



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Reza Rahmatian

Marktentwicklung des autonomen Fahrens

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Reza Rahmatian

**Marktentwicklung des autonomen
Fahrens**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau und Produktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr. Thomas Richters
Zweitprüferin: Dipl. Soz. Wirtin Renate Schwarz

Abgabedatum: 15.11.2024

Zusammenfassung

Reza Rahmatian

Thema der Bachelorthesis

Marktentwicklung des autonomen Fahrens

Stichworte

Autonomes Fahren, Fahrassistenzsysteme, Automatisierung, Automobilindustrie, Geschäftsmodelle, Wertschöpfungskette, Marktentwicklung, Digitalisierung, vernetzte Mobilität, Unternehmensstrategien, Marktprognosen

Kurzzusammenfassung

Diese Bachelorarbeit untersucht die Marktentwicklung des autonomen Fahrens. In diesem Rahmen erfolgt zunächst die Darstellung technologischer Grundlagen sowie die Betrachtung des aktuellen Standes des autonomen Fahrens. Gegenstand dieser Betrachtung sind neben der aktuellen Wahrnehmung der Gesellschaft, die derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen in relevanten Märkten sowie der aktuelle technische Stand autonomer Systeme in Fahrzeugen. Daraufhin werden die Zukunftsperspektiven des autonomen Fahrens betrachtet. Dies umfasst eine umfassende Analyse relevanter Marktprognosen sowie mögliche Entwicklungsszenarien im Mobilitätsverhalten der Menschen. Darauf aufbauend werden mögliche Einführungsszenarien und sich daraus ergebende neue Akteure in der Fahrzeugindustrie dargestellt. Weiterhin erfolgt im Rahmen dieser Bachelorarbeit eine Analyse möglicher Veränderungen durch das autonome Fahren auf Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten traditioneller Automobilhersteller.

Title of the paper

Market development of autonomous driving

Keywords

autonomous driving, driving assistance systems, automation, automotive industry, business models, value chain, market development, digitization, connected mobility, business strategy, market predictions

Abstract

This bachelor's thesis analyses the market development of autonomous driving. It begins by presenting the technological fundamentals and analysing the current state of autonomous driving. In addition to the current perception of society, the current legal regulations in relevant markets and the current technical state of autonomous systems in vehicles are also analysed. The future perspectives of autonomous driving are then analysed. This includes a comprehensive analysis of relevant market forecasts and possible development scenarios in people's mobility behaviour. Based on this, possible implementation scenarios and the resulting new players in the vehicle industry are presented. Furthermore, this bachelor's thesis analyses possible changes to the business models and value chains of traditional car manufacturers as a result of autonomous driving.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
1. Einleitung.....	1
2. Grundlagen.....	2
2.1 Definition und Formen des autonomen Fahrens	2
2.2 Historische Entwicklung.....	5
2.3 Grundlegende Funktionsweise	6
3. Aktueller Stand des autonomen Fahrens	9
3.1 Übersicht über die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland, USA und China.....	9
3.2 Aktueller technischer Stand und beteiligte Unternehmen	12
3.3 Aktuelle Marktsituation und wirtschaftliche Bedeutung	18
3.4 Gesellschaftliche Akzeptanz und Wahrnehmung	21
4. Zukunftsperspektiven des autonomen Fahrens	27
4.1 Marktprognosen	27
4.2 Potenzielle Entwicklungsszenarien.....	30
4.2.1 Mögliche Einführungsszenarien	32
4.3 Langfristige Visionen für das autonome Fahren.....	34
4.4 Herausforderung und Hürden für die Marktdurchdringung.....	35
5. Unternehmerische Konsequenzen	39
5.1 Auswirkung auf Geschäftsmodelle und sich daraus ergebende neue Akteure und Kooperationen	39
5.2 Veränderung der Wertschöpfungskette	42
6. Fazit.....	45
6.1 Haupterkenntnisse.....	45
6.2 Handlungsempfehlungen.....	49
Literaturverzeichnis.....	51
Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit.....	58

Abkürzungsverzeichnis

BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
CAM.....	Center of Automotive Management
DOT	Department of Transportation
ETA.....	Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft
GPS	Global Positioning System
KI	Künstliche Intelligenz
NHTSA.....	National Highway Traffic Safety Administration
PKW.....	Personenkraftwagen
SAE	Society of Automotive Engineers
StVG	Straßenverkehrsgesetz

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht relevanter autonomer Sharing-Anbieter.....	15
--	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Automatisierungsstufen nach der BASt	3
Abbildung 2: Zusammenfassung der Stufen für autonomes Fahren nach SAE	5
Abbildung 3: Übersicht relevanter technologischer Systeme in einem autonomen Fahrzeug	8
Abbildung 4: Anwendungsfälle autonomer Fahrfunktionen je nach Betriebsmodell.....	13
Abbildung 5: Prognosen zum Einsatz von Fahrassistenzsystemen im globalen Fahrzeugbestand.....	14
Abbildung 6: Schätzungen erzielter und zu erzielender Umsätze durch PKWs der Level 1 bis 4 in den Jahren 2022 und 2025 in Milliarden Dollar	19
Abbildung 7: Schätzungen der globalen Marktgröße autonomer Fahrzeuge 2019-2023 in Milliarden Dollar	20
Abbildung 8: Ersetzungsbereitschaft im Szenario: vollautomatisiertes Fahrzeug	22
Abbildung 9: Ersetzungsbereitschaft im Szenario: generell ein autonomes Fahrzeug	23
Abbildung 10: Übersicht der Antworten zur Frage: Können Sie sich vorstellen, ein solch autonomes Fahrzeug zu nutzen?	23
Abbildung 11: Befragungsergebnisse zum Kundeninteresse sowie der Zahlungsbereitschaft für autonome Fahrsysteme von Autofahrern in China	25
Abbildung 12: Globale Entwicklung des Marktvolumens für automatisierte Fahrzeuge (in Milliarden Euro)	28
Abbildung 13: Prognostizierte Umsätze durch PKWs mit Fahrsysteme entsprechend der SAE-Level 1-4 von 2022 bis 2035	29
Abbildung 14: Trend im automobilen Nutzungsverhalten	31
Abbildung 15: Potenziale durch einem autonomen modularen Verkehrssystem	35
Abbildung 16: Befragungsergebnisse zur Frage: Was wird das größte Hindernis für das autonome Fahren sein? von Akteuren in der autonomen Fahrzeugbranche	36
Abbildung 17: Übersicht einer Auswahl agierender Akteure im Bereich autonomer Mobilitätsdienstleistungen	41
Abbildung 18: Übersicht von Kooperationen im Bereich des autonomen Fahrens	42
Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der automobilen Wertschöpfungskette.....	43

1. Einleitung

Die Automobilindustrie in Deutschland hat seit Jahrzehnten einen international hoch anerkannten Ruf und gilt als eine der wichtigsten Industrien der deutschen Wirtschaft. Vor dem Hintergrund technologischer Fortschritte im Bereich des autonomen Fahrens sieht sich die Automobilbranche grundlegenden Veränderungen gegenüber, die möglicherweise traditionelle Strukturen und Geschäftsmodelle beeinflussen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die globale Marktentwicklung des autonomen Fahrens darzustellen und die damit einhergehenden unternehmerischen Konsequenzen darzustellen. Die Untersuchung soll dabei tiefgreifende Einblicke in die Chancen und Herausforderung ermöglichen, die sich durch den Fortschritt des autonomen Fahrens, insbesondere für die deutsche Automobilindustrie, ergeben.

Entsprechend ergibt sich folgende Leitfrage: Welche unternehmerischen Konsequenzen ergeben sich für Automobilhersteller durch die Entwicklung des autonomen Fahrens im PKW-Sektor und wie beeinflussen diese Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten?

Zunächst werden die theoretischen Grundlagen des autonomen Fahrens dargestellt. Darauf aufbauend erfolgt eine Analyse des aktuellen technischen Stands, der derzeitigen Marktsituationen und gesellschaftlichen Wahrnehmung sowie der rechtlichen Rahmendbedingungen in ausgewählten bedeutenden Märkten. Im vierten Kapitel werden die Zukunftsperspektiven betrachtet. Dieses Kapitel beinhaltet die Analyse von Marktprognosen sowie potenzielle Entwicklungsszenarien des autonomen Fahrens. Zusätzlich werden langfristige Visionen und mögliche Herausforderungen für das Erreichen dieser betrachtet. Darauf folgt im fünften Kapitel die Darstellung möglicher Auswirkungen auf klassische Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten der Automobilindustrie erfolgt. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse in einem Fazit zusammengefasst und Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

2. Grundlagen

Bevor im Rahmen dieser Bachelorarbeit eine detaillierte Analyse der Marktentwicklung des autonomen Fahrens erfolgt, ist es zum besseren Verständnis von wesentlicher Bedeutung zunächst die Grundlagen des autonomen Fahrens zu erläutern.

In Rahmen dieses Kapitels wird zunächst eine kurze Begriffsdefinition sowie eine Betrachtung der verschiedenen Formen des autonomen Fahrens vorgenommen. Das Verständnis der unterschiedlichen Automatisierungsstufen bildet dabei die zentrale Grundlage. Im Anschluss wird die historische Entwicklung des autonomen Fahrens dargestellt, worauf die Erklärung der grundlegenden Funktionsweise folgt, welche die wesentlichen Technologien, die das autonome Fahren möglich machen, umfasst.

2.1 Definition und Formen des autonomen Fahrens

Der Begriff „Autonomie“ wurde von Immanuel Kant als „Selbstbestimmung im Rahmen eines übergeordneten (Sitten)-Gesetzes“ [1, S.3] definiert. Angewandt auf das autonome Fahren gibt also der Mensch den Rahmen in Form von Programmierungen des Fahrzeuges vor, während das Fahrzeug innerhalb dieser Vorgaben agiert [1].

Im Rahmen der Veröffentlichung des Berichtes „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ aus dem Jahr 2012, hat es sich die Bundesanstalt für Straßenwesen (kurz: BASt) zum Ziel gemacht, eine „erstmalige Einschätzung der rechtlichen Situation bei zunehmender Fahrzeugautomatisierung im öffentlichen Straßenverkehr“ durchzuführen [2, S. 7]. Im Zuge dessen sind fünf verschiedene Automatisierungsgrade klassifiziert und benannt wurden. Diese fünf Grade automatisierter Fahrfunktionen werden nach der BASt mit folgender Nomenklatur versehen: „Driver Only“, „Assistiert“, „Teilautomatisiert“, „Hochautomatisiert“ und „Vollautomatisiert“ (Abbildung 1). Dabei beschreibt der Automatisierungsgrad „Driver Only“ den Grad 0, in dem sowohl in der Quer- (das Lenken) als auch in der Längsführung (Regelung der Geschwindigkeit) des Fahrzeugs keine Fahrassistenz eingreift. In diesem Automatisierungsgrad ist nur der Fahrer für die Führung des Fahrzeugs verantwortlich. Der Grad 4, mit der Bezeichnung „vollautomatisiert“, beschreibt wiederum die vollautomatisierte Fahrfunktion des Fahrzeugs, bei der das Fahrassistenzsystem alle Systemgrenzen selbstständig erkennt und die Quer- und Längsführung des Fahrzeuges vollständig übernimmt. Hier benötigt es keine Überwachung des Fahrers, sondern ausschließlich ggf. eine Übernahme der Fahraufgabe, wenn das System die Aufforderung dazu sendet [2].

Nomenklatur	Beschreibung Automatisierungsgrad und Erwartung des Fahrers	beispielhafte Systemausprägung
Driver Only	Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigen / Verzögern) und die Querverführung (Lenken) aus.	Kein in die Längs- oder Querverführung eingreifendes (Fahrerassistenz-)System aktiv
Assistiert	Fahrer führt dauerhaft <u>entweder</u> die Quer- <u>oder</u> die Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt. - Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen - Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein	Adaptive Cruise Control: - Längsführung mit adaptiver Abstands- und Geschwindigkeitsregelung Parkassistent: - Querverführung durch Parkassistent (Automatisches Lenken in Parklücken. Der Fahrer steuert die Längsführung.)
Teilautomatisiert	Das System übernimmt Quer- <u>und</u> Längsführung (für einen gewissen Zeitraum und/ oder in spezifischen Situationen). - Der Fahrer muss das System <u>dauerhaft</u> überwachen - Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein	Autobahnassistent: - Automatische Längs- und Querverführung - Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze - Fahrer muss dauerhaft überwachen und bei Übernahmeaufforderung sofort reagieren
Hochautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen. - Der Fahrer muss das System dabei <u>nicht</u> dauerhaft überwachen - Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert - Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen.	Autobahn-Chauffeur: - Automatische Längs- und Querverführung - Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze - Fahrer muss nicht dauerhaft überwachen und nach Übernahmeaufforderung mit gewisser Zeitreserve reagieren
Vollautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall. - Der Fahrer muss das System dabei <u>nicht</u> überwachen - Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf - Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt - Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen	Autobahnpilot: - Automatische Längs- und Querverführung - Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze - Fahrer muss nicht überwachen - Reagiert der Fahrer nicht auf eine Übernahmeaufforderung, so bremst das Fahrzeug in den Stillstand herunter.

Abbildung 1: Automatisierungsstufen nach der BAST [2]

Auf Grundlage dessen hat die SAE International im Jahr 2014 eine erste eigene Fassung in Form der Norm SAE J3016 ausgegeben [3]. Diese Norm beschreibt die Klassifizierung und Definition von Begriffen im Zusammenhang von Fahrautomatisierungssystemen straßengebundener Fahrzeuge [4].

Die aktuellste Version der Norm SAE J3016 stammt aus dem Jahr 2021 (Abbildung 2), wobei sie seit der Veröffentlichung der ersten Ausgabe im Jahr 2014 als international anerkannt und etabliert gilt [3]. Aufbauend auf den fünf Automatisierungsstufen nach der BAST, hat die SAE diese um ein Level erweitert und klar definiert [3]. Die sogenannten SAE-Level (0-5) werden wie folgt genannt: „No Driving Automation“, „Driver Assistance“, „Partial Driving Automation“, „Conditional Driving Automation“, „High Driving Automation“ und letztlich die höchste Automatisierungsstufe „Full Driving Automation“ [4]. Im Folgenden werden diese ausführlich dargestellt.

Das SAE-Level 0 mit der Nomenklatur „No Driving Automation“ beschreibt ein Fahrzeug ohne jegliche automatisierte Fahrfunktionen. Hier ist der Fahrer zu jeder Zeit für alle Tätigkeiten, also der Quer- und Längsführung des Fahrzeugs, verantwortlich, während lediglich Sicherheitssysteme als Unterstützung dienen [4].

„Driver Assistance“ steht für das SAE-Level 1. In dieser Stufe der Fahrzeugautomatisierung ist das System in der Lage, eine Teilaufgabe zu übernehmen, d.h. entweder die Quer- oder Längsführung des Fahrzeugs. Dabei übernimmt der Fahrer die jeweils andere Fahraufgabe. Dabei muss hervorgehoben werden, dass das System etwaige Ereignisse nicht erkennen und somit nicht reagieren könnte, weshalb der Fahrer das Fahrautomatisierungssystem durchgängig beobachten und ggf. sowohl die Quer- als auch die Längsführung übernehmen muss [4].

Das SAE-Level 2 „Partial Driving Automation“ beschreibt die Stufe eines teilautomatisierten Fahrzeugs. Das Fahrzeug ist in der Lage die Quer- und Längsführung zur selben Zeit zu übernehmen. Wie im SAE-Level 1 ist es erforderlich, dass der Fahrer das System durchgängig beobachtet und ggf. die Steuerung des Fahrzeugs übernimmt [4].

Ein Fahrzeug innerhalb des SAE-Level 3 „Conditional Driving Automation“ wiederum, benötigt keine durchgängige Überwachung der Quer- und Längsführung seitens des Fahrers. Im Gegensatz zu den Leveln 1 und 2 erkennt das System die Grenzen ihres Funktionsbereichs selbstständig und fordert den Fahrer bei Bedarf auf, die Leitung des Fahrzeugs zu übernehmen [4].

Die Erweiterung dazu ist das Level 4, „High Driving Automation“, die Fahrautomatisierung. Das automatisierte Fahrsystem benötigt kein Einschreiten des Fahrers. Dennoch ist ein Fahrzeug in dieser Automatisierungsstufe beschränkt auf unter anderem Straßentypen oder Geschwindigkeitsbeschränkungen. Das Fahrzeug kann zum Beispiel vollständig autonom auf der Autobahn fahren und würde beim Ende der Autobahn, auch bei nicht Reaktion des Fahrers, auf einen minimalen Risikozustand zurückkehren [4].

Schließlich definiert das SAE-Level 5, mit der Nomenklatur „Full Driving Automation“, das autonome, fahrerlose Fahren. In dem Fall gelten alle Insassen als Passagiere des Fahrzeugs. Das System führt dauerhaft und bedingungslos die gesamten Fahraufgaben durch. Der Unterschied zum SAE-Level 4 besteht darin, dass das Automatisierungssystem durch keine örtlichen, wetterbedingten oder geographischen Bedingungen beschränkt werden kann. Sollte es zu unvorhersehbaren Ereignissen, wie zum Beispiel überschwemmte oder stark vereiste Straßen kommen, würde das System selbstständig reagieren und dementsprechend handeln [4].



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

	These are driver support features			These are automated driving features	
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions
Example Features	• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Abbildung 2: Zusammenfassung der Stufen für autonomes Fahren nach SAE [5]

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit dienen somit hauptsächlich die SAE-Level 4 und 5 der Fahrautomatisierung als Synonym für das „autonome Fahren“.

2.2 Historische Entwicklung

Die historische Entwicklung des autonomen Fahrens lässt sich bis ins frühe 20. Jahrhundert zurückverfolgen. Der Grund für das Bestreben nach fahrerlosen Fahrzeugen entstand zunächst in den Vereinigten Staaten von Amerika. Dort erfolgte die Ausstattung großer Bevölkerungsteile mit motorisierten Fortbewegungsmitteln in den 1920er Jahren, während es in Europa in den 1950er Jahren begann. Der Verkehr in den USA war in den 1920er Jahren die Ursache für den Tod von 200.000 Bürgern und als Hauptgrund dafür wurde das Fehlverhalten der Autofahrer ausgemacht. Folglich entwickelte sich das Bestreben nach autonomen Automobilen, um die Sicherheit des Straßenverkehrs zu erhöhen [1].

Die ersten technologischen Grundlagen für eine autonome Technik stammen von Lawrence B. Sperry (1892-1923) und dem Militär der Vereinigten Staaten. Lawrence B. Sperry entwickelte den ersten Flugstabilisator, ein System, welches ein Flugzeug automatisiert

ausbalanciert. Das Militär der Vereinigten Staaten hat an der damals neuen Technik der sogenannten Radio guidance (dt.: Funk- oder Fernsteuerung) mitgewirkt. Diese Entwicklung befasste sich beispielhaft mit der Fernsteuerung von Schiffen mit Hilfe von Funkwellen [1]. Auf Grundlage dessen wurden in den 1920er Jahren funkgesteuerte Autos vorgestellt, wobei ein anderes Fahrzeug hinterherfahren musste, um Funksignale an die Sendeantenne zu senden [6].

Nachdem zwischen 1920-1980 verschiedene Universitäten und Automobilhersteller zahlreiche Versuche unternahmen, damit die Wissenschaft autonomer Fahrzeuge voranschreitet, baute Ernst Dieter Dickmanns, ehemaliger Professor an der Universität der Bundeswehr in München, erste roboterbasierte Autos [7]. Ernst Dieter Dickmanns orientierte sich bei der Programmierung am Prinzip des menschlichen Gehirns, in dem die roboterbasierten Autos Objekte in ihrer Umgebung identifizierten und deren zukünftigen Positionen vorhersagten [7]. Folglich hat Ernst Dieter Dickmanns einen ersten automatisierten Mercedes-Benz-Roboter-Van entworfen. Dieser Van konnte selbstständig auf einer leeren Autobahn über 20 Kilometer mit einer Geschwindigkeit von 96 km/h fahren [8].

Im Rahmen des Entwicklungsprogramm namens „Prometheus“, welches hauptsächlich eine Zusammenarbeit zwischen der Universität der Bundeswehr in München und Daimler darstellte, konnte der Roboter-Van weiterentwickelt werden. Das Entwicklungsprogramm erstreckte sich von 1986 bis ins Jahr 1994. Die roboterbasierten Vans konnten schließlich bis zu 100 km/h auf einer Strecke von 100 Kilometer passieren und führten Funktionen wie automatisches Spurenwechsel und Überholen durch. Aufgrund von unterschiedlichen Interessen wurde das Entwicklungsprogramm 1994 beendet [7].

In den 1990er- und 2000er Jahren haben zahlreiche Automobilhersteller, Technologiefirmen und Forschungsinstitute ihre Forschungen an autonome Fahrzeuge intensiviert. Im Jahr 2014 hat das französische Softwareunternehmen „Induct Technology“ in den USA das erste zum Verkauf zugelassene Fahrzeug vorgestellt. Dabei handelte es sich um ein Shuttle, das Menschen unter anderem auf großen Industriegeländen, Flughäfen und Fußgängerzonen in Stadtzentren befördern konnte [8].

2.3 Grundlegende Funktionsweise

Die Systeme von bedingt automatisierter bis zu vollautonomen Fahrzeugen basieren auf der Grundlage Ernst Dieter Dickmanns' damaligen Vorhaben, „[...] das menschliche Sehen und Erkennen zu simulieren“ [7, S.12]. Grundlegend müssen autonome Fahrzeuge also die

Prozesse des Wahrnehmens, Situationsverständnisses und des Handelns vereinen und ausführen [9].

