> (14.09.2024)
- Götze et al. 2023** GÖTZE, Martin; WITT, Manuela; WILLER, Nina: *Gebrauchssicherheit und automatisiertes Fahren unter Berücksichtigung der neuen ISO 21448* In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 125 (2023)
- Warren 2014** WARREN Dan: *Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile*, London: GSMAi 2014 S. 5-8
- Hakuli et al. 2015** HAKULI; Stephan, LOTZ, Felix; WINNER, Hermann In: SINGER, Christina (Hrsg.) *Vieweg Handbuch Fahrerassistenzsysteme* Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015
- Hannon 2020** HANNON, Eric: *The zero-carbon car: Abating material emissions is next on the agenda*, 2020 – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-zero-carbon-car-abating-material-emissions-is-next-on-the-agenda> (30.08.2024)
- Heinze 2023** HEINZE, Hendrik: *Rechtsgebiete des deutschen Rechts*, 2023 – URL: *Rechtsgebiete des deutschen Rechts - Akademie Kraatz - Ihr juristisches Repetitorium* (akademie-kraatz.de) (31.08.2024)
- Holdsworth 2023** HOLDSWORTH, James: *Was ist KI-Bias?*, 2023: – URL: <https://www.ibm.com/de-de/topics/ai-bias>, (05.09.2024)
- Homeier et al. 2023** HOMEIER, Roland; JENTSCH, Roland; JÜLGE, Katharina: In: STILLER, Christoph (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Assistiertes und Automatisiertes Fahren*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, S. 1007 – 1009
- Honda 2021** HONDA, *Honda SENSING Elite Traffic Jam Pilot, 2021* – URL: https://global.honda/en/tech/Traffic_Jam_Pilot_TJP/ (27.09.2024)

- Huhn et al.** HUH, Wolfgang; KHANH, Tran Quoc In: SINGER, Christina (Hrsg.) *Vieweg Handbuch Fahrerassistenzsysteme* Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015
- IEA 2023** INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: *Energy Technology Perspectives 2023*, 2023 – URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>, (15.09.2024)
- IONOS 2020** IONOS DIGITAL GUIDE: *Code Review: Methoden und Tools vorgestellt*, 2020 – URL: <https://www.ionos.de/digitalguide/websites/web-entwicklung/quellcode/> (30.07.2024)
- Jung 2020** JUNG, Frank: *Mehr Sicherheit durch automatisiertes Fahren: In: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift*, 122 (2020)
- KBA** KRAFTFAHRT-BUNDESAMT: *Automatisierungsstufen*, 2024 – URL: https://www.kba.de/DE/Themen/Marktueberwachung/Produktpruefungen/AutomatisiertesAutonomesFahren/Automatisierungsstufen/Automatisierungsstufen_node.html (28.09.2024)
- Kersken 2015** KERSKEN, Ulrich: In: SINGER, Christina (Hrsg.) *Vieweg Handbuch Fahrerassistenzsysteme* Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015 S. 1050 – 1057
- Kfztech** KFZTECH: *Elektronisches Stabilitätsprogramm ESP*, 2024 – URL: <https://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/ESP.htm> (28.07.2024)
- Knake-Langhorst 2019** KNAKE-LANGHORST, Sascha: *Automatisiertes und vernetztes Fahren*, 2019 – URL: Microsoft PowerPoint - 02_Automatisiertes-Fahren.pptx (ptb.de) (13.04.2024)
- Knecht 2020** KNECHT, Jochen: *Auto-Hersteller kämpfen ums digitale Überleben*, 2020 – URL: <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/betriebssysteme-auto-tesla-google-vw-daimler-bmw/> (10.08.2024)
- Lalli 2023** LALLI, Marco: *Autonomes Fahren und die Zukunft der Mobilität*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2023
- Leddartech 2019** STROH, Iris: *Lidar versus Kamera*, 2019 – URL: <https://www.elektroniknet.de/automotive/assistenzsysteme/lidar-versus-kamera.165405.html> (13.07.2024)
- Lienkamp 2012** LIENKAMP, Markus: *Spielend Fahren: Gamification-Konzept für Fahrerassistenzsysteme*, 2012 – URL: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1129558/1129558.pdf> (21.08.2024)
- Mehrabi 2022** MEHRABI, Ninareh: *A Survey on Bias and Fairness in Machine Learning*, 2022 – URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/0090023afc66cd2741568599057f4e82b566137c> (09.09.2024)