Für die Wahrnehmung der Umwelt benötigt es Sensoren, welche unterschiedliche Funktionen erfüllen. Die Lokalisierung des Fahrzeugs erfolgt mit Hilfe von GPS, wodurch das Fahrzeug in Breiten- und Längengraden sowie der Höhe seinen genauen Standort auf der Welt ermittelt. Das GPS ist ein Navigationssatellitensystem zur Standortbestimmung. Für die Objekterkennung autonomer Fahrzeuge sind die Technologien Lidar, Radar und Ultraschall verantwortlich. Mittels dieser Technologien kann das Fahrzeug bewegende und feste Hindernisse sowie Freiflächen erkennen. Aufgrund der enormen Wichtigkeit dieser Funktionen finden im System kontinuierlich Plausibilitätsprüfungen statt. So erfolgt beispielsweise die Lenkung erst, wenn die Plausibilitätsprüfungen konsistent sind. Zur Erkennung von Fahrbahnmarkierungen und Verkehrsschilder dienen Verarbeitungsalgorithmen von Kameras [10].

Die von den Sensoren erfassten Daten werden mit Hilfe von KI-Algorithmen in Steuerungsentscheidungen umgewandelt. Diese Steuerungsentscheidungen umfassen die Pfadplanung, Objektvorhersage, Verhaltensplanung, Trajektorienplanung sowie die Lenk- und Antriebs- bzw. Bremskontrolle (Abbildung 3) [10].

Die Pfadplanung bezieht sich hierbei auf die Ermittlung eines kollisionsfreien Weges auf Grundlage eines sogenannten Konfigurationsraumes, welches eine mathematisch basierte Methode ist und alle möglichen Positionen und Routen umfasst. Das Vorhaben des Pfadplaners wird durch die sogenannte Trajektorienplanung umgesetzt. Der Trajektorienplaner setzt also die Entscheidungen des Pfadplaners um, in dem er die Bewegungsbahn berechnet, die das Fahrzeug sicher durchführen soll. Die Objektvorhersage basiert auf der Erkennung und der Vorhersage der zukünftigen Bewegungen von Objekten in Echtzeit mit Hilfe erfasster Sensordaten durch Ultraschall, Lidar und Radar. Der Verhaltensplaner ist dafür zuständig alle gesammelten Informationen zu verarbeiten und basierend darauf die Entscheidung zu treffen, wie das Fahrzeug auf die Verkehrssituation oder ein spezifisches Ereignis reagieren soll [10]. Diese Reaktionen erfolgen durch Algorithmen, die nach dem Prinzip der Umwandlung von Input-Daten durch Sensoren in Output-Daten für die Steuerung arbeiten [11]. Abschließend ist die Lenkkontrolle, mit Hilfe standardisierter Verfahren der Regelungstechnik, für die Durchführung der Quer- und Längsführung des Fahrzeugs verantwortlich [10].

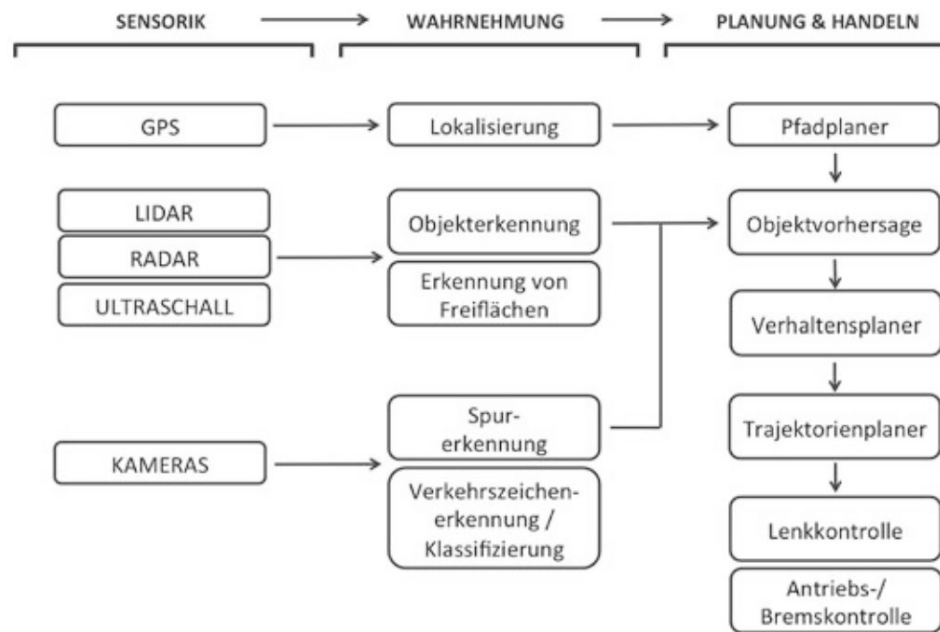


Abbildung 3: Übersicht relevanter technologischer Systeme in einem autonomen Fahrzeug [10]

3. Aktueller Stand des autonomen Fahrens

Dieses Kapitel befasst sich mit der Analyse der aktuellen Marktsituation des autonomen Fahrens in Deutschland, USA und China. Dazu werden zunächst die gesetzlichen Rahmenbedingungen in den jeweiligen Ländern betrachtet, da diese weltweit variieren und einen großen Einfluss auf die aktuelle und zukünftige Entwicklung autonomer Fahrzeuge haben könnten. Die Analyse der aktuellen Gesetzgebungen zum autonomen Fahren hilft, den Zusammenhang der unterschiedlichen Entwicklungsstände besser nachzuvollziehen. Daraufhin erfolgt die Analyse des aktuellen technischen Standes autonomer Fahrsysteme. Dabei wird untersucht, welche Technologien der verschiedenen Autonomiestufen gemäß der SAE-Level bereits in Serienfahrzeugen implementiert sind, welche Technologien erst seit kurzem in Fahrzeugen verwendet werden und ob vollautonome Fahrzeuge nach SAE-Level 5 bereits am Markt verfügbar sind. Im Zuge dessen erfolgt ein Blick auf die wichtigen Marktakteure und deren zukünftigen Vorhaben. Zusätzlich wird in Abschnitt 3.3 die aktuelle wirtschaftliche Bedeutung anhand einer umfassenden Analyse aktueller Daten und Literaturen betrachtet, bevor abschließend die Untersuchung der gesellschaftlichen Wahrnehmung und Akzeptanz des autonomen Fahrens folgt.

3.1 Übersicht über die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland, USA und China

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen variieren weltweit stark und haben einen entscheidenden Einfluss auf die Implementierung der Technologie des autonomen Fahrens. Folglich wird in diesem Abschnitt zunächst die aktuelle Gesetzgebung bezüglich des autonomen Fahrens in Deutschland, USA und China betrachtet, um einen Zusammenhang mit dem aktuellen Entwicklungsstand der jeweiligen Länder besser darzustellen. Um den Umfang dieses Kapitels zu begrenzen, wird die Gesetzgebung in Deutschland detailliert ausgeführt, während die in USA und China kompakter beleuchtet wird.

Deutschland hat bereits im Jahr 2017 erste gesetzliche Grundlagen für den Einsatz automatisierter Fahrfunktionen geschaffen. Dazu wurden am 21.06.2017 mit der Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (kurz: StVG) erste Regelungen bezüglich des Einsatzes automatisierter Fahrfunktionen erstellt [13]. Die neuen Regelungen bezogen sich dabei im Grunde auf veränderte Rechte und Pflichten des Fahrers während des Einsatzes von Fahrfunktionen, die dem SAE-Level 3 „Conditional Driving Automation“ zugeordnet werden können [12]. Dabei ist im Gesetzesentwurf von Kraftfahrzeugen „mit weiterentwickelten

automatisierten Systemen (hoch- oder vollautomatisiert)“ [13, S.1] die Rede. Die Kernaussage des Gesetzes ist, dass automatisierte Fahrsysteme der Stufe 3 in Kraftfahrzeugen im öffentlichen Verkehr genutzt werden dürfen, wobei bestimmte Voraussetzungen für den Einsatz gewährleistet sein müssen. Der Fahrer darf sich zwar vom Verkehr und der Steuerung des Fahrzeugs abwenden, jedoch muss er jederzeit in einem Zustand sein, so dass er in das Fahrgeschehen eingreifen kann [13].

Der nächste Schritt der Bundesregierung in Richtung des autonomen Fahrens in Deutschland erfolgte im Jahre 2021 mit einer weiteren Änderung des StVG und der Einführung des Gesetzes zum autonomen Fahren. Aufbauend auf der Änderung der StVG im Jahr 2017 wurde der gesetzliche Rahmen für den Einsatz von Kraftfahrzeugen mit Fahrfunktionen des SAE-Levels 4 „High Driving Automation“ geschaffen. Der Inhalt dieses Gesetzes setzt genaue Rahmenbedingungen für den Einsatz entsprechender Kraftfahrzeuge. Dabei dürfen autonome Fahrzeuge entsprechend dem SAE-Level 4 bundesweit in festgelegten Bereichen im öffentlichen Verkehr betrieben werden. Das Fahrzeug muss dazu in der Lage sein, sich selbstständig bei Eintritt einer Notsituation in einen Zustand zu versetzen, in dem die maximale Sicherheit für andere Verkehrsteilnehmende gewährleistet ist. Zusätzlich muss jederzeit die Möglichkeit verfügbar sein, die autonome Fahrfunktion deaktivieren zu können. Beispielhafte Szenarien zum Einsatz solcher Fahrzeuge sind unter anderem Shuttlebusse mit festgelegter Route, gängige PKWs als auch für die Beförderung von Gütern. Erwähnenswert ist dabei, dass im Rahmen dieses Gesetzes explizit von vollautonomen Kraftfahrzeugen (SAE-Level 5) abgegrenzt wird [12].

Im Vergleich zu Deutschland sind die rechtlichen Rahmenbedingungen bezüglich des autonomen Fahrens in den USA undurchsichtig, da das Straßenverkehrsrecht nicht wie in Deutschland auf Bundesebene geregelt, sondern je nach Bundesstaat unterschiedlich beschlossen wird [14].

Auf Bundesebene wurden am 20. September 2016 die Leitlinie namens „Federal Automated Vehicles Policy“ durch das US Department of Transportation (kurz: DOT) veröffentlicht. Hierbei handelt es sich nicht um ein Gesetzesentwurf, sondern um eine Art Orientierungshilfe, die an die Bundesstaaten gerichtet ist. Diese handelt von Regelungen und Empfehlungen für das Testen und die Einführung autonomer Fahrfunktionen gemäß der SAE-Level 3-5 [15].

Seit der Veröffentlichung dieser Leitlinie hat sich ein einheitlicher Gesetzesentwurf zum autonomen Fahren in den Vereinigten Staaten ergeben. Unter der Amtszeit von Donald Trump (2017-2021) entstanden mehrere Vorankündigungen zu geplanten Regelungen, wobei nur eine dieser Regelungen den Regelungsverfahren der nationalen Autobahn- und

Verkehrssicherheitsbehörde namens „National Highway Traffic Safety Administration“ (kurz: NHTSA) erreichen konnte. Inhaltlich geht es in diesem Gesetzesentwurf nur um den Insassenschutz für automatisierte Fahrsysteme. Folglich wurde diese Regelung unter der Amtszeit des aktuellen Präsidenten Joe Biden am 30. März 2022 veröffentlicht und beschlossen [16].

Eine einheitliche Regelung technischer, rechtlicher und ethischer Aspekte auf Bundesebene bezüglich des autonomen Fahrens fehlt demnach nach wie vor. Dennoch gehören unter anderem Bundesstaaten wie Kalifornien und Arizona zu jenen, deren gesetzlichen Regelungen auf Bundesstaatsebene am förderlichsten für die Einführung und Entwicklung autonomer Fahrzeuge sind [14]. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine Übersicht über die gesetzlichen Regelungen in diesen Bundesstaaten ausgeführt.

Der Bundesstaat Kalifornien hat seit 2017 seine Gesetzgebung kontinuierlich in Richtung autonomer Fahrzeuge angepasst. Für die Straßenverkehrsgesetze sind in Kalifornien die Institutionen des „California Vehicle Code“ und „California Code of Regulations“ zuständig. Unternehmen wird die Erprobung und der Einsatz autonomer Fahrzeuge theoretisch erlaubt, wenn alle Regularien erfüllt werden [15]. Gemäß den Gesetzen dürfen autonome Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen getestet und sogar in Form von Shuttles oder sogenannten Robotaxis eingesetzt werden, sofern die entsprechenden Sicherheitsstandards abgedeckt sind. Dabei gab es im Laufe der Zeit die Erweiterung, dass während Testfahrten kein Ersatzfahrer im Fahrzeug anwesend sein muss. Zusätzlich müssen Unternehmen für die Erprobung und den Einsatz von fahrerlosen Fahrzeugen eine Bürgschaft oder einen Versicherungsschutz in Höhe von 5 Millionen Dollar und Nachweise über die Erfüllung aller Sicherheitsstandards vorlegen [16].

Ähnlich wie Kalifornien hat sich der Bundesstaat Arizona durch die kontinuierliche Anpassung rechtlicher Rahmenbedingungen zu einem bedeutenden Akteur im Bereich autonomer Fahrzeuge entwickelt. Im Jahr 2021 wurde durch die Gesetzgebung des Bundesstaates ein rechtlicher Rahmen zu Unfällen, Betriebsanforderungen und Genehmigungsverfahren für die Nutzung von fahrerlosen Fahrzeugen festgelegt. Zusätzlich wurden im Jahr 2022 zwei Gesetzesentwürfe durchgesetzt, in denen Transport- und Lieferunternehmen die Erlaubnis erteilt wurde autonome Taxis oder Lieferfahrzeuge einzusetzen [16].

Die Gesetzeslage für autonomes Fahren in China basiert auf übergeordneten Richtlinien der chinesischen Zentralregierung und spezifischen lokalen Vorschriften [18]. Ähnlich wie in den Vereinigten Staaten existiert bis dato keine umfassende nationale Gesetzgebung, die den flächendeckenden Einsatz autonomer Fahrzeuge regelt [17]. Stattdessen hat die chinesische

Regierung seit 2019 die Bedingungen für das Testen autonomer Fahrzeuge erleichtert, indem unter anderem die Anzahl der Städte, in denen Pilotprojekte stattfinden dürfen, erhöht wurde. Zusätzlich wurde im Jahr 2020 eine Version der international verwendeten Automatisierungsstufen 0-5 veröffentlicht [18].

Im Laufe der Jahre hat die chinesische Regierung weitere Anpassungen zur Unterstützung von Pilotprojekten auf öffentlichen Straßen durchgeführt, wie zum Beispiel die Überarbeitung der Gesetze über die Straßenverkehrssicherheit, indem eine Präzision der Vorschriften für die Durchführung von Straßentests erfolgte [17]. Darüber hinaus hat beispielsweise die Stadt Shenzhen das erste umfassende Gesetz zum autonomen Fahren in China verabschiedet, die eine rechtliche Abdeckung bei Pilotprojekten und die Haftungsfrage bei Unfällen regelt. Folglich erlaubte die Stadt Shenzhen im Jahr 2022 den Einsatz von fahrerlosen Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen [19].

Die Analyse der gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland, USA und China zeigt uns deutliche Unterschiede im Regulierungsansatz, was möglicherweise einen Einfluss auf die aktuelle Implementierung und der Marktentwicklung autonomer Fahrzeuge haben könnte.

Während Deutschland im Jahr 2021 mit dem „Gesetz zum autonomen Fahren“ schon früh einen national einheitlichen Rechtsrahmen für die Entwicklung und dem Einsatz von Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 4 geschaffen hat, verfolgen die USA und China eine Strategie, bei der bis dato auf Bundesebene keine übergreifende Gesetzgebung durchgesetzt wurde. Stattdessen wurden im Laufe der Jahre eher Handlungsempfehlungen und Regularien für das Testen autonomer Fahrzeuge veröffentlicht. Dabei haben in den USA Bundesstaaten wie Kalifornien oder Arizona und in China Städte wie Shenzhen umfassende Gesetze eingeführt, die den Einsatz autonomer Fahrzeuge begünstigen.

3.2 Aktueller technischer Stand und beteiligte Unternehmen

In diesem Abschnitt geht es um den aktuellen technischen Entwicklungsstand im Bereich des autonomen Fahrens. Dazu wird eine umfassende Daten- und Literaturanalyse der zur Verfügung stehenden aktuellen Quellen vorgenommen. Um ein vollständiges Bild des gegenwärtigen Entwicklungsstandes darzustellen, wird sich hierbei auf Daten und Literaturen begrenzt, die spätestens im Jahr 2020 veröffentlicht wurden. Da die Fortschritte in der Forschung der Automobilhersteller und beteiligten Unternehmen höchstwahrscheinlich über die auf dem Markt implementierten Technologien hinaus gehen, benötigt es eine Differenzierung, was mit dem „aktuellen technischen Stand“ des autonomen Fahrens gemeint

ist. Folglich wird bei der Analyse des aktuellen Entwicklungsstandes die aktuell verfügbare autonome Technik an PKWs orientierend an den SAE-Leveln 0-5 betrachtet.

Im Folgenden werden zu Beginn Aussagen relevanter Studien bezüglich des aktuellen Entwicklungsstandes autonomer Fahrzeuge aufgezeigt. Darauf folgt die Bewertung aktueller Meldungen bedeutsamer Automobilhersteller. Abschließend erfolgt die Zusammenfassung der Hauptideen zum gegenwärtigen Entwicklungsstand autonomer Fahrzeuge.

Im Rahmen einer Studie der Institutionen „Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation“ und „Center of Automotive Management“ (kurz: CAM) aus dem Jahr 2024 geht es um die Analyse des deutschen sowie internationalen Status quos des automatisierten und vernetzten Fahrens. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen möchten diese Institutionen Handlungsempfehlungen aufzeigen, um „Deutschland zum Innovationsstandort für das automatisierte und vernetzte Fahren“ zu machen [20, S.1].

In Rahmen dieser Studie erfolgt für die weitere Analyse zunächst eine Unterteilung der Anwendungsfälle automatisierter und vernetzter Fahrsysteme. Dabei wird für die Beförderung von Personen zwischen den Betriebsmodellen der sogenannten „Ownership“ und „Sharing“ sowie für den Gütertransport dem Betriebsmodell „Logistics“ unterschieden (Abbildung 4). Zu dem Betriebsmodell „Ownership“ zählen Privatfahrzeuge, während zum Betriebsmodell „Sharing“ unter anderem automatisierte Taxis und Shuttles gehören [20].

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sind die Betriebsmodelle des Personentransports von wesentlicher Bedeutung, weshalb sich die Betrachtung des aktuellen Entwicklungsstandes auf diese Anwendungsfälle beschränkt.

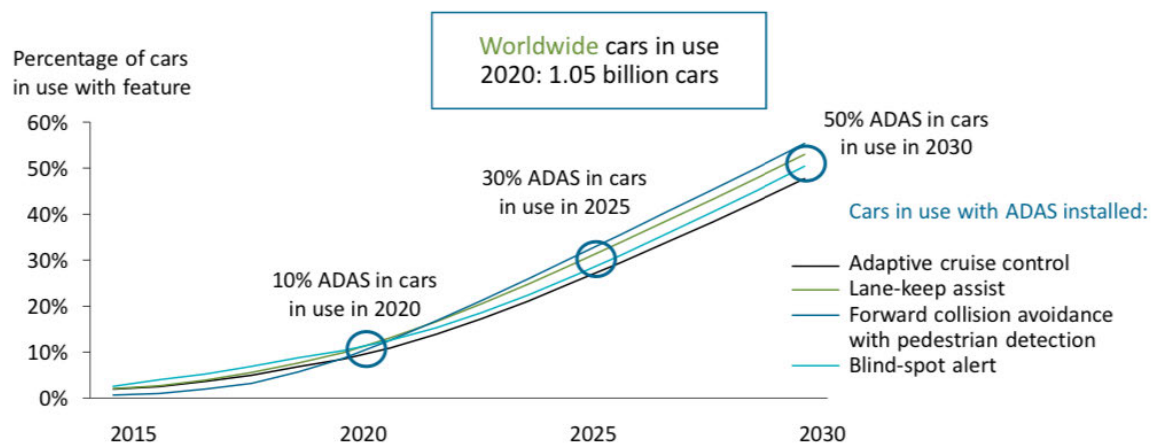
Beförderungsart	Betriebsmodell	Anwendungsfall
Personentransport	Ownership	Autopilot Level 3 (z.B. Staupilot, Autobahnpilot, Landstraßenpilot, City-Pilot)
		Autopilot Level 4 (z.B. Autobahnpilot, Landstraßenpilot, City-Pilot)
		Parkpilot Level 4 (Automated Valet Parking)
	Sharing	Robotaxi L4 (Ride-Hailing, on-demand)
		Roboshuttle L4 (Ride-Pooling, on-demand)
		Robobus L4 (Linienverkehr, planmäßig)
Gütertransport	Logistics	Kurzstrecke (z.B. Last-Mile Delivery, Inhouse Logistics)
		Mittel- und Langstrecke (z.B. Platooning, Hub-to-Hub Pilot)

Abbildung 4: Anwendungsfälle autonomer Fahrfunktionen je nach Betriebsmodell [20]

Die Studie zieht zunächst Schätzungen aus dem Jahr 2021 des globalen Marktforschungsunternehmens im Technologiebereich canals [21] heran, wo der Einsatz von Fahrassistenzsysteme im globalen Fahrzeugbestand von 2015 bis 2030 abgeschätzt wird. Unter einem Fahrassistenzsystem werden bei dieser Betrachtung Funktionen bis zum SAE-Level 2, wie die Spurhalteassistent, die Totwinkelwarnung sowie der Abstandsregeltempomat gezählt. Die Verfasser der Studie entnehmen aus den Schätzungen von canals, dass 2020 nur 10 % des globalen Fahrzeugbestandes mit jenen Fahrassistenzfunktionen ausgestattet waren. Das Fraunhofer-Institut und das CAM entnehmen daraus, dass es den Automobilunternehmen noch nicht gelungen ist, automatisierte Fahrsysteme in Privatfahrzeugen weitreichend zu implementieren [20].

Wenn die Daten des Unternehmens canals, worauf diese Erkenntnis der Studie basiert, genauer betrachtet werden, ist zu erkennen, dass der Prognose zu Folge im aktuellen Jahr 2024 ca. 25 % des weltweiten privaten Fahrzeugbestandes mit Fahrassistenzsystemen bis zum SAE-Level 2 ausgestattet sein müssten (Abbildung 5) [22].

Just 10% of all cars in use had ADAS at end of 2020



Even as more new cars include ADAS, only 50% of cars in use will have ADAS by 2030

Source: Canals estimates, August 2021



Abbildung 5: Prognosen zum Einsatz von Fahrassistenzsystemen im globalen Fahrzeugbestand [22]

Weiterhin zeigen die Analysen des CAM bezüglich der Innovationsstärke globaler Automobilhersteller im Bereich autonomer Fahrzeuge aus dem Jahr 2023 [23], dass Daimler mit der Technologie eines Staupilots, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h, auf dem ersten Platz liegt. Dabei zählt diese Technologie zur Automatisierungsstufe 3. Zusätzlich werden aktuelle Technologien relevanter Automobilhersteller beschrieben. BMW bietet für ihre Modellreihe 5 in Deutschland, sowie für die Modellreihe 7 in den USA einen sogenannten „Highway“-Piloten an. So auch der Automobilhersteller Ford, der mit dem sogenannten „Blue

Cruise“ ebenfalls in den USA und teilweise in Europa einen „Highway“-Piloten anbietet. Der Highway-Pilot wird im Rahmen dieser Studie als eine Technologie der Automatisierungsstufe Level-2+ betrachtet. Für den chinesischen Markt werden die Automobilhersteller Xiaopeng und Arcfox genannt, welche die Level-2+ Technologien ebenfalls anbieten. Das Angebot ist dabei aber auf bestimmten Streckenabschnitten sowie Städten wie zum Beispiel Shenzhen und Shanghai beschränkt [20].

Nachdem die Analyse des aktuellen technischen Stands autonomer Fahrassistenzfunktionen in Privatfahrzeugen (Betriebsmodell: Ownership) durchgeführt wurde, betrachten das Fraunhofer-Institut und das Center of Automotive Management den Entwicklungsstand im Sharing-Betriebsmodell (vgl. Abbildung 4).

Folglich wird in der Studie ausgeführt, dass vor allem in den Vereinigten Staaten und China autonome Fahrzeuge entsprechend dem Sharing-Betriebsmodell angeboten werden. Diese sind derzeit aber auf einzelne städtische Gebiete beschränkt. Als führende Unternehmen im Bereich autonomer Sharing-Dienstleistungen in Form von Robotaxis (SAE-Level 4) werden die US-amerikanischen Unternehmen Cruise und Waymo sowie das chinesische Unternehmen Apollo genannt. Diese drei Unternehmen zusammen verzeichneten im Jahr 2022 ein Volumen von ca. 1.500 autonomer Fahrzeuge, die bereits mehrere Millionen Fahrten mit Fahrgästen durchgeführt haben. Im Vergleich dazu geht aus der Studie hervor, dass in Europa die Implementierung von autonomer Fahrdienstleistungen in Form von Robotaxis oder Roboshuttles gemäß dem SAE-Level 4 andauert. Es finden vereinzelte Pilotprojekte mit geringen Geschwindigkeiten auf festgelegten Strecken statt (Tabelle 1) [20].

Unternehmen	Ursprungsland	Standorte	Flotte
Waymo (Google)	USA	4 Städte (inkl. Testzonen)	ca. 700
Cruise (General Motors)	USA	12 Städte (inkl. Testzonen)	ca. 300
Apollo Go (Baidu)	China	30 Städte (inkl. Testzonen)	ca. 600
Moia (Volkswagen)	Deutschland	Testzonen in zwei Städte (München und Austin (USA))	ca. 20

Tabelle 1: Übersicht relevanter autonomer Sharing-Anbieter (Eigene Darstellung in Anlehnung an [20])

Die zentrale Erkenntnis der Studie vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und des CAM über den aktuellen technischen Stand automatisierter Fahrsysteme besteht darin, dass je nach Betriebsmodell (Ownership oder Sharing) eine andere Stufe der Automatisierung auf dem Markt implementiert ist. Während also Technologien der Stufen 2 bis 3 bei Personenkraftwagen (Betriebsmodell: Ownership) zu finden sind, werden vor allem in China

und den USA Fahrzeuge der Stufe 4 als Fahrdienstleistungen mittels Robotaxis und Roboshuttles (Betriebsmodell: Sharing) betrieben. Dabei besitzen deutsche Automobilunternehmen wie Daimler oder BMW die Führungsposition bei der Entwicklung und Durchsetzung der Automatisierungsstufen SAE-Level 2 und 3. Im Gegensatz dazu halten US-amerikanische und chinesische Unternehmen, wie zum Beispiel Waymo oder Apollo Go die Führung bezüglich der Durchsetzung von autonomen Fahrdienstleistungen der Stufe 4 [20].

Im Rahmen des Kurzpapiers „Automatisiertes und vernetztes Fahren auf die Strassen bringen“ aus dem Jahr 2024 vom Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft (kurz: ETA) werden ebenfalls relevante Aussagen zum derzeitigen technischen Entwicklungsstand autonomer Fahrzeuge getätigt. In diesem Artikel erfolgt eine kurze Betrachtung der aktuellen Ausgangslage des autonomen Fahrens, um für die Europäische Union mögliche Maßnahmen zur Erreichung der Ziele bezüglich Nachhaltigkeit sowie der Verkehrssicherheit vorzuschlagen [24].

Das Kurzpapier zeigt dabei Ähnlichkeiten zur vorherigen Studie bei der Ausführung des globalen technischen Entwicklungsstandes autonomer Fahrzeuge. Die Verfasser stellen ebenfalls fest, dass die Implementierung von Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 4 in Form von Fahrdienstleistungen in USA und China am fortschrittlichsten ist. Dennoch wird auch hier die Führung europäischer und vor allem deutscher Automobilhersteller bei der Realisation von Technologien entsprechend des SAE-Levels 3 hervorgehoben. Ein Unterschied zur Studie des Fraunhofer-Instituts und des CAM besteht darin, dass die aktuellen Fahrassistenzsysteme sowohl von Daimler als auch von BMW bereits das Level 3 erreicht haben sollen [24]. Dieser Unterschied kann auf die verschiedenen Forschungszeiträume zurückgeführt werden.

Die Studie „Autonomous driving’s future: Convenient and connected“ der Unternehmensberatung McKinsey & Company aus dem Jahre 2023 beschreibt den aktuellen technischen Entwicklungsstand übereinstimmend mit den vorherigen Veröffentlichungen. So heißt es in der Studie, dass der Großteil aktueller Personenkraftwagen ausschließlich über grundlegende Fahrassistenzfunktionen verfügen. Ähnlich zur Studie des Fraunhofer-Instituts und des CAM ist in der Studie von McKinsey & Company ebenfalls von Fahrassistenzfunktionen der sogenannten Automatisierungsstufe 2+ der Rede, die von mehreren Automobilherstellern aktuell angeboten werden sollen [25].

Eine weitere Studie, die im November 2023 und im Gesamten die Auswirkungen des autonomen Fahrens auf die Sicherheit des Straßenverkehrs in China betrachtet, beschreibt die derzeitige Technologie für das autonome Fahren als halbautomatisiert, also zwischen den SAE-Levels 2 und 3 [17].

Nachdem verschiedene Ergebnisse wissenschaftlicher Studien zum derzeitigen Entwicklungsstand beleuchtet wurden, erfolgt nun eine Betrachtung offizieller Meldungen relevanter Automobilhersteller, um einen konkreten Überblick über den aktuellen technischen Stand des autonomen Fahrens für Personenkraftfahrzeuge zu erhalten. Dennoch muss bei diesen Artikeln die Objektivität beachtet werden, da Pressemitteilungen auch aus Marketingzwecken veröffentlicht werden.

Eine offizielle Presseinformation von Mercedes-Benz vom 23. September 2024 kündigt die Einführung ihres „DRIVE PILOT“ an. Dabei wird die Technologie als hochautomatisiertes Fahren gemäß dem SAE-Level 3 beschrieben, die unter gewissen Bedingungen auf deutschen Autobahnen bei einer Geschwindigkeit von bis zu 95 km/h verwendet werden kann. Als spezifische Bedingungen für den Einsatz werden ein vorausfahrendes Fahrzeug sowie Verkehr auf der rechten Spur genannt [26]. Von der Einführung derselben Technologie in den USA wird in einer offiziellen Presseinformation vom 27. September 2023 berichtet. Dabei ist die Einführung des „DRIVE PILOT“ ausschließlich auf die Bundesstaaten Kalifornien und Nevada sowie die Modellreihen EQS sowie der S-Klasse beschränkt. Zusätzlich ist im Artikel ersichtlich, dass die Technologie auf ausgewählten Freeway-Abschnitten und für eine Geschwindigkeit bis zu 40 mph (ca. 64,37 km/h) eingesetzt werden darf [27]. In einer weiteren Presseinformation vom 08. August 2024 berichtet Mercedes-Benz vom Erhalt einer Zulassung zur Erprobung von vollautomatisierten Fahrsystemen in Privatfahrzeugen gemäß SAE-Level 4 auf bestimmten Autobahnen und Straßen in Peking [28].

Eine Presseinformation der BMW Group vom 25.06.2024 berichtet wiederum vom Einsatz einer Kombination von Fahrassistenzsystemen gemäß der SAE-Level 2 und 3 in neuen Fahrzeugen der Modellreihe 7. Dies gelte als „erstmaliges Angebot“ [29, S.1]. Die Technologie nach SAE-Level 2 beinhaltet einen Autobahnassistenten, bei dem das Fahrassistenzsystem bei gegebenen Voraussetzungen die Fahraufgaben der Lenkung sowie der Spurführung einschließlich des Spurwechsels auf Autobahnen übernehmen kann. Das Fahrassistenzsystem gemäß SAE-Level 3 weist Ähnlichkeiten zum „DRIVE PILOT“ auf. Beim sogenannten „Personal Pilot“ kann die Fahraufgabe auf Autobahnen bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen an das System übergeben werden, wobei die Beschränkung der Nutzung des „Person Pilot“ bei einer Geschwindigkeit von maximal 60 km/h liegt [29].

Die Analyse des aktuellen technischen Entwicklungsstandes im Bereich des autonomen Fahrens mit Hilfe relevanter Studien und Daten zeigt, dass in der Betrachtung des Entwicklungsstandes eine deutliche Differenzierung nach Betriebsmodell notwendig ist. Die Studie des Fraunhofer-Instituts in Zusammenarbeit mit der CAM dient dabei als gutes Beispiel,

in dem die Analyse jeweils für Privatfahrzeuge und Fahrdienstmodelle erfolgt. Folglich ist die Kernaussage der untersuchten Studien übereinstimmend, dass vereinzelte Privatfahrzeuge höchstens mit Fahrassistenzsysteme des SAE-Level 2 und 3 ausgestattet sind. Die aktuellen Pressemitteilungen großer Automobilhersteller wie Mercedes-Benz und BMW bestätigen diesen Trend. So hat Mercedes-Benz beispielsweise damit begonnen das hochautomatisierte Fahrsystem „DRIVE PILOT“ nach SAE-Level 3 in Deutschland und in den Vereinigten Staaten zu implementieren. Gleichzeitig zeigt sich, dass vor allem in den USA und China Fahrdienstmodelle wie zum Beispiel Robotaxis oder Roboshuttles der Automatisierungsstufe SAE-Level 4 betrieben werden. Europäische Unternehmen führen mit unter anderem Moia (Tabelle 1) lediglich vereinzelte autonome Fahrdienstmodelle durch.

Insgesamt ist also eine gewisse Marktaufteilung gut erkennbar. Während also europäische Unternehmen wie Mercedes-Benz oder BMW das autonome Fahren im Bereich von Privatfahrzeugen voranbringen und mittlerweile erste hochpreisige Fahrzeugmodelle mit Fahrassistenzsystem der Stufe 3 auf dem Markt gebracht haben, ist die Implementierung von Level 4 Fahrzeugen für Fahrdienstleistungen durch Unternehmen wie Waymo oder Apollo in den USA und China fortgeschritten.

3.3 Aktuelle Marktsituation und wirtschaftliche Bedeutung

In diesem Abschnitt wird die die aktuelle Marktsituation sowie die derzeitige wirtschaftliche Bedeutung des autonomen Fahrens analysiert. Der Fokus liegt dabei auf dem globalen Marktanteil autonomer Personenkraftwagen, wobei die Betrachtung basierend auf den Erkenntnissen des vorherigen Abschnittes auf die Automatisierungsstufen SAE-Level 2 bis 4 beschränkt wird. In Rahmen dieser Analyse erfolgt eine Überprüfung der bestehenden Datenlage in relevanten Literaturen und Studien.

Die Daten- und Literaturanalyse über die derzeitige Marktsituation des autonomen Fahrens lässt vermuten, dass sich die aktuelle Umsetzung autonomer Fahrsysteme im Anfangsstadium befindet. So sind derzeit wenige relevante Daten und Literaturen vorhanden, die die aktuelle Marktsituation in Form von Marktvolumina, Marktanteile oder Absatzzahlen darstellen. Die Quellen behandeln vielmehr Marktprognosen für einen Zeitraum von 2030 bis 2050 (siehe Abschnitt 4.1). Im Folgenden werden einzelne Arbeiten dargestellt, aus denen ein Ansatz über die derzeitige Marktsituation ersichtlich werden kann.

Die Unternehmensberatung McKinsey & Company behandelt in Ihrer Studie „Autonomous driving's future: Convenient and connected“ aus dem Jahre 2023 die zukünftige

Marktentwicklung des autonomen Fahrens. Auf Grundlage erfasster Daten über die Nutzung und das Kundeninteresse an heute verfügbaren Fahrassistenzsystemen und Technologien des autonomen Fahrens sind zu erzielende Einnahmen für Automobil- und Technologieunternehmen durch Privatfahrzeuge mit Fahrassistenzsystemen, eingeteilt in den SAE-Level 1 bis 4, abgeschätzt wurden. Für das Jahr 2022 sind nach Untersuchungen von der McKinsey & Company keine Einnahmen durch PKW mit Fahrsysteme gemäß der SAE-Level 3 und 4 erzielt worden, während für das Jahr 2025 Umsätze von 3 bis 7 Milliarden Dollar für Fahrsysteme des SAE-Level 3 prognostiziert sind. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2025 weiterhin Umsätze durch Fahrzeuge mit Systemen des SAE-Level 4 ausbleiben. Im Vergleich dazu wird von Umsätzen durch halbautomatisierte Fahrzeuge (SAE-Level 2) im Jahr 2022 auf 30 bis 40 Milliarden Dollar und einem Zuwachs von weiteren 30 Milliarden gerechnet (Abbildung 6) [25].

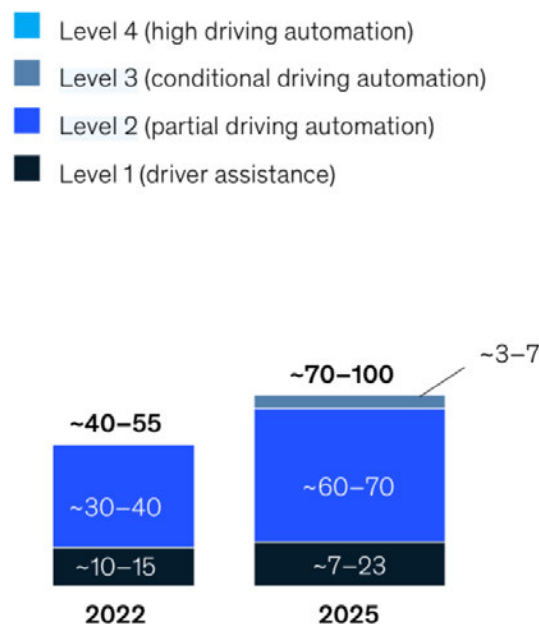


Abbildung 6: Schätzungen erzielter und zu erzielender Umsätze durch PKWs der Level 1 bis 4 in den Jahren 2022 und 2025 in Milliarden Dollar nach McKinsey & Company (Ausschnitt) [25]

Diese Schätzungen bestätigen die Untersuchungen in Abschnitt 3.2 zum aktuellen Stand der Implementierung des autonomen Fahrens in Privatfahrzeugen. Teilautomatisierte Fahrfunktionen (SAE-Level 2) wie die Spurhalteassistenten sind in Fahrzeugen immer öfters vorhanden, während die Einführungen von Level 3 Technologien wie das „DRIVE PILOT“ oder „Personal Pilot“ in hochpreisigen Modellen von Mercedes-Benz und BMW kürzlich begonnen haben. Übertragend auf diese Studie von McKinsey & Company kann der erzielte Umsatz durch Fahrsysteme des SAE-Level 2 mit einer konstanten Erhöhung auf circa 50 Milliarden Dollar und für Einkünfte durch SAE-Level 3 Technologien auf 1 Milliarde Dollar geschätzt werden.

Die Forschenden Haozhe Chen (Ohio State University, USA), Le Li (Mater Dei High School, USA) sowie Peiqi Wang (Beijing University of Technology) haben im Jahr 2022 mit Ihrer Studie „Driverless Industry: Current State, Business Model, Challenges and Prospects“ die aktuelle Situation der Branche für autonomes Fahren analysiert und Zukunftsaussichten sowie mögliche Veränderungen in der Wertschöpfungskette dargestellt. Anlässlich dessen haben sie die globale Marktgröße des autonomen Fahrzeugmarktes für die Jahre 2019 bis 2023 abgeschätzt (Abbildung 7). Folglich haben die Forschenden die Marktgröße für das Jahr 2019 auf 24,1 Milliarden Dollar eingeschätzt. Im Jahr 2020 sinkt der Wert wiederum auf 23,33 Milliarden Dollar bis die Schätzungen im Jahr 2021 eine Zunahme auf 27,26 Milliarden erleben. Weiterhin zeigen die Prognosen für die Jahre 2022 und 2023 Anstiege auf einer Marktgröße von 31,85 beziehungsweise 37,22 Milliarden Dollar [8].

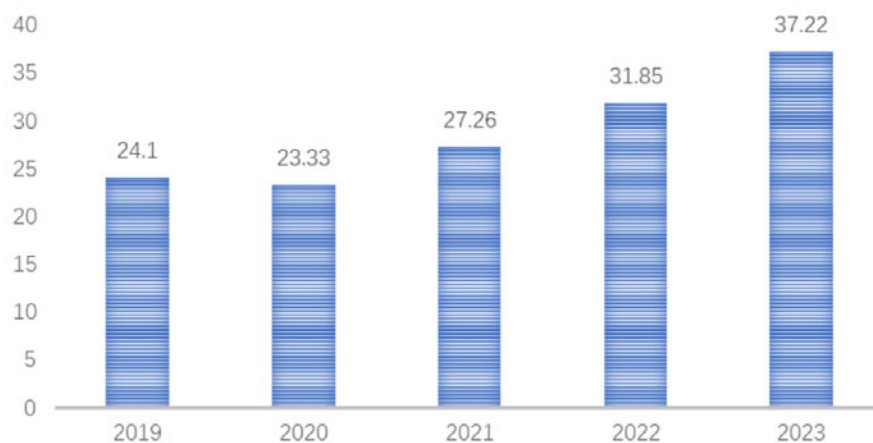


Abbildung 7: Schätzungen der globalen Marktgröße autonomer Fahrzeuge 2019-2023 in Milliarden Dollar [8]

Die Schätzungen weisen eine Auffälligkeit für die Bezifferung der Marktgröße im Jahr 2020 auf. Im Forschungspapier ist keine Begründung für den Abfall ausgeführt, dennoch könnte dieser im Ausbruch der Corona-Pandemie im selben Jahr liegen. Auf Grundlage des Trends der Prognosen von Haozhe Chen, Le Li und Peiqi Wang und des Verlaufs der laufenden Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit Fahrassistenzsystemen im SAE-Level 2 und 3 könnte für das laufende Jahr 2024 eine weltweite Marktgröße von 45 – 47 Milliarden Dollar geschätzt werden.

Zusammenfassend fallen beim Vergleich der beiden ausgeführten Forschungsergebnisse Unterschiede auf, die eine genaue Vergleichbarkeit nicht gewährleisten können. Während die Studie von McKinsey & Company die erwirtschafteten Umsätze durch Fahrassistenzsysteme der Level 1 bis 4 in Fahrzeugen im Jahr 2022 auf mindestens 40 Milliarden Dollar einschätzt, zeigen die Schätzungen vom Forschungspapier für dasselbe Jahr eine Größe des Marktes

autonomer Fahrzeuge von 31,85 Milliarden Dollar. Die McKinsey & Company-Studie betrachtet in ihren Prognosen Fahrassistenzsysteme ab SAE-Level 1, während die Definition autonomer Fahrzeuge von Haozhe Chen und seinen Forschungspartnern nicht genauer ausgeführt ist. Folglich könnte es sein, dass nur Fahrzeuge mit Fahrassistenzsystemen des SAE-Level 2 betrachtet wurden. In diesem Fall würden sich die Schätzungen in gleichen Bereichen bewegen. Außerdem sind die Schätzungen in der Studie von McKinsey & Company basierend auf Verbraucherinteressen an den zur Erhebung auf dem Markt verfügbaren Technologien [25]. Im Vergleich dazu ist die Basis der Prognose von Haozhe Chen nicht klar deutlich. Insgesamt ist erneut darauf hinzuweisen, dass durch die umfassende Daten- und Literaturanalyse die wenig vorhandenen aktuellen Daten zu der gegenwärtigen Marktsituation des autonomen Fahrens ersichtlich wird und somit wenig Vergleiche möglich sind. Vielmehr macht es zum jetzigen Entwicklungsstand Sinn, die Marktprognosen für die Zukunft zu betrachten.