- MeinAuto 2024** MEINAUTO LEXIKON: *Antiblockiersystem (ABS)*, 2024 – URL: <https://www.meinauto.de/lp/lexikon/antiblockiersystem> (25.07.2024)
- Meitinger 2022** MEITINGER, Thomas Heinz: *Grundlagen von Patentstrategien*, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2022 S. 7 – 9
- Mercedes-Benz AG 2022** MERCEDES-BENZ AG: *Sensorik des Mercedes-Benz S-Klasse mit DRIVE PILOT*, 2022 - URL: <https://group.mercedes-benz.com/bilder/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/drive-pilot/drivepilot-sensoren-w1920xh1080-cutout.jpg>
- Mökander 2023** MÖKANDER, Jakob: *Auditing of AI: Legal, Ethical and Technical Approaches*, S. 11 - 17
- Murphey 2023** MURPHEY, Yi Lu: *AI-enabled Technologies for Autonomous and Connected Vehicles*. Cham: Springer Nature Switzerland
- OECD 2019** OECD: *AI principles*, 2019 – URL: <https://www.oecd.org/en/topics/sub-issues/ai-principles.html> (29.08.2024)
- NXP 2017** ORS, ALI OSMAN: *Choosing the Optimum Mix of Sensors for Driver Assistance and Autonomous Vehicles*, 2017 – URL: <https://www.edge-ai-vision.com/2017/07/choosing-the-optimum-mix-of-sensors-for-driver-assistance-and-autonomous-vehicles-a-presentation-from-nxp-semiconductors/> (04.07.2024)
- Othman 2021** OTHMAN, Kareem: *Impact of Autonomous Vehicles on the Physical Infrastructure: Changes and Challenges*, 2021 – URL: <https://www.mdpi.com/2411-9660/5/3/40>, (06.09.2024)
- Peters 2023** PETERS, Steven: *Automatisiertes Fahren – Stand der Technik und Sinnhaftigkeit*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2023
- Petric 2022** PETRLIC, Ronald: *Datenschutz*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2022 S. 165 - 167
- Pfaller 2013** PFALLER, Wolfgang: *Entstehung des Patentwesens*, 2013 – URL: <http://www.wolfgang-pfaller.de/> (20.09.2024)
- Reif 2014** REIF, Konrad: *Automobilelektronik*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2014
- Redavid 2023** REDAVID, Fischer: *The Legal Implications of Autonomous Vehicles*, 2023 – URL: <https://www.frtriallawyers.com/blog/2023/august/the-legal-implications-of-autonomous-vehicles/> (18.09.2024)
- Renault 2022** RENAULT: *VERNETZUNG IM VERKEHR: WENN DAS AUTO MIT AMPEL UND FAHRZEUGEN „SPRICHT“*, 2022 – URL: [HTTPS://BLOG.RENAULT.DE/RATGEBER-VERNETZUNG-IM-VERKEHR-WENN-DAS-AUTO-MIT-AMPEL-UND-FAHRZEUGEN-SPRICHT/](https://blog.renault.de/ratgeber-vernetzung-im-verkehr-wenn-das-auto-mit-ampel-und-fahrzeugen-spricht/) (18.09.2024)