3.4 Gesellschaftliche Akzeptanz und Wahrnehmung

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Frage, wie die Gesellschaft auf das Thema des autonomen Fahrens zu sprechen ist. Dies erfolgt mit der Analyse relevanter Forschungsarbeiten sowie Studien zur gesellschaftlichen Akzeptanz und Wahrnehmung des autonomen Fahrens. Die Einstellung der Bevölkerung spielt eine zentrale Rolle für die zukünftige Marktentwicklung autonomer Fahrzeuge, da sie die Nachfrage und somit die Geschwindigkeit der Marktdurchdringung beeinflusst. Zusätzlich haben die Ansichten der Gesellschaft unmittelbaren Einfluss auf die strategischen Entscheidungen beteiligter Unternehmen. Somit bilden die in diesem Abschnitt gewonnen Erkenntnisse eine wichtige Grundlage für die Betrachtung und Diskussion über mögliche Entwicklungsperspektiven, potenzielle Herausforderungen und unternehmerische Konsequenzen für den Markt des autonomen Fahrens.

Mit dem Fortschreiten der Automatisierung in Fahrzeugen wird die klassische Rolle des Menschen als aktiv handelnder Entscheidungsträger für die Durchführung von Fahraufgaben schrittweise von Fahrsystemen übernommen. Bisherige Fahraufgaben wie die Quer- und Längsführung werden zunehmend an Bedeutung verlieren und können sogar langfristig verlernt werden. Zeitlich ist für diesen Wandel notwendig, dass neue Kompetenzen entwickelt werden, insbesondere im Hinblick der Überwachung sowie des Funktionsverständnisses jener automatisierter Fahrsysteme. Folglich ist die Implementierung des autonomen Fahrens wesentlich davon abhängig, wie die Endverbraucher diesen Technologien vertrauen und ob sie schlussendlich auch angewendet werden [1].

Rita Cyganski (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung) hat im Rahmen der Publikation „Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte“ (Herausgeber u.a. Markus Maurer) im Jahr 2014 eine Online-Erhebung zur grundsätzlichen Meinung von Befragten zum autonomen Fahren durchgeführt. Anlässlich dessen erfolgte zunächst die Befragung, ob prinzipiell die Bereitschaft besteht, das bevorzugte Verkehrsmittel durch verschiedene Fahrzeuge, eingeteilt in Szenarien, zu ersetzen. Abbildung 8 zeigt die Zusammenfassung der Antworten zur Bereitschaft, dass bisher bevorzugte Verkehrsmittel durch ein vollautomatisiertes Fahrzeug zu ersetzen. Folglich wären den Ergebnissen zu Folge rund 37% grundsätzlich bereit ein vollautomatisiertes Fahrzeug für den Alltag zu nutzen, wobei eine Ablehnung mit 63 % überwiegt. Nach SAE entspräche ein vollautomatisiertes Fahrzeug der Automatisierungsstufe 5 [1].

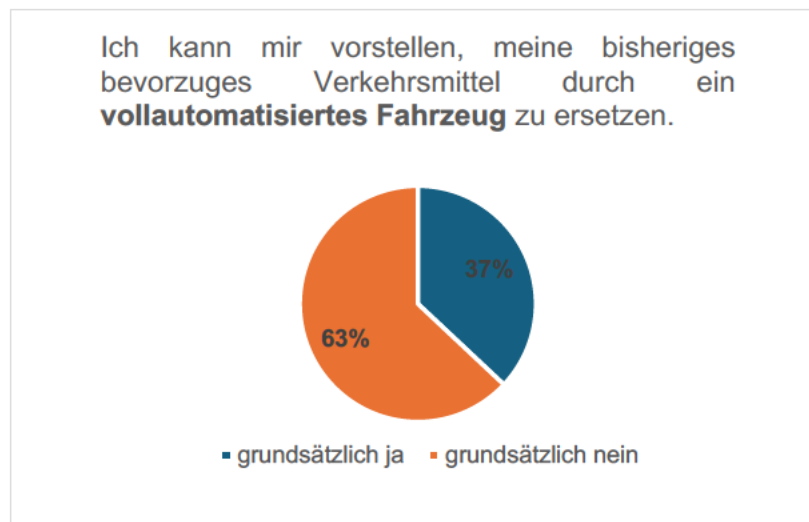


Abbildung 8: Ersetzungsbereitschaft im Szenario: "vollautomatisiertes Fahrzeug" (eigene Darstellung in Anlehnung an [1, S.253])

Ein weiteres Szenario betrachtet die Ersetzungsbereitschaft des ursprünglichen Transportmittels durch ein autonomes Fahrzeug in beliebiger Form. In dieses Szenario fällt also die grundsätzliche Einstellung, das derzeitige Verkehrsmittel, durch autonome Fahrzeuge jeglicher Art auszutauschen. Beispielhaft kann der Wechsel von einem Privatfahrzeug auf ein Roboshuttle genannt werden. Hier fällt wiederum eine Zunahme der Ersetzungsbereitschaft auf. Zwar überwiegt die Ablehnung auch hier mit 56 %, dennoch zeigen sich die Probanden mit 44 % für einen generellen Wechsel auf autonome Transportmittel offener (Abbildung 9) [1].

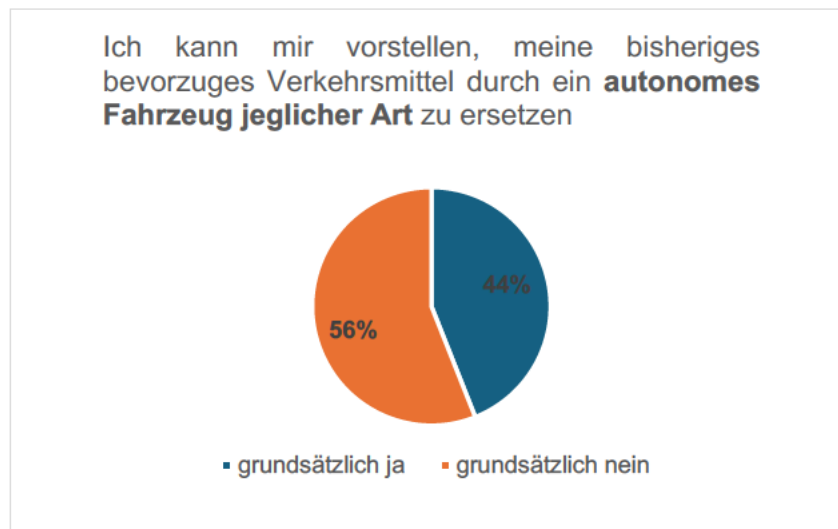


Abbildung 9: Ersetzungsbereitschaft im Szenario: "generell: ein autonomes Fahrzeug" (eigene Darstellung in Anlehnung an [1, S.253])

Das Center of Automotive Management (CAM) hat 2022 in Zusammenarbeit mit dem Marktforschungsinstitut YouGov eine ähnliche Befragung zur Ermittlung der Akzeptanz autonomer Fahrzeuge in Deutschland durchgeführt. Dazu wurden insgesamt 2.105 Probanden unterschiedlicher Altersklassen (18–34 Jahre, 35–54 Jahre, 55 Jahre und älter) befragt. Die Frage, ob sich die Nutzung eines autonomen Fahrzeuges vorgestellt werden kann, wurde von 49 Prozent der insgesamt 2.105 befragten Personen verneint. Dabei zeigt sich, dass mit zunehmendem Alter die Bedenken gegenüber der Nutzung autonomer Fahrzeuge steigen. Während die Frage von 61 Prozent der befragten Personen in der Altersgruppe ab 55 Jahren verneint wird, sind es in der mittleren Altersklasse noch 47 Prozent und in der jüngsten Altersklasse nur noch 29 Prozent aller Probanden, die das autonome Fahren grundsätzlich ablehnen (Abbildung 10) [30].

	18 bis 34 Jahre	35 bis 54 Jahre	55 Jahre und älter	Gesamt
Kann mir die Nutzung sehr gut vorstellen	28%	18%	11%	18%
Kann mir die Nutzung vielleicht vorstellen	35%	27%	23%	27%
Kann mir die Nutzung nicht vorstellen	29%	47%	61%	49%
Weiß nicht / keine Angabe	9%	7%	5%	7%
n	460	705	940	2105

Quelle: CAM/YouGov

Abbildung 10: Übersicht der Antworten zur Frage: "Können Sie sich vorstellen, ein solch autonomes Fahrzeug zu nutzen?" des Center of Automotive Management und der YouGov [30, S.1]

Die Bedenken der Probanden liegen dabei vor allem an der Vermutung und Angst der fehlenden Sicherheit autonomer Fahrzeuge. Folglich haben 48 Prozent aller Befragten Personen mit der Antwortmöglichkeit „Grundsätzliche Unsicherheit“ auf die Frage, was die

größten Bedenken hinsichtlich eines Fahrerlosen Fahrzeugs gegenüber gewöhnlichen Fahrzeugen wären, geantwortet. 39 Prozent haben die Frage explizit mit der Angst vor Unfällen beantwortet. Die Bedenken vor Angriffen von Hackern und die teure Anschaffung autonomer Fahrzeuge stellen für 40 Prozent beziehungsweise 31 Prozent der befragten Personen ebenfalls Hindernisse für das autonome Fahren dar. Erwähnenswert ist, dass lediglich eine kleine Minderheit von 5 Prozent keine Risiken in der Nutzung autonomer Fahrzeuge sieht [30].

Der Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft (ETA) Beratungsgremium des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz hat im Jahr 2024 ein Empfehlungsschreiben für die deutsche Automobilwirtschaft und Politik veröffentlicht. Im Zuge der Darstellung der aktuellen Sicht der deutschen Bevölkerung zum automatisierten Fahren beruft sich die ETA auf Ergebnisse der Mobilitätsstudie 2023 von HUK-Coburg. Für die Mobilitätsstudie 2023 hat die HUK-Coburg eine bundesweite Online-Befragung mit insgesamt 4.042 Probanden durchgeführt, in der die Präferenzen der deutschen Bevölkerung zum Mobilitätsverhalten behandelt werden [31]. Ähnlich zur Befragung des CAM unterstreicht diese Studie erneut die Wichtigkeit der Fahrsicherheit für die deutsche Bevölkerung. Während 32 Prozent der Befragten eine Zulassung autonomer Fahrzeuge grundsätzlich ablehnen, würden 47 Prozent die Implementierung autonomer Fahrzeuge befürworten, wenn eine Verringerung der Unfallgefahr gewährleistet wäre [24].

Das Unternehmen McKinsey & Company hat im Rahmen ihrer Studie „McKinsey China Auto Consumer Insights 2024“ das Konsumverhalten von Autofahrern in China untersucht und dazu Befragungen mit 2.449 Autokäufern durchgeführt. Dabei zeigt diese Studie wertvolle Ergebnisse, welche auf das globale Kaufverhalten zum autonomen Fahren übertragen werden könnten. Abbildung 11 fasst Ergebnisse einer Befragung aus den Jahren 2022 und 2023 zur Zahlungsbereitschaft sowie der Wichtigkeit autonomer Fahrfunktionen für Autofahrer in China zusammen. Dabei veranschaulicht das linke Diagramm die Wichtigkeit, die Probanden autonomen Fahrfunktionen in unterschiedlichen Situationen beimessen, während das rechte Diagramm die Zahlungsbereitschaft für solche Funktionen separat vom Anschaffungspreis des Fahrzeugs abbildet. Die Ergebnisse im linken Diagramm zeigen eine zunehmende Relevanz des autonomen Fahrens sowohl für Autobahnen und innerstädtische Routen als auch für autonome Einparksysteme. Während die Bedeutung solcher Systeme auf Autobahnen und für das Einparken für 76 bis 77 Prozent aller befragten hoch ist, fällt die Wichtigkeit von autonomen Fahrsystemen für innerstädtische Fahrsituationen im Vergleich mit 64 Prozent deutlich geringer aus. Wobei auch hier im Vergleich zum Vorjahr (60 %) eine Zunahme der Interessenten zu erkennen ist [32].

Die Automobilhersteller bieten zusätzliche autonome Fahrsysteme gegen einen Aufpreis zum regulären Anschaffungspreis der Fahrzeuge an. Die Befragungsergebnisse im rechten Diagramm (Abbildung 11) zeigen, dass diese Preisstrategie die Zahlungsbereitschaft der Kunden negativ beeinflusst. Auf nationaler Ebene sank der Anteil der Probanden, die bereit sind zusätzliche Zahlungen für autonome Fahrfunktionen zu tätigen, von 44 Prozent im Jahr 2022 auf 36 Prozent im Jahr 2023. Auffällig ist vor allem der große Abfall in sogenannten Tier-1 Städten, also Metropolen wie Shanghai und Shenzhen [33], in denen ein großer Rückgang von 42 Prozent im Jahr 2022 auf 28 Prozent im Jahr 2023 zu verzeichnen ist. In kleineren Städten Chinas dagegen, sinkt die Zahlungsbereitschaft der Probanden nur leicht um 1 beziehungsweise 3 Prozent im Vergleich zur Befragung im Jahr 2022 [32].

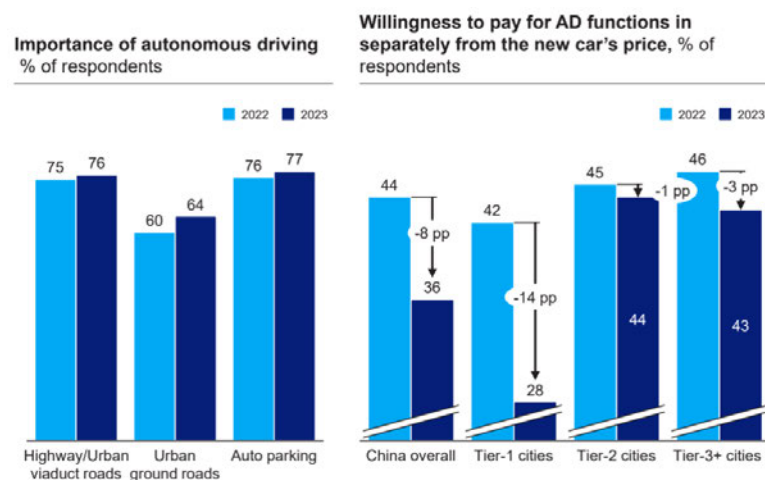


Abbildung 11: Befragungsergebnisse zum Kundeninteresse sowie der Zahlungsbereitschaft für autonome Fahrsysteme von Autofahrern in China [32]

Die geringere Veränderung der Zahlungsbereitschaft potenzieller Käufer in kleineren Städten, deuten darauf hin, dass die grundsätzliche Akzeptanz autonomer Technologien höher ausfällt. Ein möglicher Grund dafür könnte das größere Interesse an möglichen Vorteilen autonomer Fahrsysteme sein, denn insbesondere in verkehrsarmen ländlichen Gebieten bieten solche Technologien möglicherweise einen spürbaren Nutzen. Potenzielle Käufer in Großstädten könnten wiederum das Preis-Leistungs-Verhältnis kritisch bewerten. Dies könnte unter anderem an der dichten Verkehrslage und der somit geringer wahrgenommenen Effizienz solcher Systeme in urbanen Gebieten liegen.

Insgesamt zeigt die Analyse der gesellschaftlichen Wahrnehmung des autonomen Fahrens, dass autonome Fahrzeuge derzeit noch von vielen Menschen mit Unsicherheiten verknüpft werden. Es herrschen insbesondere hinsichtlich der allgemeinen Fahrsicherheit und dem Datenschutz Bedenken. Zusätzlich stellen die derzeitigen Preisstrategien der Automobilhersteller ein großes Hindernis dar. Die sich ergebenden Kosten für automatisierte

Fahrssysteme, zusätzlich zum Anschaffungspreis eines Fahrzeuges, werden kritisch betrachtet. Eine Offenheit einzelner Bevölkerungsgruppen in spezifischen Szenarien ist dennoch erkennbar. So sind im Allgemeinen jüngere Menschen positiver auf das autonome Fahren gestimmt, während der Trend zeigt, dass Bevölkerungsgruppen ab 55 Jahren klassische Fahrzeuge weiterhin bevorzugen. Auffällig ist zudem die steigende Offenheit der Gesellschaft gegenüber Transportlösungen wie Robotaxis oder Roboshuttles. Anhand der Studie von McKinsey & Company ist außerdem ein grundsätzliches Interesse an einzelnen autonomen Fahrssystemen in spezifischen Fahrsituationen wie Langstreckenfahrten auf den Autobahnen oder Einparken abzuleiten.

Für die Mehrheit der Menschen sind autonome Fahrzeuge also noch eine Vision der Zukunft. Um die Marktdurchdringung autonomer Fahrzeuge zu fördern, müssen Automobilhersteller das Vertrauen der potenziellen Kundschaft in die Technologie stärken. Dazu gehört insbesondere die Weiterentwicklung in die Sicherstellung der Fahrzeugsicherheit sowie dem Datenschutz. Gleichzeitig ist möglicherweise die Überarbeitung der Preisstrategie erforderlich, um die breite Masse der Kundschaft zu erreichen. Um das Vertrauen der Gesellschaft in die Technologie aufzubauen, stellt beispielsweise zunächst der Fokus auf das Angebot der Technologien in Verkehrsmittel wie Roboshuttles eine Möglichkeit dar.

4. Zukunftsperspektiven des autonomen Fahrens

Nachdem im vorherigen Kapitel die Betrachtung des aktuellen Standes erfolgte, widmet sich dieses Kapitel der Analyse möglicher Zukunftsperspektiven des autonomen Fahrens. Dabei sind Gegenstand dieser Betrachtung die Analyse von Prognosen zur zukünftigen Marktgröße des autonomen Fahrens und die damit einhergehende Untersuchung möglicher Entwicklungsszenarien. Aufbauend auf den Erkenntnissen, in welche Richtung die Entwicklung des autonomen Fahrens möglicherweise erfolgt, wird anschließend anhand einer umfassenden Recherche aufgezeigt, wie sich das Leben langfristig durch die Implementierung fahrerloser Fahrzeuge entwickeln könnte. Zum Schluss dieses Kapitels werden technische, rechtliche sowie ethische Hürden dargestellt, die das Erreichen dieser langfristigen Visionen möglicherweise erschweren können.

4.1 Marktprognosen

Ausgehend vom zuvor in Kapitel 3 dargestellten Status quo des autonomen Fahrens sind in den letzten Jahren zahlreiche Forschungsarbeiten von Forschungsinstituten, Marktforschungsunternehmen sowie internationalen Unternehmensberatungen entstanden, in denen die potenzielle Marktentwicklung des globalen autonomen Fahrzeugmarktes betrachtet wird. In diesem Abschnitt werden relevante Prognosen und Studien betrachtet, um ein umfassendes Bild der zukünftigen Marktsituation des autonomen Fahrens zu zeichnen. Ziel ist es unterschiedliche Einschätzungen hinsichtlich der Verbreitung des autonomen Fahrens darzustellen, um diese als Grundlage für die Betrachtung der weiteren Kapitel dieser Bachelorarbeit nutzen zu können.

Analysen der Forschenden Andrej Cacilo und Michael Haag vom Fraunhofer-Institut aus dem Jahr 2018 differenzieren in ihren Prognosen für die globale Marktentwicklung automatisierter Fahrzeuge nach den verschiedenen Automatisierungsstufen gemäß SAE. Folglich wird die Stückzahl von automatisierten Fahrzeugen ausgestattet mit Systemen der Level-3 und Level 4 für das Jahr 2030 auf bis zu 10 Millionen beziffert. Für Fahrzeuge, die mit Systemen des SAE-Level 5 ausgestattet sind, wird aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Konzepten wie Robotaxis von noch höheren Wachstumsraten ausgegangen. In diesem Zusammenhang wird eine globale Stückzahl von bis zu 11,5 Millionen Fahrzeugen mit Fahrsystemen des Level 5 prognostiziert [34].

Für die differenzierte Betrachtung der potenziellen Marktvolumina haben A. Cacilo und M. Haag den Marktpreis für Fahrsysteme der Automatisierungsstufen Level 3 und 4 auf 3.657

Euro und für Systeme des Level 5 auf 6.045 Euro festgelegt. Diese Preisannahmen basieren unter anderem auf eigenen Berechnungen sowie Unternehmensangaben. Auf Basis der prognostizierten Stückzahlen und ermittelten Marktpreise wird für Fahrzeugautomatisierungssysteme von einem Marktvolumen von bis zu 155 Milliarden Euro ausgegangen. Wobei in dieser Betrachtung neben Systemen der Level 3 bis 5 auch Systeme der Level 1 und 2 miteinbezogen werden. Dabei wird geschätzt, dass im Jahr 2030 Systeme der Fahrautomatisierungsstufe 5 den mit circa 70 Milliarden Euro größten Anteil erzielen, während Systeme der Level 3 und 4 mit circa 35 Milliarden Euro den geringsten Anteil am Marktvolumen haben (Abbildung 12) [34].

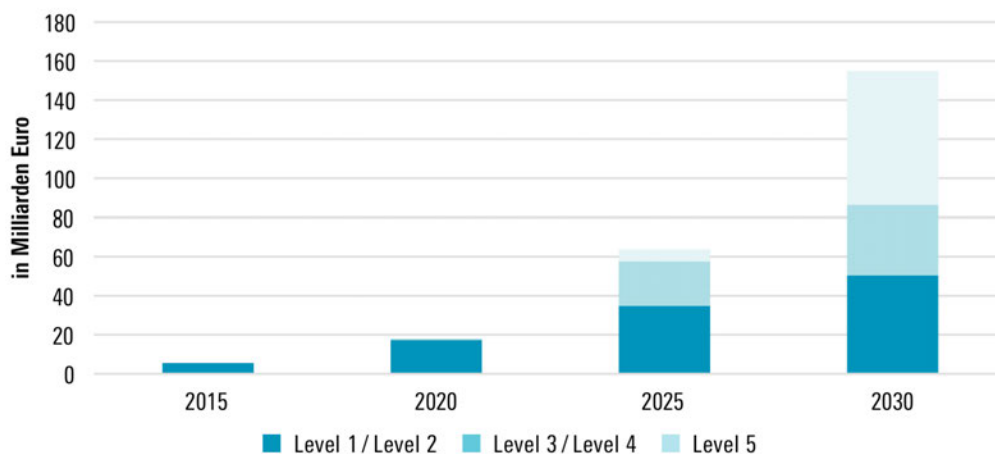


Abbildung 12: Globale Entwicklung des Marktvolumens für automatisierte Fahrzeuge (in Milliarden Euro) nach A. Cacilo und M. Haag [34]

Das internationale Strategieberatungsunternehmen Strategy& stellt im Rahmen ihrer Studie „Digital Auto Report“ mögliche Entwicklungen zur internationalen Verbreitung des autonomen Fahrens dar. Strategy& prognostiziert für Europa und USA eine geringe Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit Automatisierungssystemen der Level 3 bis 5, während von einer höheren Marktdurchdringung für den chinesischen Markt ausgegangen wird. So wird für das Jahr 2030 ein Absatz von 15,4 Millionen neuen Fahrzeugen auf dem europäischen Markt erwartet, wobei 5 Prozent der Fahrzeuge mit Systemen des Level 3 und lediglich 1 Prozent mit Systemen der Level 4 bis 5 ausgestattet sein sollen. Bis 2035 wird bei einem Absatz von 15,8 Millionen neuen Fahrzeugen ein Anstieg auf 10 Prozent für Fahrzeuge mit Assistenzsystemen des Level 3 und 7 Prozent der Level 4 bis 5 gerechnet [35].

In den USA wird bei einem Absatz von 16,1 Millionen Fahrzeugen im Jahr 2030 eine ähnliche Entwicklung prognostiziert. Nach Strategy& werden etwa 5 Prozent der Fahrzeuge vom Gesamtabsatz mit Assistenzsystemen des Level 3 ausgestattet sein, während 3 Prozent Technologien entsprechend der Level 4 bis 5 umfassen. Weiterhin wird für die USA ein Gesamtabsatz von 17,1 Millionen Fahrzeugen vorausgesagt, dabei sollen 14 Prozent der

Fahrzeuge über Level 3-Technologien verfügen und der Anteil Fahrzeuge mit Systemen der Level 4 bis 5 auf 9 Prozent steigen [35].

Eine gegensätzliche Entwicklung wird vom chinesischen Markt erwartet. Hier geht Strategy& bei 30,7 Millionen verkauften Fahrzeugen im Jahr 2030 von einem Anteil von 36 Prozent an Fahrzeugen mit Fahrassistenzsystemen des Level 3 und 18 Prozent der Level 4 bis 5 aus. Für das Jahr 2035 wird sogar bei einem Absatz von 33,1 Millionen ein Anteil von knapp der Hälfte an Fahrzeugen mit Level 3-Systemen und 36 Prozent aller Fahrzeuge mit Automatisierungssystemen der Level 4 bis 5 prognostiziert. Als Gründe für diese Entwicklung werden vor allem die politische Unterstützung sowie die weitreichende 5G-Netzabdeckung gesehen [35].

Die bereits in Abschnitt 3.3 betrachtete Analyse von McKinsey & Company beziffert mögliche Umsatzpotenziale im Jahr 2030 durch Fahrzeuge mit Systemen der Level 1 bis 4 auf bis zu 225 Milliarden Dollar. Die höchsten Einnahmen werden im Jahr 2030 nach McKinsey durch Personenkraftwagen der Level 2 (80-120 Milliarden Dollar) und Level 3 (50-70 Milliarden Dollar) erreicht. Ein im Vergleich geringer Umsatz wird mit 15 bis 25 Milliarden Dollar Fahrzeugen des Level 4 zugeteilt. Dagegen wird für das Jahr 2035 bei einem Umsatzpotenzial von bis zu 400 Milliarden Dollar ein erhöhter Anteil durch Einnahmen von Fahrzeugen mit Fahrautomatisierungssystemen des Level 4 (170-230 Milliarden Dollar) prognostiziert, während der Umsatz durch Level 2- und 3-Fahrzeugen nur noch maximal 80 Milliarden, beziehungsweise 75 Milliarden Dollar betragen soll (Abbildung 13) [25].

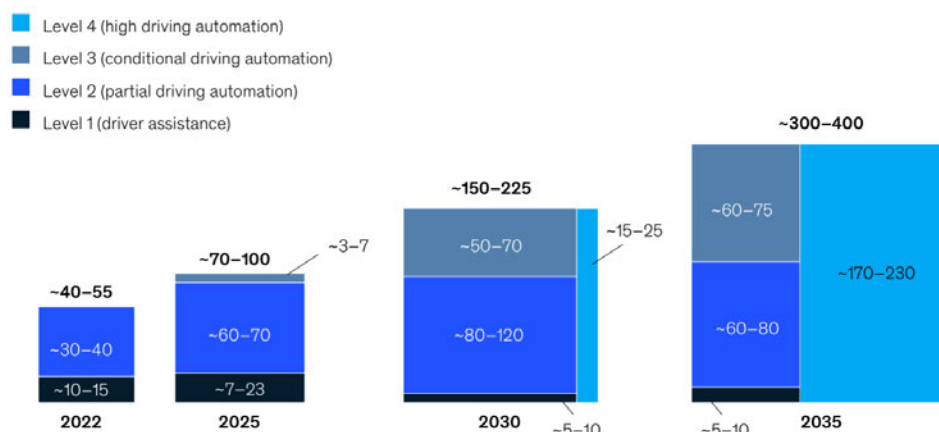


Abbildung 13: Prognostizierte Umsätze durch PKWs mit Fahrsysteme entsprechend der SAE-Level 1-4 von 2022 bis 2035 nach McKinsey & Company [25]

Weiterhin zeigt die Daten- und Literaturanalyse, dass zukünftig vor allem das Betriebsmodell Sharing (vgl. Abbildung 4) in Form von Robotaxis und Roboshuttles einen hohen Anteil am

Markt des autonomen Fahrens erreichen kann. Die bereits im Abschnitt 3.2 ausgeführte Studie des Fraunhofer-Instituts und CAM bezieht sich dabei auf Ergebnisse von Strategy& aus dem Jahr 2022, in denen prognostiziert wird, dass durch den Verkauf sowie dem Betrieb von Robotaxis bis zum Jahr 2035 weltweit ein Umsatz von 500 Milliarden Dollar realisiert wird. Zusätzlich wird ab 2035 ein jährlicher Verkauf von über 2 Millionen Robotaxis weltweit prognostiziert [20].

Das internationale Beratungsunternehmen Deloitte spricht in dem Zusammenhang sogar von einer Umstrukturierung des Marktes. So prognostiziert Deloitte in Rahmen ihrer Studie „Datenland Deutschland – Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035“ autonomen Fahrdiensten in Deutschland einen Umsatzpotenzial von 16,7 Milliarden Euro, während der Umsatz von Fahrzeugverkäufen um 760 Millionen Euro sinken kann [36].

Das autonome Fahren basiert, wie in Abschnitt 2.3 dargestellt, auf Technologien wie Sensorkameras, Lidar und Radar. Folglich wächst mit dem prognostiziertem Marktwachstum autonomer Fahrzeuge der Einsatz dieser Technologien stetig. Laut McKinsey könnte der globale Markt für Hardwarekomponenten wie elektrische Steuergeräte, Kameras sowie Lidar und Radar bis 2030 ein Volumen von 55 bis 80 Milliarden Dollar erreichen. Zum Vergleich dessen wird das Marktvolumen im Jahr 2025 auf 20 bis 30 Milliarden Dollar geschätzt [25]. Strategy& prognostiziert im Jahr eine ähnliche Marktgröße in Höhe von 81 Milliarden Dollar für Europa, China sowie USA, wobei der Anteil des chinesischen Marktes am höchsten geschätzt wird [35]. Vom Softwaremarkt für das autonome Fahren wird bis 2030 ein jährliches Wachstum von 10 Prozent und somit ein Marktpotenzial von 50 Milliarden Dollar erwartet [20].

4.2 Potenzielle Entwicklungsszenarien

Eine zentrale Erkenntnis aus Abschnitt 3.4 ist die gesellschaftliche Skepsis gegenüber der Sicherheit autonomer Fahrzeuge, die wiederum zu einer zunehmenden Offenheit für Dienstleistungen in Form von Roboshuttles oder Robotaxis führt. Passend dazu prognostizieren im Abschnitt 4.1 betrachtete Studien, dass jene Mobilitätsdienstleistungen einen großen Einfluss auf den zukünftigen Markt des autonomen Fahrens haben werden. Folglich kann angenommen werden, dass die schrittweise Einführung autonomer Technologien, nicht ausschließlich das herkömmliche Automobil weiterentwickeln, sondern auch die Art und Weise, wie es genutzt wird. Im Folgenden werden mögliche Szenarien in der Nutzung und aufbauend darauf Einführungsszenarien für das autonome Fahren betrachtet. Das Ziel besteht darin, wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen, die als Grundlage für notwendige unternehmerische Maßnahmen in Kapitel 5 dienen können.

Zahlreiche Experten beobachten die Entwicklung von einer Reduzierung an Privatfahrzeugen und somit einen erhöhten Anteil an Sharing-Dienstleistungen [37]. Üblicherweise wird ein Fahrzeug für verschiedenste Zwecke verwendet. Vor allem in städtischen Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte sind Menschen je nach Zweck offen auf entsprechende Fahrdienstleistungen mit der passenden Fahrzeugart zuzugreifen (Abbildung 14) [38]. Es zeichnet sich also ein Trend vom dauerhaften Besitz eines Fahrzeuges zu temporärer, bedarfsorientierter Nutzung von Fahrzeugen ab. Diese Neigung ist vor allem bei der jüngeren Generation präsent und hatte für Sharing-Anbieter in den letzten Jahren ein starkes Wachstum zur Folge [39].

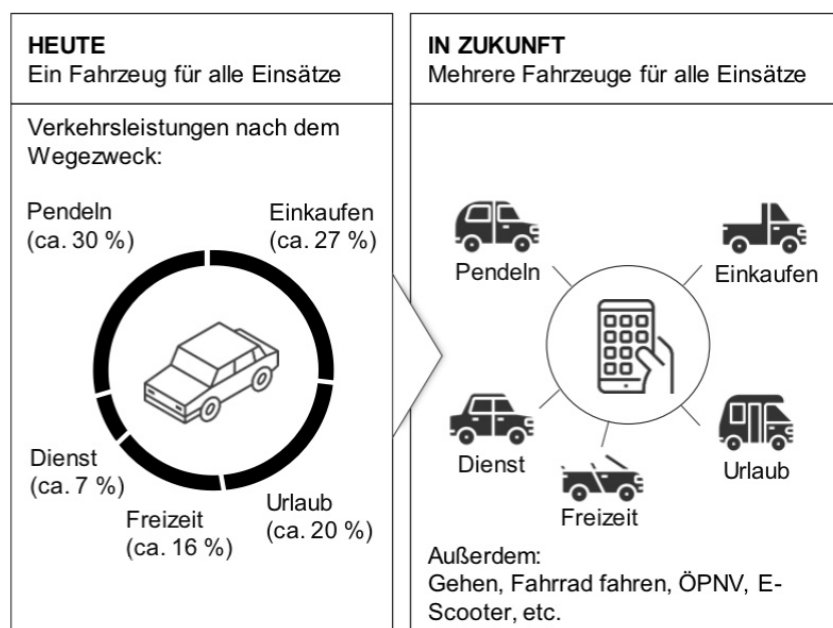


Abbildung 14: Trend im automobilen Nutzungsverhalten [38]

Vor allem Technologieunternehmen wie Waymo und Baidu bieten in den USA und China mittlerweile schon autonome Sharing-Dienstleistungen an (Tabelle 1), wobei in Zukunft mit noch höheren Marktanteilen zu rechnen ist [40]. Autonome Fahrzeuge könnten durch etablierte Modelle wie das „Ride-Hailing“ und „Ride-Pooling“ einen Umbruch in der Fahrzeugnutzung bringen. Das autonome „Ride-Hailing“ umfasst Personentransport mit autonomen Fahrzeugen, beispielsweise Robotaxis, die den Fahrgast nach einer Buchung autonom abholen und zum Ziel fahren. Das autonome „Ride-Pooling“ stellt wiederum selbstfahrende Busse dar, die flexible Routen wählen und dabei den optimalen Weg zwischen Fahrgästen und deren Zielen ansteuern [38].

Diese autonomen Sharing-Modelle können Städten, der Umwelt sowie Fahrgästen Vorteile bringen. Neben der Flexibilität für Nutzer sind Senkungen in den Kosten für Versicherungen

sowie Instandhaltung möglich. Zusätzlich ermöglicht sich für Fahrgäste die Durchführung anderer Aktivitäten. Insgesamt könnten das autonome Ride-Pooling und Ride-Hailing sowohl den Fahrzeugbedarf als auch die Flächennutzung positiv beeinflussen, da vor allem beim Ride-Pooling sowohl Fahrzeuge geteilt, als auch dieselben Strecken befahren werden. Dabei ist das Potenzial in urbanen Gebieten am größten, da in ländlichen Gebieten die Schwierigkeit bestehen könnte, ein privates Fahrzeug durch Sharing-Dienstleistungen zu ersetzen [40].

Der Trend vom klassischen Privatfahrzeug zur Nutzung von Sharing-Dienstleistungen könnte sich durch die Technologie des autonomen Fahrens also verstärken. Die Nutzung eines Privatfahrzeuges wird allein aufgrund Bewohner in ländlichen Regionen nicht gänzlich verschwinden, dennoch ist aufgrund dieses Szenarios ein Umdenken großer Automobilhersteller erforderlich. Der klassische Verkauf von Privatfahrzeug könnte sich in Zukunft aufgrund Fahrdienstleistungen in Form von Ride-Hailing oder Ride-Pooling deutlich verringern. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden im Folgenden mögliche Einführungsszenarien („evolutionäres“, „revolutionäres“ und „transformatives“ Szenario [41]) des autonomen Fahrens betrachtet.

4.2.1 Mögliche Einführungsszenarien

Mögliche Einführungsszenarien des autonomen Fahrens können grundlegend in drei Modellen beschrieben werden: das evolutionäre, das revolutionäre und das transformative Szenario. Diese drei Szenarien entstehen durch verschiedene Ansätze zur Einführung autonomer Technologien und haben aufgrund unterschiedlicher technologischer Ansprüche und gesetzlicher Rahmendbedingungen Einfluss auf die beteiligten Unternehmen im Sektor sowie der zeitlichen Implementierung des autonomen Fahrens [41].

Das evolutionäre Szenario beschreibt eine schrittweise Einführung von Automatisierungssystemen in Privatfahrzeugen, die in gewissen Fahrsituationen die Fahraufgabe übernehmen. Als Hauptakteure gelten in diesem Fall übliche Automobilhersteller, die schon in den letzten Jahren Fahrassistenzsysteme wie Einparkhilfen und Spurhaltesysteme fortlaufend implementiert haben. Der Fokus der Automobilhersteller gilt dabei auf dem Angebot von begrenzter Fahrautomatisierung bei unlimitierten Einsatzgebieten. So werden beispielsweise aktuell durch Automobilhersteller wie BMW und Mercedes-Benz Autobahnpiloten des SAE-Level 3 angeboten (vgl. Kapitel 3.2), wobei die Technologie in Zukunft auf weitere Fahrsituation schrittweise ausgeweitet werden soll. Dieser Ansatz beschreibt jedoch ein langfristiges Szenario. Die Einführung autonomer Fahrsysteme in Privatfahrzeugen erfordert eine Einhaltung der jeweiligen Straßenverkehrsordnung. Zusätzlich

würden autonome Privatfahrzeuge im Gegensatz zu autonomen Mobilitätsleistungen ohne ständige Überwachung durch Personal betrieben werden, weshalb die Technologie eine noch höhere Zuverlässigkeit gewährleisten muss. Ergänzend dazu sind vor allem große Automobilhersteller an ihre Reputationen und Qualitätsstandards gebunden, dabei kann das öffentliche Ansehen etablierter Automobilfirmen durch die Einführung fehlerhafter Produkte Schaden davontragen [41].

Im Vergleich dazu beschreibt das revolutionäre Szenario eine Neugestaltung der Individualmobilität durch Unternehmen, deren Hauptgeschäft nicht im Automobilsektor, sondern vor allem in der IT liegt. Diese Firmen erstreben keine schrittweise Einführung autonomer Fahrsysteme, sondern verfolgen das Prinzip, direkt den Schritt zu fahrerlosen Fahrzeugen für Mobilitätsleistungen durchzuführen. Die Einführung von Dienstleistungen wie Robotaxis kann dabei schneller erfolgen, da der Einsatz vornehmlich in begrenzten Gebieten und unter ortsunabhängiger Aufsicht erfolgt. Das transformative Szenario beschreibt wiederum einen Verbund des öffentlichen Personennahverkehrs mit der Individualmobilität. Die Hauptakteure in diesem Szenario sind vor allem Mobilitätsdienstleister und Start-Ups, welche autonome Personenbeförderungen in innerstädtisch und begrenzten Gebieten anbieten. Im Hinblick auf gesetzlichen Vorschriften kann die Implementierung dieser Mobilitätsleistungen ähnlich zum revolutionären Szenario vereinfacht erfolgen. Zudem sind automobilfremde Firmen aus beiden Szenarien nicht in dem Ausmaß am Faktor der Erhaltung ihres Rufes gebunden, weshalb die Produkte meist einen schnelleren Markteintritt erleben [41].

Die betrachteten Szenarien bieten einen umfassenden Ausblick, wie die Einführung des autonomen Fahrens zukünftig erfolgen könnte. Die Trends sind auch heute schon erkennbar. Es wird ersichtlich, weshalb der aktuelle Entwicklungsstand des autonomen Fahrens im Bereich von Privatfahrzeugen hauptsächlich bei Technologien der Automatisierungsstufen SAE-Level 2 und 3 beschränkt ist, während teilweise hochautomatisierte Fahrzeuge gemäß dem SAE-Level 4 für Personenbeförderungsdienste betrieben werden. Dabei liegt der Fokus von Automobilherstellern auf der schrittweisen Implementierung und Ausbreitung ausgereifter Automatisierungssysteme. Als Beispiel dient dazu das im Kapitel 3.2 betrachtete DRIVE PILOT von Mercedes-Benz, welches auf Autobahnen bei gegebenen Voraussetzungen für eine Geschwindigkeit bis zu 95 km/h eingesetzt werden kann. Der nächste Schritt der Entwicklung wäre möglicherweise der Einsatz bei einer noch höheren Geschwindigkeit. Im Gegensatz dazu prägen vorwiegend branchenfremde Unternehmen aus dem Technologiesektor den Markt für das Sharing-Betriebsmodell. Dieser Trend ist auch in Zukunft zu erwarten, in dem für Privatfahrzeuge sukzessive eine Erweiterung autonomer Fahrfunktionen erfolgt, während sich Sharing-Dienstleister auf die Erweiterung ihrer Einsatzgebiete sowie dem Gewinn größerer Marktanteile im Bereich des autonomen Fahrens

fokussieren. Weiterhin ist angesichts des großen Potenzials des Sharing-Marktes zu erwarten, dass auch klassische Automobilhersteller zunehmend in diesem Sektor einsteigen möchten (beispielsweise Volkswagen mit MOIA). Dies erfordert möglicherweise Anpassungen hinsichtlich des klassischen Geschäftsmodells und der Wertschöpfungskette von Automobilherstellern.

4.3 Langfristige Visionen für das autonome Fahren

Die Vision autonomer Fahrzeuge hat ihren Ursprung im frühen 20. Jahrhundert, als mit der zunehmenden Verbreitung motorisierter Fahrzeuge im Straßenverkehr die Fehleranfälligkeit des Menschen als Hauptursache für die hohe Anzahl an Verkehrsunfällen ausgemacht wurde [1]. Auch heutzutage werden autonome Fahrzeuge als Mittel für eine Zukunft mit einem unfallfreien Straßenverkehr gesehen. Studien zeigen, dass das menschliche Versagen für über 90 Prozent aller Verkehrsunfälle verantwortlich ist [42], während die Unfallrate bereits durch Fahrassistenzsystemen der SAE-Level 1 und 2 einen Abfall um 10 bis 20 Prozent erreichen konnte [24]. Weiterhin wird durch das autonome Fahren bis zum Jahr 2030 ein weiterer Rückgang der Unfallrate um 15 Prozent geschätzt [24]. Das von Mercedes-Benz bekundete Ziel, mit der Einführung des autonomen Fahrens eine Zukunft mit weniger Verkehrsunfällen und Staus zu erreichen [43], verdeutlicht, das im autonomen Fahren liegende Potenzial zur Optimierung des zukünftigen Straßenverkehrs.

Die Grundlage für dieses Bestreben bildet dabei die sogenannte Car2X-Kommunikation. Die Car2X-Kommunikation umfasst die Vernetzung von autonomen Fahrzeugen untereinander (Car2Car-Kommunikation) sowie die Vernetzung mit Infrastrukturen wie Ampeln und Verkehrsleitsystemen (Car2I-Kommunikation). Die Car2X-Kommunikationstechnologie soll künftig die direkte Vernetzung zwischen autonomen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur ermöglichen und so zur Optimierung des Verkehrsflusses beitragen. Dies könnte sich beispielsweise durch die automatisierte Umleitung von Fahrzeugen bei überlasteten Straßenabschnitten sichtbar machen [38].