- Roadsafetyfacts 2019** ROADSAFETYFACTS: *Passive safety systems: what are they and how do they work?*, 2019 – URL: <https://roadsafetyfacts.eu/passive-safety-systems-what-are-they-and-how-do-they-work/> (11.07.2024)
- SAE International 2021** SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS INTERNATIONAL: *SAE Levels of Driving Automation*, 2021 – URL: <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update> (02.09.2024)
- Schick et al. 2019** SCHICK, Bernhard; FUHR, Florian; HÖFER, Manuel: *Attribute-based Development of Advanced Driver Assistance Systems*. ATZ Worldwide 121, (2019)
- Schöneburg 2019** SCHÖNEBURG, Rodolfo: *DAIMLER Auf dem Weg zum unfallfreien Fahren – Sicherheitsstrategie von Mercedes-Benz*, 2019 S. 1-4
- Schulze 2021** SCHULZE, Sabine: *Recht soll den technischen Fortschritt fördern*, 2021 – URL: <https://aktuell.uni-bielefeld.de/2021/09/16/recht-soll-den-technischen-fortschritt-fordern/> (24.08.2024)
- Seat 2021** SEAT: *Dynamisches Kurvenlicht – das Plus an Sicherheit*, 2021 – URL: <https://www.seat.de/service-zubehoer/technik-lexikon/d/dynamisches-kurvenlicht> (02.08.2024)
- Spiegel 2013** STOCKBURGER, Christoph: *Mensch gegen Maschine*, 2013 – URL: <https://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/rechtliche-und-ethische-fragen-zum-automatisierten-fahren-a-905181.html> (17.07.2024)
- Sullivan 2012** SULLIVAN, John: *Materials challenges and opportunities for enhancing the sustainability of automobiles*, 2012 S. 365 - 371
- Tesla 2021** TESLA: *Tesla AI Day 2021 Presentation*. - URL: <https://www.youtube.com/watch?v=j0z4FweCy4M> (13.08.2024)
- Tesla 2023** TESLA: *Autopilot*, 2023 – URL: https://www.tesla.com/de_DE/autopilot
- Tiedemann 2022** TIEDEMANN, Yannick: *Warum Software die Fahrzeugentwicklung auf den Kopf stellt*, 2022 – URL: <https://www.automotiveit.eu/strategy/warum-software-die-fahrzeugentwicklung-auf-den-kopf-stellt-455.html> (03.08.2024)
- Viscelli 2018** VISCCELLI, Steve: *Driverless? Autonomous Trucks and the Future of the American Trucker*, 2018 – URL: *Driverless? Autonomous Trucks and the Future of the American Trucker* - UC Berkeley Labor Center (23.09.2024)
- VW 2024** VOLKSWAGEN: *Der ID.4 GOAL*, 2024 – URL: <https://www.volkswagen.de/de/modelle/id4-goal.html> (19.08.2024)

- VW 2024** VOLKSWAGEN: *Volkswagen richtet Technische Entwicklung neu aus: mehr Tempo bei Produktzyklen und digitalen Angeboten*, 2024 – URL: <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/volkswagen-richtet-technische-entwicklung-neu-aus-mehr-tempo-bei-produktzyklen-und-digitalen-angeboten-7768> (29.08.2024)
- Weiß 2021** WEIß, Marc: *Beeinflussung der Verkehrssicherheit durch Fahrerassistenzsysteme und das automatisierte Fahren*, 2021 In: *Forschung im Ingenieurwesen*, 4 (2021), S. 957, 959
- Werner 2021** WERNER, Micha: *Einführung in die Ethik*. Berlin: J. B. Metzler, 2021
- Winkelhake 2022** Winkelhake, Uwe: *Die digitale Transformation der Automobilindustrie*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2022
- Winner et al. 2021** WINNER, Hermann; BENGLER, Klaus; DIETMAYER, Klaus; ECKSTEIN, Lutz; STILLER, Christoph: In: PISCHINGER, Stefan (Hrsg.); SEIFFERT, Ulrich (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2021, S. 1099 – 1072
- Winner et al. 2023** WINNER, Hermann; DIETMAYER, Klaus; ECKSTEIN, Lutz; MAURER, Marcus: In: STILLER, Christoph (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Assistiertes und Automatisiertes Fahren*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2023, S. 730-735

Eigenständigkeitserklärung –



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

| <u>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit</u> | | |
|---|------------|--------------------------|
| Hiermit versichere ich, | | |
| Name: | Barak | |
| Vorname: | Seyyid | |
| dass ich die vorliegende Bachelorarbeit <input checked="" type="checkbox"/> bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema: | | |
| Analyse und Bewertung der rechtlichen, ethischen und technologischen Anforderungen bei der Implementierung von Fahrerassistenzsystemen im Automobilbau | | |
| ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht. | | |
| <i>- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -</i> | | |
| Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch: | | |
| Hamburg | 02.10.2024 | |
| Ort | Datum | Unterschrift im Original |