In zahlreichen Literaturen und Studien wird eine langfristige Vision deutlich, bei der der Verkehr hauptsächlich aus öffentlichen Verkehrsmitteln sowie autonomen Sharing-Angeboten bestehen könnte [24], [40], [42], [44], [45]. Durch diese Neuausrichtung der Mobilität ist eine signifikante Reduzierung privater Fahrzeuge möglich, die neben der Verbesserung des Verkehrsflusses durch Reduzierung von Verkehrsunfällen sowie Staus [42] die Reduzierung der CO₂-Emissionen durch Fahrzeuge zur Folge haben kann [44].

Auch mit der Prämisse, dass nicht nur mit autonomen Fahrzeugen verkehrt wird, kann von einem vernetzten Verkehrssystem durch autonome multimodale Mobilitätslösungen und öffentliche Verkehrsmittel eine Senkung der CO₂-Emissionen von bis zu 59 Prozent erwartet werden (Abbildung 15). Neben der Darstellung einer möglichen Reduzierung des Ressourcenverbrauchs von bis zu 65 Prozent zeigt die Abbildung 15 weitere Verbesserungspotenziale durch das mögliche Mobilitätssystem der Zukunft, darunter die Senkung der Todesfälle pro 1 Millionen gefahrene Kilometer um 50 Prozent sowie der Abfall der Kosten pro gefahrene Kilometer um 52 Prozent [45].

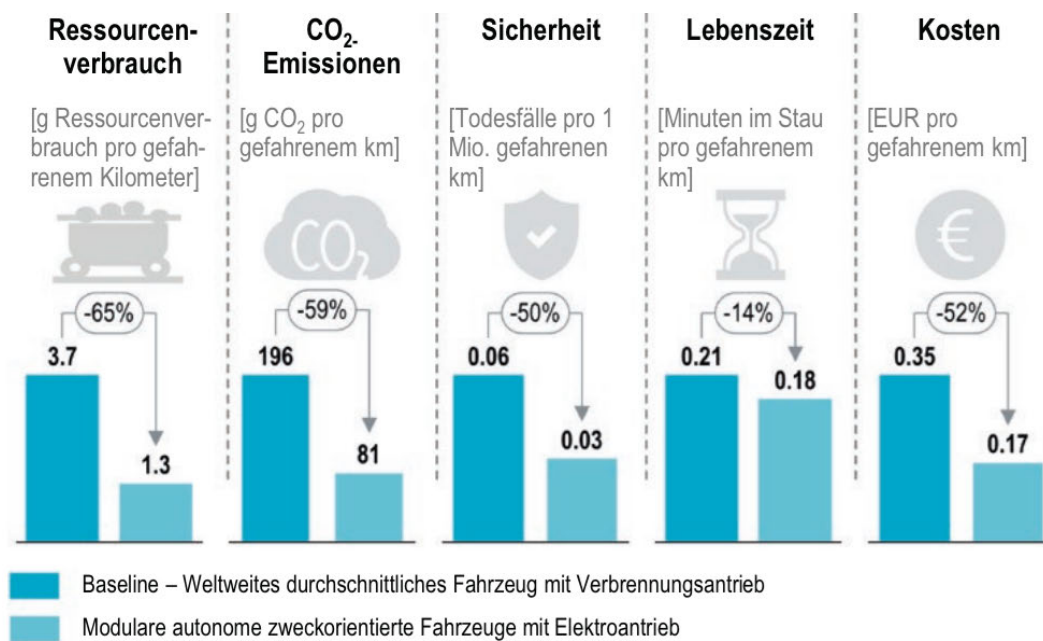


Abbildung 15: Potenziale durch einem autonomen modularen Verkehrssystem [45]

Weiterhin sind durch die umfassende Implementierung des autonomen Fahrens vor allem eine Neugestaltung städtischer Gebiete möglich. Das autonome Fahren eröffnet durch die vernetzte Verkehrssteuerung die Möglichkeit, einen großen Anteil an Parkplätzen zu verringern, wodurch die Möglichkeit entsteht, Straßen in anderweitig nutzbaren Stadtf lächen umzuwandeln. Dabei können urbane Zentren mit einem höheren Anteil an Naturflächen und Freizeitmöglichkeiten für eine höheren Wohlbefinden der Menschen sorgen [45].

4.4 Herausforderung und Hürden für die Marktdurchdringung

Der Zeitpunkt, bis zu dem das autonome Fahren ein umfassender Teil des Lebens vieler Menschen sein wird und dargestellte Visionen umgesetzt werden, hängt noch von vielen zu klärenden Faktoren ab. Dabei spielen neben der Zuverlässigkeit autonomer Technologie die rechtlichen Rahmenbedingungen eine maßgebliche Rolle, welche die weitere Entwicklung des

autonomen Fahrens beeinflussen. Zusätzlich könnten noch offene ethische Thematiken die Umsetzung des autonomen Fahrens beeinträchtigen.

Zunächst macht eine von McKinsey & Company durchgeführte Befragung von 2023 deutlich, welche Hindernisse aus unternehmerischer Sicht für das autonome Fahren als größte Hindernisse gesehen werden (Abbildung 16). In der Befragung wurden sowohl Startups als auch etablierte Unternehmen aus Nordamerika, Europa sowie Asien um eine Bewertung gebeten, ob die Hindernisse rechtlichen oder technischen Ursprungs haben oder etwa in der Akzeptanz der Konsumenten liegen. Etwa 60 Prozent aller Befragten sehen die gesetzlichen Vorschriften als das größte Hindernis für die Durchsetzung des autonomen Fahrens. Im Vergleich zu einer Befragung im Jahr 2021 ist zudem der Anteil an Befragten gestiegen, die die autonome Technologie als Erschwernis für die Einführung autonomer Fahrzeuge sehen. Dieser Anteil ist von durchschnittlich 26 Prozent im Jahr 2021 auf durchschnittlich 32 Prozent gestiegen. Das Kundeninteresse wird insgesamt als ein kleines Hindernis für die Umsetzung des autonomen Fahrens gesehen, wobei keine der befragten Experten in Europa diese Antwortmöglichkeit gewählt haben [46].

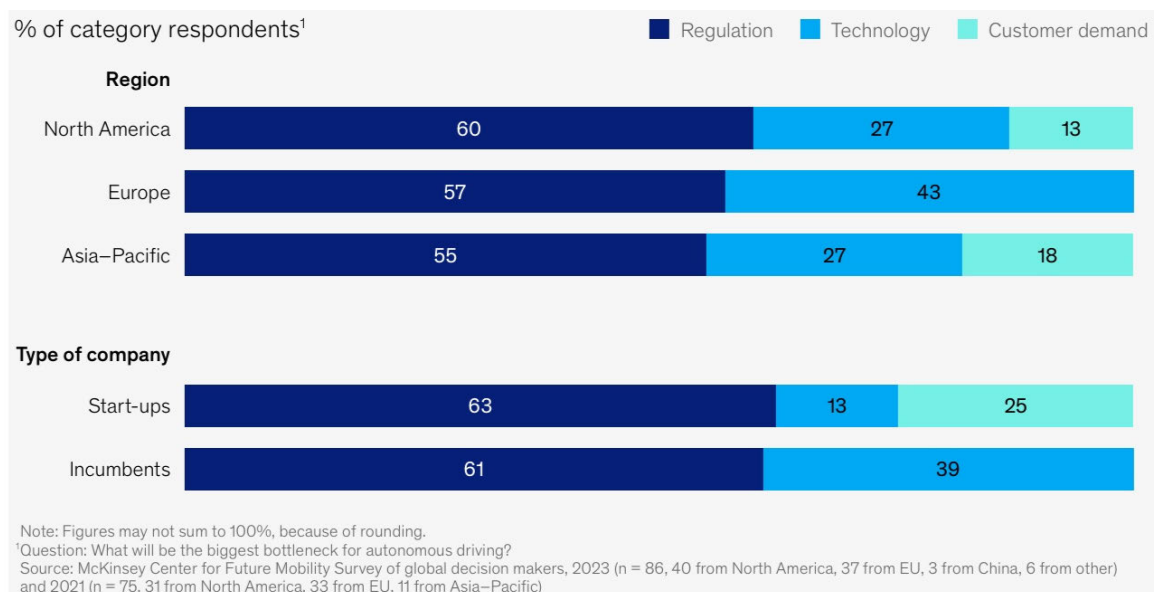


Abbildung 16: Befragungsergebnisse zur Frage: "Was wird das größte Hindernis für das autonome Fahren sein?" von Akteuren in der autonomen Fahrzeugbranche [46]

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erfolgt im Folgenden ein Überblick aktueller technologischer und nicht-technologischer Herausforderungen, welche eine übergreifende Einführung des autonomen Fahrens hemmen könnten.

Technologische Hürden: Im Kern sollte angestrebt werden, dass automatisierte Fahrsysteme eine nachweislich größere Sicherheit gewährleisten als Systeme, die von Menschen gesteuert werden [24], [47], weshalb aus technischer Sicht die Umfelderkennung,

das Situationsverständnis sowie die Verhaltensplanung die Funktionen sind, die das größte Ausbaupotenzial darstellen [48].

Die Umfeldwahrnehmung eines autonomen Fahrzeuges erfordert eine vollständige Erfassung sämtlicher Elemente der Umgebung. Hierzu zählen neben der zuverlässigen Erkennung von Verkehrsteilnehmern, die Identifikation der Fahrbahn und unpassierbarer Hindernisse. Zusätzlich muss das Fahrsystem unter anderem sämtliche Verkehrsbeschilderungen, Ampeln und Fahrbahnmarkierungen selbständig erkennen. Weiterhin ist es erforderlich, dass die Sensoren eines autonomen Fahrzeuges Gesten und Signale von anderen Verkehrsteilnehmern interpretieren können [48]. Die kontinuierliche Erfassung all dieser Faktoren sowie die Verarbeitung der entstehenden hohen Mengen an Daten stellen sich derzeit noch als Herausforderung dar [47], [48]. So sind beispielsweise bei den für die Objekterkennung verwendeten Sensoriken Lidar und Radar funktionelle Einschränkungen sichtbar. Während Lidar die Verwendung in der Objekterkennung im Nahbereich findet und dabei Einschränkungen in der Reichweite vorhanden sind, wird Radar für die Erkennung von Objekten in großen Reichweiten verwendet. Dabei weist Radar den Schwachpunkt auf, ausschließlich metallische Objekte wie eben Fahrzeuge zu erkennen. Andere Objekte wie Fußgänger können durch Radar nicht erkannt werden [47].

Weitere Herausforderungen liegen unter anderem in der Entwicklung der Verhaltensplanung autonomer Fahrzeuge. Gerade die innerstädtischen Verkehrssituationen erweisen sich als besonders kompliziert, da zahlreiche Verkehrsteilnehmer sowie unvorhersehbare Situationen berücksichtigt werden müssen [48].

Nicht-Technologische Hürden: Die Nicht-technologischen Hürden umfassen Aspekte, die auf rechtlicher und ethischer Ebene geregelt werden müssen, bevor eine umfassende Einführung autonomer Fahrzeuge erfolgen kann. Wie in Kapitel 3.1 ausgeführt, sind die rechtlichen Rahmenbedingungen bezüglich des autonomen Fahrens global unterschiedlich definiert. Während die Gesetzgebung in Deutschland auf Bundesebene geregelt ist, herrschen beispielsweise in den USA je nach Bundesstaat unterschiedliche Regularien zum Einsatz autonomer Fahrzeuge. Diese Entwicklung kann eine Fragmentierung der rechtlichen Anforderungen herbeiführen [48]. Zusätzlich entwickelt sich die Technologie schneller, als der entsprechende rechtliche Rahmen angepasst wird, was vor allem bei Unternehmen und Kunden für Unsicherheiten sorgt. Derzeit können autonome Fahrzeuge meist ausschließlich bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen in abgegrenzten Gebieten eingesetzt werden [49]. Verbindliche Kriterien für Zulassung höher automatisierter Fahrzeuge im regulären Straßenbetrieb sind bisher ausgeblieben. Aufgrund der Tatsache, dass Fahraufgaben nicht länger vom menschlichen Fahrer, sondern durch ein technisches System, ausgeführt werden,

erfordert es eine Überarbeitung entsprechender Gesetzgebungen [48]. Im Rahmen dessen sind Antworten auf Haftungsfragen erforderlich, wie beispielsweise, wer für die Haftung eines Schadens verantwortlich ist, wenn eben die Fahraufgaben nicht vom Menschen ausgeführt werden [48], [49], [50], [51].

Mit Fortschreiten der Technologie autonomer Fahrzeuge ergeben sich zusätzlich ethische Fragestellungen. Es ist zu klären, wie mit moralischen Dilemmas in Gefahrensituationen umgegangen werden soll und wer die Verantwortung für Entscheidungen trägt, die möglicherweise über Leben und Tod entscheiden [49], [14].

Eine weitere Hürde auf dem Weg zum autonomen Fahren stellt der Datenschutz im Hinblick auf die Cyber-Sicherheit dar. Autonome Fahrzeuge können aufgrund der großen Anzahl an Softwares anfällig für Cyber-Angriffe sein, was die Verbreitung fahrerloser Fahrzeuge behindern könnte. Zur Gewährleistung des Datenschutzes sind zuverlässige Sicherheitsverfahren erforderlich, wobei die derzeitigen Regelungen zum Datenschutz unzureichend sind und somit Fragestellungen in Bezug auf Dateneigentum und den Schutz personenbezogener Informationen offenbleiben [52].

5. Unternehmerische Konsequenzen

In diesem Kapitel erfolgt basierend auf den im vierten Kapitel gewonnenen Erkenntnissen die Darstellung von möglichen unternehmerischen Konsequenzen, die durch die aufgezeigten zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten des autonomen Fahrens entstehen könnten.

Zunächst wird in Abschnitt 5.1 untersucht, wie sich die zukünftige Marktentwicklung auf das Geschäftsmodell etablierter Automobilhersteller auswirken könnte. Dazu werden die Risiken des autonomen Fahrens auf das klassische Geschäftsmodell in der Fahrzeugindustrie beleuchtet und Möglichkeiten zur Erschließung neuer Geschäftsfelder dargestellt. Zudem werden die Rolle branchenfremder Akteure sowie entstehende strategische Partnerschaften erörtert. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erfolgt in Abschnitt 5.2 die Betrachtung potenzieller Veränderungen in der traditionellen Wertschöpfungskette der Fahrzeugindustrie und die Wertschöpfungsstufen, die möglicherweise am stärksten durch den zukünftigen Markt autonomer Fahrzeuge betroffen sein könnten.

5.1 Auswirkung auf Geschäftsmodelle und sich daraus ergebende neue Akteure und Kooperationen

Bisherige Ergebnisse dieser Bachelorarbeit zeigen, dass mit der weiteren Entwicklung des autonomen Fahrens das traditionelle Geschäftsmodell großer Automobilhersteller einen Wandel erleben könnte. Neue branchenfremde Unternehmen treten dem Automobil- und Mobilitätssektor ein und parallel bahnt sich in der Automobilindustrie eine schrittweise Abkehr von Angeboten einzelner Produkte hin zu Serviceleistungen [53].

Die weitere Entwicklung des autonomen Fahrens stellt gewisse Risiken für Automobilhersteller dar. Durch die Verbreitung autonomer Fahrdienste wird unter anderem erwartet, dass fahrerlose Fahrzeuge geringere Standzeiten aufweisen werden, wodurch die Anzahl an benötigten PKWs sinken wird [54]. Je nach Forschungsarbeit variieren die Schätzungen, dass ein autonomes Sharing-Fahrzeug zwischen 1,17 bis 11 herkömmliche Fahrzeuge ersetzt. Die Entwicklung zu einer verstärkten Orientierung in Richtung Mobilitätskonzepten und dem reduzierten Besitzanspruch an Privatfahrzeugen birgt die Gefahr vor dem Effekt der Sättigung des Privatfahrzeugmarktes und somit einer Abflachung der Verkaufszahlen [53]. Im Falle einer schnellen Verbreitung autonomer Fahrzeuge schätzt beispielsweise McKinsey & Company in einer Studie aus dem Jahr 2016, dass die Nachfrage nach Neufahrzeugen weltweit um circa 18 Prozent sinken könnte. Das entspräche einem Rückgang von 23 Millionen privat gekauften

Fahrzeugen weltweit. Zusätzlich entsteht die Gefahr, dass Eigenschaften, die traditionelle Automobilhersteller jahrelang auszeichnen, an Wichtigkeit verlieren. Folglich könnten Attribute wie die Fahrdynamik, die Lenkung und das Kurvenverhalten an Priorität einbüßen, wenn das Fahrzeug nicht mehr von einem Fahrer gesteuert wird. Dahingegen erhöht sich der Stellenwert von Funktionen wie die Vernetzung, welche die Kerndisziplin branchenfremder Unternehmen darstellen [54].

Die Konsequenzen für die Automobilindustrie sind daher tiefgreifend. Das Geschäftsmodell, das über Jahre optimiert wurde und im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen Fahrzeugherstellern und Lieferanten darauf abzielte Fahrzeuge an private Kunden zu verkaufen, wird in Zukunft an Bedeutung verlieren [45].

Für traditionelle Automobilhersteller könnte sich das neue Geschäftsmodell darauf konzentrieren, als Schnittstelle zu Sharing-Dienstleistern zu fungieren und diese mit Fahrzeugen für Mobilitätsdienstleistungen zu beliefern [45], [53]. Diese Strategie birgt jedoch das Risiko, dass kommerzielle Mobilitätsdienstleister eine erhöhte Macht am Markt erlangen [45] und in dem Zusammenhang die Kriterien für den Erwerb von Fahrzeugen für ihre Flotten ausschließlich auf Basis der Gesamtkosten des Betriebes festgelegt werden [54]. In diesem Szenario schätzt McKinsey & Company, dass Automobilhersteller verlorene Absätze nicht vollständig durch zusätzlichen Fahrzeugverkäufe an Mobilitätsdienstleister ausgleichen werden können [54].

Folglich muss von etablierten Akteuren der Automobilbranche zunehmend das Geschäftsmodell der Mobilitätsdienstleistungen in Betracht gezogen werden. Neben den bereits im Markt positionierten Akteuren aus der Informationstechnologie-, Kommunikationstechnologie- sowie der Elektronikbranche, die das Potenzial des Marktes frühzeitig erkannt haben, zeigt sich auch bei etablierten Automobilherstellern die Auseinandersetzung mit Mobilitätsdienstleistungen. Dies ist beispielsweise an der Gründung eigener IT-Abteilungen und strategischer Kooperationen wie etwa das Car-Sharing Unternehmen ShareNow (Joint-Venture zwischen Mercedes-Benz und BMW) [45] zu erkennen. In Verbindung mit dem autonomen Fahren würden Car-Sharing Konzepte beispielsweise von Uber oder Mercedes-Benz eine Zusammenführung mit Ride-Hailing darstellen, so dass die Verbreitung von Technologien des autonomen Fahrens eine Erweiterung ihrer aktuellen Mobilitätsdienstleistungen bedeutet. Im Gegenzug erfolgt durch Unternehmen wie Waymo und ZF der Einstieg in die Branche gezielt durch die Implementierung autonomer Fahrfunktionen. Abbildung 17 liefert eine Übersicht ausgewählter Unternehmen aus verschiedenen Branchen, die im Bereich autonomer Mobilitätsdienstleistungen aktiv sind [53].

Unternehmen	Aktivitäten/Ankündigungen im Bereich (autonomer) Mobilitätsdienstleistungen
Amazon (USA)	Übernahme Robotaxi-Entwickler Zoox mit Testbetrieb US-Westküste; Automatisierung der eigenen Flotte mit Plus/Iveco
Aptiv (Irland)	Joint Venture „Motional“ mit Hyundai Motor Group PLANT Robotaxi Service in Kooperation mit Lyft
Baidu (China)	Robotaxi-Service „Apollo“, bereits in 5 chines. Städten gestartet
Continental (Deutschland)	CUE (Continental Urban mobility Experience) Plattform für Robotaxis, welche außerhalb der Spitzenzeiten als Lieferroboter eingesetzt werden
Ford (USA)	Pilotprojekt autonomer Ridehailing Dienst in Kooperation mit Argo AI und Lyft ab 2022; Testprojekt autonomer Lieferdienst in Kooperation mit DP World London Gateway
LG (Südkorea)	AVFMS (Fleet Management System for Autonomous Vehicle) Plattform erweiterbar für Sharingservices von autonomen Fahrzeugen
Mercedes-Benz (Deutschland)	Mercedes-Benz Mobility AG für Finanz- und Mobilitätslösungen (Miet-, Leasing- und Finanzierungsangebote, Fuhrparkdienste, Versicherungen, ePayment-Plattformen, Carsharing, Mobility-as-a-Service (MaaS), Ride-Hailing); Kooperation mit Bosch für Robotaxis eingestellt
Toyota (Japan)	Aufbau von MaaS Plattform für geschäftliche Zwecke: „e-Palette“ Entwicklungskooperation mit anderen externen Partnern; Robotaxis in Kooperation mit Aurora und Denso
Uber (USA)	Verkauf Sparte autonomes Fahren an Aurora, gleichzeitig Erwerb von Firmenanteilen Aurora
VW (Deutschland)	MOIA Ridehailing; autonomen Mobilitätsdienste ab 2025 geplant; VW-Nutzfahrzeuge: ID Buzz als Roboter-Taxi ab 2025
Waymo (USA)	laufende Pilotprojekte mit Robotaxis in San Francisco und Betrieb von Robotaxis in Phoenix
ZF (Deutschland)	autonome Transportsysteme für ÖPNV

Abbildung 17: Übersicht einer Auswahl agierender Akteure im Bereich autonomer Mobilitätsdienstleistungen [53]

Neben brancheninternen Kooperationen sind aufgrund der Verlagerung technischer Schwerpunkte in Richtung Elektronik und Software [45] sowie dem vermehrten Bedarf an Sensorik, Bildverarbeitungs- und Kommunikationstechnologien vermehrte branchenübergreifende Zusammenarbeiten zu beobachten [53]. Um den Umfang aufgrund der Vielzahl an Kooperationen zu begrenzen, erfolgt im Folgenden die Hervorhebung einiger relevanter branchenübergreifender Kooperationen als Ergänzung zur Abbildung 18. Das Ziel besteht darin, eine Grundlage für den kommenden Abschnitt zu schaffen und zu verdeutlichen, wie durch das autonome Fahren und den Eintritt neuer Anforderungen die klassische Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie um weitere Akteure erweitert wird.

Anhand der Abbildung 18 wird die Vielzahl der Kooperationen, die zwischen Unternehmen unterschiedlicher Sektoren im Rahmen der Entwicklung autonomer Fahrzeuge entstanden sind, deutlich. Die Gründe für diese Kooperationen sind unterschiedlich. Einerseits dienen sie der Senkung von Forschungs- und Entwicklungskosten, die so auf mehrere Akteure verteilt werden können [55]. Andererseits dienen sie der Einholung von technologischem Wissen [45],

aber auch dem Bestreben, den Vorsprung von Technologiefirmen aufzuholen und selbst in den jeweiligen Feldern aktiv zu werden [55].

Folglich arbeitet Volkswagen beispielsweise mit Microsoft im Rahmen von Cloud-Systemen [53], [55] und Software-Technologien [55] zusammen, während mit dem Unternehmen AutoX in China Pilotprojekte durchgeführt werden [53], [56]. Dabei stellt AutoX für diese Zwecke eine Technologieplattform und Volkswagen im Gegenzug Verkehrsportale für die Fahrzeugflotten zur Verfügung [56]. Mercedes-Benz befindet sich mit dem Unternehmen Luminar in einer Zusammenarbeit, bei der es um die Fortentwicklung der Lidar-Technologie geht [53]. Weitere nennenswerte Kooperationen im Rahmen der Entwicklung der Cloud-Technologie für autonome Fahrzeuge sind unter anderem die Zusammenarbeit zwischen Amazon und BMW oder Continental, Mercedes-Benz mit IBM und Microsoft sowie Microsoft und Bosch. Außerdem bestehen anlässlich der Software-Technologien vom Unternehmen Nvidia, Partnerschaften mit Fahrzeugherstellern wie Volvo, Hyundai und auch Mercedes-Benz sowie Volkswagen [55].

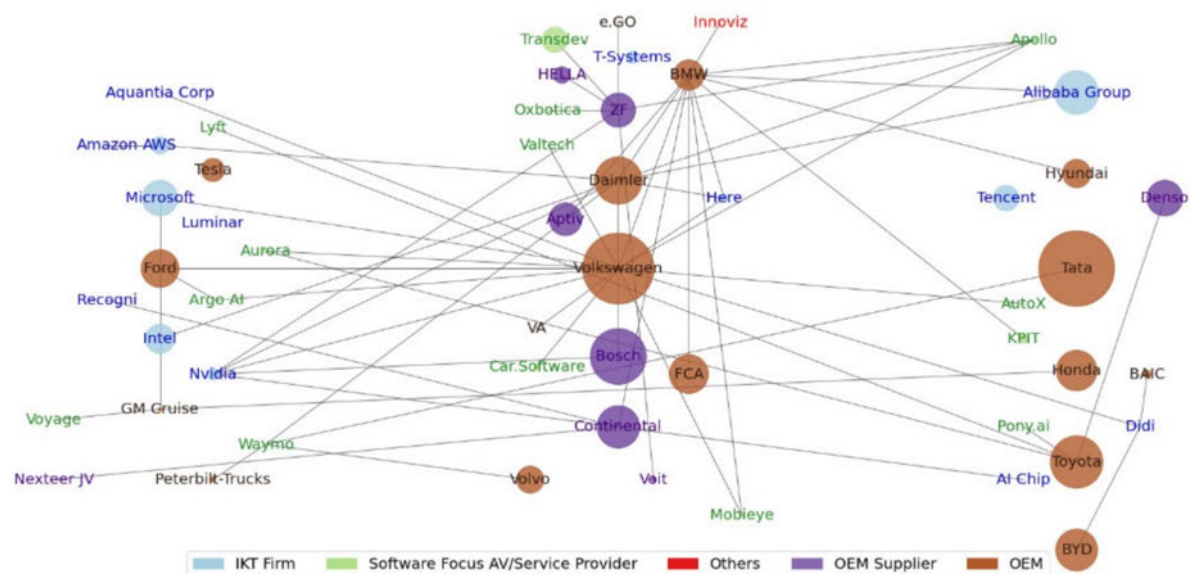


Abbildung 18: Übersicht von Kooperationen im Bereich des autonomen Fahrens [53]

5.2 Veränderung der Wertschöpfungskette

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, werden die traditionellen Geschäftsmodelle durch das autonome Fahren sukzessiv beeinflusst. Durch die in Zukunft erwartete vermehrte Abkehr von Angeboten einzelner Produkte hin zu serviceorientierter Mobilität, sind Automobilhersteller gefordert, erweiterte technologische Komponenten sowie vernetzte Anwendungen in ihr

Angebot aufzunehmen. Der Bedarf an technologischen und softwarebasierten Lösungen wächst demnach immer mehr, weshalb Unternehmen aus der IKT- und Elektronikbranche einen immer wichtigeren Stellenwert an der gesamten Wertschöpfung einnehmen. Aufgrund der steigenden Nachfrage an Softwarelösungen, die über der Beschaffung von Hardwarekomponenten hinaus gehen, ist mit verstärktem Offshoring für bestimmte Entwicklungsbereiche hin zu neuen Akteuren im Automobilsektor und somit komplexeren Lieferantenstrukturen zu rechnen [57].

Vereinfacht dargestellt zeichnet sich die Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie durch eine lineare Ausrichtung aus, bei der die Automobilhersteller eng mit einem Netzwerk an Zulieferern zusammenarbeiten [57]. Erhaltene Rohstoffe werden von Zulieferern in Fahrzeugkomponenten verarbeitet und anschließend an den Automobilherstellern ausgeliefert [54], [57], während die Automobilhersteller parallel die Fertigung von Antriebssträngen, der Karosserie sowie die Endfertigung übernehmen [57]. Am Ende der Wertschöpfungskette werden die Endprodukte durch die Automobilunternehmen an Kunden und ausgewählte Händler ausgeliefert (Abbildung 19) [54], [57].

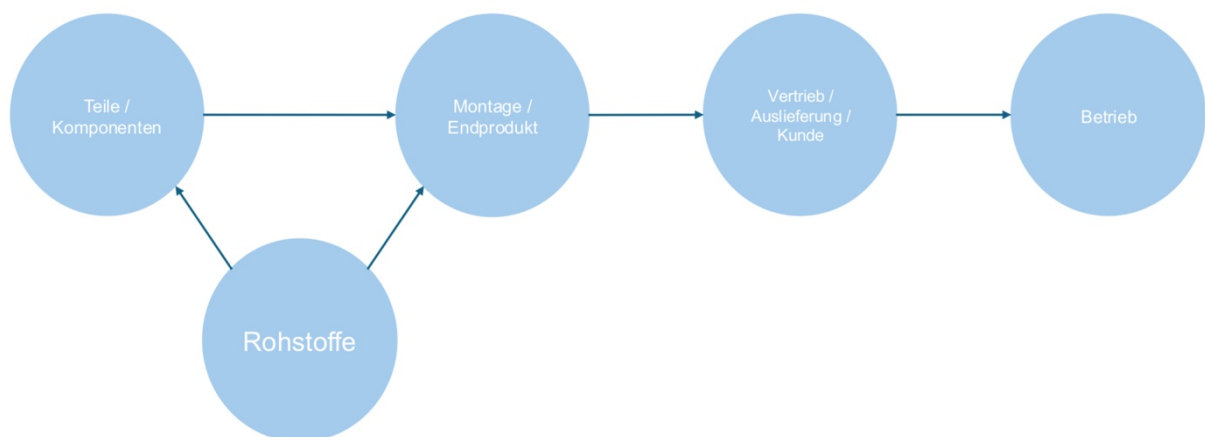


Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der automobilen Wertschöpfungskette (Eigene Darstellung in Anlehnung an [53], [54])

Durch die zukünftigen Auswirkungen des autonomen Fahrens und der möglicherweise starken Verbreitung von Mobilitätsdienstleistungen sind neue Einflussgrößen auf die einzelnen Wertschöpfungsstufen wahrscheinlich. Folglich entsteht durch die Technologie des autonomen Fahrens und der Folge der Veränderungen an der Konfiguration von Fahrzeugen der Bedarf an teilweise neuartigen Rohstoffen und Komponenten. Die Relevanz von Anbietern digitaler Infrastrukturen wie Amazon AWS erhöht sich aufgrund der Vernetzung von Fahrzeugen zunehmend. Dabei nehmen sie vor allem in der Herstellung von Cloudlösungen, Halbleitern und im Aufbau von Hardwareinfrastrukturen eine wichtige Rolle in der Wertschöpfungskette für autonome Fahrzeuge ein [53].

Zusätzlich treten vermehrt Unternehmen wie Google, sogenannte Datenverwerter, in den Mehrwertprozess eines autonomen Fahrzeuges ein, die das Betriebssystem bereitstellen werden. Dabei betrachten sie das Fahrzeug als ein Endgerät und erkennen darin eine zentrale Schnittstelle zu den Insassen. Ihre Lösungen umfassen Dienste, die auf ähnliche Art aktuell über Smartphones genutzt werden, wobei in Zukunft womöglich eine stärkere Anpassung an den Anforderungen autonomer Fahrzeuge erfolgen wird. Damit einhergehend haben Datenverwerter neben Einflüssen auf das Endprodukt mit Mobilitätsdienstleistern Wirkung auf den zukünftigen Betrieb des autonomen Fahrzeugs [53]. Wie in Abschnitt 5.1 beschrieben, wird ein mögliches Geschäftsmodell großer Automobilhersteller darin bestehen, die autonomen Fahrzeuge an Mobilitätsdienstleister auszuliefern, die somit eine zunehmende Bedeutung als Endkunden einnehmen werden. Hinzu kommt die Möglichkeit des Geschäftsmodells, das die Bereitstellung von digitalen Diensten beinhaltet [54]. Digitale Dienste sollen nicht nur eine optimierte Benutzererfahrung bewirken, sondern bringen daneben das Potenzial mit, den Umsatz und die Gewinnspanne zu erhöhen. Dies bestätigt sich beispielsweise durch eine Ankündigung vom Automobilhersteller Audi, in der es heißt, dass sein digitales Dienstleistungsportfolio für 50 % des Umsatzes verantwortlich sein werde. Folglich gilt es für Automobilhersteller die neu entstehende digitale Wertschöpfungskette mit der traditionellen zu verbinden und so die Kundenschnittstellen zu erweitern [57].

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass die zukünftige Entwicklung des autonomen Fahrens und die damit einhergehende Veränderung der Anforderungen und Erwartungen an Fahrzeugen die klassische Wertschöpfungskette der Automobilindustrie grundlegend verändern wird. In Zukunft könnte sich die zentrale Kaufentscheidung von traditionellen Aspekten wie Motorisierung und Fahrgefühl hin zu Faktoren wie der Zuverlässigkeit von Software und der digitalen Vernetzung verschieben, welche dann als primäre Kaufkriterien betrachtet werden. Zum jetzigen Zeitpunkt ist jedoch noch keine endgültige Aussage möglich, ob hauptsächlich die Automobilhersteller für ihre Fahrzeuge Komponenten von Unternehmen aus der IT zukaufen werden oder ob sich diese branchenfremden Unternehmen an Produkten der Automobilindustrie bedienen werden [58]. Falls sich der zweite Fall durchsetzen sollte, würden also IT-Unternehmen die Wertschöpfungskette vorgeben und Automobilhersteller würden die Rolle des Lieferanten einnehmen. Höchstwahrscheinlich wird es jedoch in Zukunft je nach Geschäftsmodell eine Mischung aus beiden Richtungen in der Wertschöpfungskette geben, weshalb strategische Partnerschaften ohnehin unerlässlich für den zukünftigen Erfolg am autonomen Fahrzeugmarkt sind. Unternehmen aus der IT-Branche nehmen in Zukunft eine immer wichtigere Rolle ein, da die Notwendigkeit an technologischen und softwarebasierten Komponenten wie etwa Betriebssystemen, Cloudlösungen und digitalen Schnittstellen durch das autonome Fahren zunehmend in die Wertschöpfungskette integriert werden müssen.

6. Fazit

Im abschließenden Kapitel dieser Arbeit werden die gewonnenen Erkenntnisse der vorherigen Kapitel zusammengefasst sowie politische als auch unternehmerische Handlungsempfehlungen formuliert.

6.1 Haupterkenntnisse

Das zweite Kapitel dieser Arbeit hat der Erarbeitung wichtiger theoretischer Grundlagen gedient. Das Ziel bestand darin ein tiefgreifendes Verständnis für die einzelnen Automatisierungsstufen, der grundlegenden Funktionsweise sowie dem Ursprung des autonomen Fahrens zu entwickeln. Mit diesem Hintergrund hat Abschnitt 2.1 die im Jahre 2014 erstmalig veröffentlichte Norm SAE J3016 der Organisation SAE International beleuchtet. Diese Norm gilt als international etabliert und dient der Definition von sechs Automatisierungsstufen für das autonome Fahren. Dabei stellt das sogenannte SAE-Level 0 die Automatisierungsstufe dar, bei dem das Fahrzeug ohne jegliche automatisierte Fahrfunktionen ausgestattet ist. Gleichzeitig beschreibt das SAE-Level 5 das vollautonome Fahrzeug, bei dem alle Insassen zu jeder Zeit und ohne jegliche Beschränkungen als Passagiere gesehen werden können. Die Vorstufe des vollautonomen Fahrzeugs stellt dabei das SAE-Level 4 dar, bei dem im Unterschied zum vollautonomen Fahrzeug Beschränkungen wie etwa der Straßentyp oder maximale Geschwindigkeiten, in denen die Fahrt autonom erfolgen kann, zu beachten sind. Als Prämisse für den weiteren Verlauf dieser Arbeit sind die Automatisierungsstufen SAE-Level 4 und 5 als Synonym für das autonome Fahren festgelegt wurden.

Das dritte Kapitel hat sich mit der Analyse der aktuellen Situation des autonomen Fahrens befasst. Zur Analyse der gegenwärtigen Situation sind in Abschnitt 3.1 zunächst die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland, China und den USA dargelegt. Dabei sind die unterschiedlichen gesetzlichen Herangehensweisen dieser Länder ersichtlich geworden. Die USA und China haben bis dato auf Bundesebene keine Gesetzgebung, sondern eher Handlungsempfehlungen und Regularien zum autonomen Fahren eingeführt. Stattdessen haben Bundesstaaten wie Kalifornien oder Arizona in den USA und Städte wie Shenzhen in China lokale Gesetz eingeführt, die die Erprobung und den Einsatz autonomer Fahrzeuge bei Erfüllen bestimmter Voraussetzungen ermöglichen. Deutschland hat hingegen mit dem „Gesetz des autonomen Fahrens“ im Jahr 2021 ein bundesübergreifendes Gesetz zum autonomen Fahren festgelegt. Dieses Gesetz legt fest, dass autonome Fahrzeuge gemäß dem SAE-Level 4 bundesweit in festgelegten Gebieten im öffentlichen Verkehr eingesetzt werden

dürfen. Dabei muss stets die Sicherheit der anderen Verkehrsteilnehmer und die Möglichkeit der Deaktivierung der autonomen Fahrfunktion gewährleistet sein. Zudem zeigen die aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen in den USA, China und Deutschland, dass die jeweiligen Regularien vor allem dem Betrieb von autonomen Fahrzeugen in Rahmen von Mobilitätsdienstleistungen entgegenkommen. Diese Erkenntnis wird in der Analyse des aktuellen technischen Stands unterstützt.

Die Analyse des aktuellen Entwicklungsstands von autonomen Fahrzeugen in Abschnitt 3.2 zeigt, dass je nach Betriebsmodell (Privatfahrzeug oder Mobilitätsdienstleistung) ein unterschiedlicher Stand in der Implementierung des autonomen Fahrens erlangt wurde. Während vereinzelte Fahrzeugmodelle mit Fahrassistenzsystemen der SAE-Level 2 und 3 ausgestattet sind, werden vor allem in China und den USA Mobilitätsdienstleistungen in Form von Robotaxis und Roboshuttles gemäß dem SAE-Level 4 im öffentlichen Verkehr betrieben. Auffällig in dieser Betrachtung ist zudem, dass trotz unterstützender rechtlicher Grundlagen in Deutschland autonome Mobilitätsdienstleistungen überwiegend in China und den USA betrieben werden. Während beispielsweise das US-amerikanische Unternehmen Waymo mit einer Flotte von 700 autonomen Fahrzeugen aktiv ist, umfasst die Flotte des deutschen Unternehmens Moia circa 20 autonome Fahrzeuge.

Weiterhin zeigt die Betrachtung der aktuellen Marktsituation und wirtschaftlichen Bedeutung in Abschnitt 3.3, dass sich die Umsetzung des autonomen Fahrens in anfänglichen Einführungsphasen befindet. Die Datenlagen in relevanten Studien und Literaturen prognostizieren hauptsächlich Marktvolumina für die Jahre 2030 bis 2050.

Insgesamt verknüpft der Großteil der Gesellschaft aktuell noch Unsicherheiten mit dem autonomen Fahren. Insbesondere die Fahrsicherheit und der Datenschutz stellen laut der betrachteten Studien in Abschnitt 3.4 die größten Hemmnisse für das Vertrauen der Menschen in die Technik autonomer Fahrzeuge dar. Zudem werden die Preisstrategien der Automobilhersteller und der damit verbundenen Zusatzkosten zum jetzigen Zeitpunkt als kritisch betrachtet. Dennoch stehen jüngere Bevölkerungsgruppen autonomen Fahrzeugen offener gegenüber als ältere Generationen. Grundsätzlich ist eine zunehmende Offenheit der Gesellschaft für autonome Fahrzeuge für Mobilitätsdienstleistungen wie Robotaxis oder Roboshuttles und für spezifische Fahrsituationen wie etwa auf Langstreckenfahrten zu beobachten.

Im vierten Kapitel wurden die Zukunftsaussichten des autonomen Fahrens betrachtet. Das Kapitel umfasst die Analyse von Prognosen zur zukünftigen Marktgröße des autonomen Fahrzeugmarktes und mögliche Entwicklungsszenarien. Aufbauend darauf wurde untersucht,

wie sich das Leben langfristig durch die Einführung fahrerlosen Fahrzeugen verändern könnte, bevor abschließend technische, rechtliche und ethische Herausforderungen beleuchtet wurden, die diese Visionen möglicherweise erschweren.

Aus den betrachteten Prognosen in Abschnitt 4.1 werden große Potenziale in der weiteren Marktentwicklung des autonomen Fahrens deutlich. Insbesondere für den chinesischen Markt werden schnelle Fortschritte dank unterstützender politischer Rahmendbedingungen sowie der 5G-Infrastruktur prognostiziert. Im Vergleich dazu wird in Europa und den USA eine langsamere Marktdurchdringung prognostiziert. Bis zum Jahr 2035 sollen Fahrzeuge mit Systemen der SAE-Level 3 und vor allem des SAE-Level 4 große Marktanteile erreichen, während mit Einnahmen durch vollautonome Fahrzeuge des SAE-Level 5 deutlich später zu rechnen ist. Dabei ist vor allem der wachsende Markt für autonome Fahrdienste zu hervorheben, dem ein Umsatzpotenzial von bis zu 500 Milliarden Dollar im Jahr 2035 durch den Verkauf und dem Betrieb prognostiziert wird. Weiterhin wird Hardwarekomponenten wie Steuergeräte und Sensoren sowie Softwarelösungen ein stetiges Marktwachstum zugesprochen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Abschnitt 3.4 und 4.1, die eine hohe Offenheit der Gesellschaft gegenüber autonomen Mobilitätsdienstleistungen sowie erhebliche Marktpotenziale für den Verkauf und Betrieb solcher autonomen Fahrzeuge aufzeigen, wird bei der Darstellung potenzieller Entwicklungsszenarien in 4.2 deutlich, dass durch das autonome Fahren einen Wandel im zukünftigen Nutzungsverhalten erfolgen könnte. Insbesondere in städtischen Gebieten ist die Entwicklung weg von dauerhaftem Privatbesitz eines Fahrzeuges hin zu temporärer und bedarfsorientierter Nutzung in Form von Ride-Hailing und Ride-Pooling zu erwarten. Infolgedessen ergeben sich drei Einführungsszenarien für den autonome Fahrzeugmarkt. Im evolutionären Szenario erfolgt die Implementierung von autonomen Fahrsystemen in Privatfahrzeugen schrittweise durch traditionelle Automobilhersteller, während bei einem revolutionärem Szenario Unternehmen aus der IT-Branche auf einen schnellen Markteintritt autonomer Fahrzeuge im Rahmen von Mobilitätsdienstleistungen setzen. Das transformative Szenario setzt wiederum auf eine Kombination aus öffentlichen Verkehrsmitteln und Personenbeförderungsdiensten.

Durch das autonome Fahren wird sich in zukünftigen Visionen ein Verkehr erhofft, in dem hauptsächlich Fahrzeuge autonomer Mobilitätsdienstleistungen und öffentlicher Verkehrsmittel verkehren. Durch die sogenannte Car2X-Kommunikation, die sowohl Vernetzung zwischen autonomen Fahrzeugen als auch mit der Verkehrsinfrastruktur umfasst, soll eine effiziente Steuerung von Verkehrsströmen ermöglicht werden. In Verbindung mit der Reduktion privater Fahrzeuge wird durch das autonome Fahren eine Abnahme der CO₂-

Emissionen erwartet. Dennoch kommen auf dem Weg zum Erreichen dieser Ziele zahlreiche Hürden für eine umfassende Marktdurchdringung auf. Die Herausforderungen sind dabei vor allem technischer, rechtlicher und ethischer Natur. Die im Abschnitt 4.4 betrachtete Befragung macht deutlich, dass aus unternehmerischer Sicht die rechtlichen Rahmenbedingungen als größte Hürde gesehen werden. Sowohl für die Unternehmen als auch Konsumenten sorgt die Tatsache, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen global unterschiedlich gesetzt sind, für Unsicherheit. Zusätzlich müssen Fragestellungen im Hinblick der Cyber-Sicherheit und der Ethik aus dem Weg geräumt werden. So ist beispielsweise noch zu klären, ob der Insasse oder das autonome System die Verantwortung für Entscheidungen trägt, die möglicherweise über Leben und Tod entscheiden.

Das autonome Fahren führt möglicherweise zu grundlegenden Veränderungen im Geschäftsmodell traditioneller Automobilhersteller. Die Verschiebung hin zu Mobilitätsdienstleistungen birgt Risiken wie eine sinkende Nachfrage nach Privatfahrzeugen und eine stärkere Marktmacht branchenfremder Unternehmen wie Google mit Waymo, die den Fokus auf Sharing-Dienstleistungen gesetzt haben. Zudem können digitale Vernetzung und Softwaretechnologien als Differenzierungsmerkmal an Bedeutung gewinnen, wodurch traditionelle Eigenschaften von Fahrzeugen in den Hintergrund treten. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind vermehrte branchenübergreifende Kooperationen am Markt zu beobachten. Zusätzlich sorgt der Wandel der Anforderungen und Erwartungen durch das autonome Fahren für grundlegende Veränderungen in der klassischen Wertschöpfungskette der Fahrzeugindustrie. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussage möglich, ob Automobilhersteller oder IT-Unternehmen als Lieferant dienen und die andere Partei die Wertschöpfungskette vorgeben werden. Dabei ist es von großer Wahrscheinlichkeit, dass je nach Wertschöpfungskette eine Fusion aus beiden Möglichkeiten stattfinden wird.

Es ist jedoch klar, dass durch die Marktentwicklung des autonomen Fahrens branchenfremde Akteure aus den USA und China vermehrt in der Fahrzeugindustrie agieren werden. Der Verkehr in Städten wird zukünftig eine Mischung von verschiedenen Transportmitteln vorweisen. Privatfahrzeuge können für bestimmte Fahrsituationen beispielsweise auf Autobahnfahrten mit autonomen Fahrsystemen entsprechend dem SAE-Level 3 betrieben werden. Innerstädtisch werden auch aufgrund des Bestrebens der Politik die hauptsächlichen Transportmittel vor allem autonome Mobilitätsdienstleistungen und der öffentliche Personennahverkehr darstellen. Für traditionelle Automobilhersteller wie Mercedes-Benz und BMW ist es nun von wesentlicher Bedeutung vermehrt zuverlässige Technologien der SAE-Level 3 in Privatfahrzeugen zu implementieren, aber auch den Blick auf den Markt für

autonome Mobilitätsdienstleistungen nicht zu verlieren, um so zukünftig weiterhin als wichtige Industrie der deutschen Wirtschaft gelten zu können.

6.2 Handlungsempfehlungen

Aufbauend auf den Hauptkenntnissen zur Marktentwicklung des autonomen Fahrens im Rahmen dieser Arbeit ergeben sich Handlungsempfehlungen für traditionelle Automobilhersteller und der Gesetzgebung:

Handlungsempfehlungen für traditionelle Automobilhersteller:

Durch die weitere Entwicklung des autonomen Fahrens sollten traditionelle Automobilhersteller zusätzlich zu ihrem Kerngeschäft ihre Arbeiten im Ausbau von Mobilitätsdienstleistungen intensivieren, um zukünftig wichtige Marktanteile nicht an ausländische Unternehmen wie Waymo oder Uber zu verlieren. Dabei sollten die Automobilhersteller sowohl eigene Dienste für Konzepte des Ride-Hailing und -Pooling anbieten, aber auch durch Partnerschaften mit ausländischen, branchenfremden Mobilitätsdienstleistungsunternehmen die Rolle des Fahrzeugzulieferers einnehmen. Folglich könnten so zum einen zukünftig wichtige Marktanteile in der Mobilitätsdienstleistungsbranche erschlossen und zum anderen sinkende Absatzzahlen im Verkauf von Privatfahrzeugen ausgeglichen werden. Zudem kann die gesellschaftliche Skepsis gegenüber autonomer Fahrtechnologien in Privatfahrzeugen vermindert werden, indem das Vertrauen der Menschen zunächst durch zuverlässige Technologien innerhalb von Mobilitätsdienstleistungen gewonnen wird. Strategische Partnerschaften mit Unternehmen aus der IT-Branche sind für die Reduktion von Entwicklungskosten und dem Zugang technologischer Innovationen wichtig. Dennoch ist der Aufbau eigener IT-Kompetenzen sinnvoll, um die Abhängigkeit zu begrenzen. Womöglich erfolgt zukünftig die Verlagerung der klassischen Kaufkriterien eines Fahrzeuges hin zu Eigenschaften wie die Verlässlichkeit der Software, weshalb neben dem Ausbau der autonomen Fahrtechnologie die Erweiterung von Kompetenzen in Bereichen der Elektronik, Softwaretechnologien und KI von wesentlicher Bedeutung sein werden.

Handlungsempfehlungen in Hinsicht regulatorischer Rahmenbedingungen:

Um den Markteintritt autonomer Fahrzeuge zu erleichtern und den Unternehmen Planungssicherheit zu bieten, sollten Mitgliedsstaaten der Europäischen Union an einer einheitlichen Regulierung des autonomen Fahrens festhalten. Gleichzeitig sollte die heimische Innovationskraft durch die Finanzierung von Pilotprojekten und Technologiezentren gestärkt

werden, so dass mit Unternehmen wie Waymo, die im Gegensatz zu beispielsweise Moia deutlich größere Flotten autonomer Fahrzeuge betreiben, mitgehalten werden kann. Dies beinhaltet auch die Bereitstellung von vermehrten inländischen Testzonen und Einsatzgebieten für autonome Fahrzeuge, um so die technologische Entwicklung zu bestärken und die Gesellschaft mit dem autonomen Fahren vertraut zu machen.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, und H. Winner, Hrsg., *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-662-45854-9.
- [2] T. M. Gasser, Hrsg., *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe; [Bericht zum Forschungsprojekt F 1100.5409013.01]*. in *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen F, Fahrzeugtechnik*, no. 83. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wissenschaft, 2012.
- [3] H. Winner, K. C. J. Dietmayer, L. Eckstein, M. Jipp, M. Maurer, und C. Stiller, Hrsg., *Handbuch Assistiertes und Automatisiertes Fahren: Grundlagen, Komponenten und Systeme für assistiertes und automatisiertes Fahren*. in *ATZ/MTZ-Fachbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2024. doi: 10.1007/978-3-658-38486-9.
- [4] E. Shi, T. M. Gasser, A. Seeck, und R. Auerswald, The Principles of Operation Framework: A Comprehensive Classification Concept for Automated Driving Functions, *SAE Int. J. Connect. Autom. Veh.*, Bd. 3, Nr. 1, Feb. 2020, doi: 10.4271/12-03-01-0003.
- [5] SAE International, „SAE J3016 LEVELS OF DRIVING AUTOMATION“. Zugegriffen: 14. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/blog/sae-j3016-visual-chart_5.3.21.pdf
- [6] P. Davidson und A. Spinoulas, „Autonomous Vehicles - What Could This Mean For The Future Of Transport?“, *AITPM Traffic Transp. Conf. 28-31 July 2015 Brisb. Qld.*, 2015, Zugegriffen: 2. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <http://transposition.com.au/papers/AutonomousVehicles.pdf>
- [7] M. Lalli, *Autonomes Fahren und die Zukunft der Mobilität*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2023. doi: 10.1007/978-3-662-68124-4.
- [8] H. Chen, L. Li, und P. Wang, „Driverless Industry: Current State, Business Model, Challenges and Prospects“, *BCP Bus. Manag.*, Bd. 20, S. 1026–1032, Juni 2022, doi: 10.54691/bcpbm.v20i.1095.
- [9] L. Bruder und D. Krayzler, „Autonomes Fahren und das Projekt KI-Wissen“, in *Künstliche Intelligenz und Data Science in Theorie und Praxis: Von Algorithmen und Methoden zur praktischen Umsetzung in Unternehmen*, A. Gillhuber, G. Kauermann, und W. Hauner,

- Hrsg., Berlin, Heidelberg: Springer, 2023, S. 235–245. doi: 10.1007/978-3-662-66278-6_19.
- [10] M. Nolting, „Autonomes Fahren und Künstliche Intelligenz“, in *Künstliche Intelligenz in der Automobilindustrie: Mit KI und Daten vom Blechbieger zum Techgiganten*, M. Nolting, Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2021, S. 113–129. doi: 10.1007/978-3-658-31567-2_4.
- [11] C. J. Gruber und I. Eisenberger, „Wenn Fahrzeuge selbst lernen: Verkehrstechnische und rechtliche Herausforderungen durch Deep Learning?“, Zugriffen: 23. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73600/03_Forschung/AUTO-NOM/Gruber__Eisenberger_I_2017_-_Wenn_Fahrzeuge_selbst_lernen__in_Eisenberger_I__ea__Autonomes_Fahren_und_Recht__51.pdf
- [12] Bundesregierung, „Gesetz zum autonomen Fahren“. Zugriffen: 6. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- [13] Bundesregierung, „Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes“. Zugriffen: 8. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://dserver.bundestag.de/btd/18/117/1811776.pdf>
- [14] D. Graewe, „Autonomes Fahren – Traum der Ingenieure, Alptraum der Juristen?“, *Nord. Hochsch. Wirtsch.*, [Online]. Verfügbar unter: <https://monami.hs-mittweida.de/frontdoor/deliver/index/docId/12330/file/Graewe.pdf>
- [15] R. Dumitrescu u.a., „Studie „Autonome Systeme“, in Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. Nr.13-2018, Expertenkommission Forschung und Innovation Hrsg., [Online]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/175555/1/1015315232.pdf>
- [16] Dentons, „2024 US Autonomous Vehicles Guide“. Zugriffen: 7. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://insights.dentons.com/473/31127/uploads/brand-138176-2024-us-autonomous-vehicles-guide-12.pdf>

- [17]L. Xu, B. He, H. Zhou, und J. He, „Impact and revolution on law on road traffic safety by autonomous driving technology in China“, *Comput. Law Secur. Rev.*, Bd. 51, S. 105906, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.clsr.2023.105906.
- [18]KPMG International, „2020 Autonomous Vehicles Readiness Index“, Juni 2020, [Online]. Verfügbar unter: https://hub.kpmg.de/hubfs/LandingPages-PDF/2020-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf?utm_medium=email&_hsenc=p2ANqtz-8RJb4kQBy3lhnTTzyFKcON1Td_yJJ3PeoCKaFljjhgSmBzw8NILZJiQYNbLF_K4ScGvb mfdEx7vrWK7DiHk466dV-T3dPmNMqaxodU5ijv0lfVDAY&_hsmi=93425801&utm_content=93425801&utm_source=hs_automation
- [19]McKinsey & Company, „Autonomous driving in China“. Zugegriffen: 7. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/from-sci-fi-to-reality-autonomous-driving-in-china>
- [20]L. Block, Dr. F. Herrmann, J. Wizl, D. Borrmann, Prof. Dr. S. Bratzel, und F. Böbber, „Deutschland zum Innovationsstandort für das automatisierte und vernetzte Fahren machen“, Feb. 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.24406/publica-2196>.
- [21]Canalys, „Our story“, Canalys. Zugegriffen: 13. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.canalys.com/about/our-story>
- [22]Canalys „Huge opportunity as only 10 of the 1 billion cars in use have ADAS_features.pdf“. Zugegriffen: 10. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://canalys-prod-public.s3.eu-west-1.amazonaws.com/static/press_release/2021/390135765Huge_opportunity_as_only_10_of_the_1_billion_cars_in_use_have_ADAS_features.pdf
- [23]Center of Automotive Management, „AutomotiveINNOVATIONS Report 2023: - CAM“. Zugegriffen: 13. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://auto-institut.de/presse/automotiveinnovations-report-2023/>
- [24]W. Rzepka, „AUTOMATISIERTES UND VERNETZTES FAHREN AUF DIE STRASSE BRINGEN“, Feb. 2024, Zugegriffen: 13. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://expertenkreis-automobilwirtschaft.de/media/pages/home/b5d8110ba5-1724667645/expertenkreis-transformation-automobilwirtschaft_kurzpapier_automatisiertes-vernetztes-fahren_final_20240220.pdf

- [25] McKinsey & Company, „Autonomous driving’s future: Convenient and connected“. Zugriffen: 7. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/automotive%20and%20assembly/our%20insights/autonomous%20drivings%20future%20convenient%20and%20connected/autonomous-driving-future-convenient-and-connected_final.pdf?shouldIndex=false
- [26] Mercedes-Benz, „Mercedes-Benz fährt mit DRIVE PILOT hochautomatisiert bis 95 km/h auf der Autobahn“. Zugriffen: 14. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://media.mercedes-benz.com/article/4c04b46a-05e3-4a20-930c-1ba42fa005ab>
- [27] Mercedes-Benz, „Revolution beim automatisierten Fahren: Mercedes-Benz kündigt DRIVE PILOT Verkaufsstart in den USA an – weltweit erstes zertifiziertes System nach SAE Level 3“. Zugriffen: 14. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://media.mercedes-benz.com/article/8505c9be-312c-4376-902b-89153917db92>
- [28] Mercedes-Benz, „Mercedes-Benz erhält Zulassung zum Testen vollautomatisierter Fahrsysteme nach SAE-Level 4 in Peking für die Anwendung in Privatfahrzeugen“. Zugriffen: 14. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://media.mercedes-benz.com/article/0da2ded1-d3ed-477c-8d02-770ce6fe8a77>
- [29] BMW Group, „Auf dem Weg zum autonomen Fahren: BMW erhält als erster Automobilhersteller die Zulassung für die Kombination von Level 2 und Level 3.“ Zugriffen: 14. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0443285DE/auf-dem-weg-zum-autonomen-fahren:-bmw-erhaelt-als-erster-automobilhersteller-die-zulassung-fuer-die-kombination-von-level-2-und-level-3?language=de>
- [30] S. Bratzel, „Akzeptanz autonomer Fahrzeuge in Deutschland - CAM“. Zugriffen: 5. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://autoinstitut.de/automotiveinnovations/mobility-services/akzeptanz-autonomer-fahrzeuge-in-deutschland/>
- [31] H.-C. Versicherungsgruppe, „HUK-COBURG Mobilitätsstudie 2024“, HUK-Mobilitätsstudie 2024. Zugriffen: 20. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.huk.de/fahrzeuge/ratgeber/mobilitaetsstudie.html>
- [32] M. Guan, T. Fang, B. Peng, und T. Zhou, „McKinsey China Auto Consumer Insights 2024“. Zugriffen: 12. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter:

<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-china-auto-consumer-insights-2024>

- [33]C. Richter, „Wer in China erfolgreich verkaufen möchte, muss chinesische Verbraucher verstehen“, in *E-Commerce Trends in China: Social Commerce, Live-Streaming oder New Retail*, C. Richter, Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2021, S. 3–10. doi: 10.1007/978-3-658-33345-4_2.
- [34]A. Cacilo und M. Haag, *Beschäftigungswirkungen der Fahrzeugdigitalisierung: Wirkungen der Digitalisierung und Fahrzeugautomatisierung auf Wertschöpfung und Beschäftigung*. in Study / Hans-Böckler-Stiftung, no. Nr. 406 (November 2018). Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2018.
- [35]strategy&, „Digital Auto Report 2023“. Zugriffen: 23. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/digital-auto-report2023/vol2/strategyand-digital-auto-report-2023-vol2.pdf>
- [36]Deloitte, „Datenland Deutschland - Autonomes Fahren_Safe.pdf“. Zugriffen: 26. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20-%20Autonomes%20Fahren_Safe.pdf
- [37]T. A.Klein und S. Altenburg, *Autonomes Fahren - steuern oder überrollt werden?* Zugriffen: 23. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.argus-hh.de/downloads/permanent/SVT_03_2019_Autonomes_Fahren.pdf
- [38]M. Roos und M. Siegmann, *Technologie-Roadmap für das autonome Autofahren: Eine wettbewerbsorientierte Technik- und Marktstudie für Deutschland*. in Study / Hans-Böckler-Stiftung, no. Nr. 188 (Juli 2020). Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2018
- [39]A. Hahn, R. Hofmann, V. Bilgram, J. O. Schwarz, A. Meinheit, und J. Füller, „Easy Rider“, in *Die frühe Phase des Innovationsprozesses: Neue, praxiserprobte Methoden und Ansätze*, T. Abele, Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2016, S. 75–98. doi: 10.1007/978-3-658-09722-6_5.
- [40]M. Roos und M. Siegmann, „Wie das autonome Fahren die Verkehrswende unterstützt oder gefährdet“, in *Transforming Mobility – What Next? Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, H. Proff, Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2022, S. 797–812. doi: 10.1007/978-3-658-36430-4_47.

- [41]S. A. Beiker, „Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge“, in *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, und H. Winner, Hrsg., Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, S. 197–217. doi: 10.1007/978-3-662-45854-9_10.
- [42]B. Padmaja, CH. V. K. N. S. N. Moorthy, N. Venkateswarulu, und M. M. Bala, „Exploration of issues, challenges and latest developments in autonomous cars“, *J. Big Data*, Bd. 10, Nr. 1, S. 61, Mai 2023, doi: 10.1186/s40537-023-00701-y.
- [43]Mercedes-Benz, „Introducing DRIVE PILOT: An Automated Driving System for the Highway“, [Online]. Verfügbar unter: <https://group.mercedes-benz.com/dokumente/innovation/sonstiges/2023-03-06-vssa-mercedes-benz-drive-pilot.pdf>
- [44]X.-W. Li und H.-Z. Miao, „How to Incorporate Autonomous Vehicles into the Carbon Neutrality Framework of China: Legal and Policy Perspectives“, *Sustainability*, Bd. 15, Nr. 7, Art. Nr. 7, Jan. 2023, doi: 10.3390/su15075671.
- [45]W. Siebenpfeiffer, Hrsg., *Mobilität der Zukunft: Intermodale Verkehrskonzepte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2021. doi: 10.1007/978-3-662-61352-8.
- [46]McKinsey & Company, „The autonomous vehicle industry moving forward“. Zugriffen: 7. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/autonomous-vehicles-moving-forward-perspectives-from-industry-leaders>
- [47]R. Hussain und S. Zeadally, „Autonomous Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges“, *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, Bd. 21, Nr. 2, S. 1275–1313, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2869360.
- [48]Robert Bosch GmbH, „Zukunft des automatisierten Fahrens“, in *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*, Robert Bosch GmbH, Hrsg., in 30. Auflage. , Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2024, S. 1934–1939. doi: 10.1007/978-3-658-44233-0_28.
- [49]Audi AG, „„SocAlty“-Studie: Autonomes Fahren im Spannungsfeld zwischen technologischem Fortschritt & gesellschaftlicher Akzeptanz“, Audi MediaCenter. Zugriffen: 19. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.audi-mediacycenter.com/de/pressemappen/socaity-studie-autonomes-fahren-im-spannungsfeld-zwischen-technologischem-fortschritt-und-gesellschaftlicher-akzeptanz-14400>

- [50] Bundesministerium für Digitales und Verkehr, „BMDV - Bericht der Ethik-Kommission“, Bericht der Ethik-Kommissio. Zugriffen: 3. November 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.html>
- [51] L. Grösch, „Autonomes Fahren — Utopie oder Wirklichkeit?“, in *Radikale Innovationen in der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, H. Proff, Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 253–266. doi: 10.1007/978-3-658-03102-2_15.
- [52] S. Rajasekaran, „Review and Analysis of Autonomous Vehicles - Current State and Challenges“, *J. Eng. Appl. Sci. Technol.*, S. 1–3, Feb. 2023, doi: 10.47363/JEAST/2023(5)187.
- [53] A. Grimm und M. Pfaff, „Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche. Teilbericht Arbeitspaket 4: Entwicklungen im Regime“, *Hans-Böckler-Stift.*, Nr. 249, Juni 2022.
- [54] ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e. V., u.a., „Fahrzeugbau - wie verändert sich die Wertschöpfungskette?“, Zugriffen: 3. November 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ihk-muenchen.de/de/Wirtschaftsstandort/branchen/industrie/studie-fahrzeugbau.html>
- [55] P. Schadt und N. Weis, „Automobilindustrie im Umbruch: Digitalisierung und Elektrifizierung als Trends?“, *Z. Z. Marx. Erneu.*, Nr. 129, S. 174–185, 2022.
- [56] J. Clausen und Y. Olteanu, „Neue Akteure in der Automobilbranche: Waymo, Build Your Dreams und Sono Motors“, *Hans-Böckler-Stift.*, Nr. 204, Feb. 2021, [Online]. Verfügbar unter: <https://hdl.handle.net/10419/231453>
- [57] M. Lempp und P. Siegfried, *Automobile Disruption und die urbane Mobilitätsrevolution: Das Geschäftsmodell 2030 überdenken*. Cham: Springer International Publishing, 2022. doi: 10.1007/978-3-031-19882-3.
- [58] H. Bardt, „Autonomes Fahren – eine Herausforderung für die deutsche Autoindustrie“, *IW Trends*, Bd. 43, Nr. 2, 2016, doi: 10.2373/1864-810X.16-02-04.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit



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.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Rahmatian

Name: _____

Vorname: Reza

Vorname: _____

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Marktentwicklung des autonomen Fahrens

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.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorarbeit ist erfolgt durch:

Hamburg

15.11.2024

Ort

Datum

Unterschrift im Original