



FOM Hochschule für Ökonomie und Management

Hochschulzentrum München

Seminararbeit

Im Rahmen des Moduls

Arbeitsmethoden und Softwareunterstützung

Über das Thema

Umwelteffekte des autonomen Fahrens

von

Julian Türner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 autonome Fahrzeuge	1
1.1.1 Gesetzliche Regelungen	1
1.1.2 Klimaschutzziele	1
2 Umwelt- und Klimaeffekte	2
2.1 Kraftstoffeinsparungen	2
2.1.1 Kraftstoffeinsparungen auf Autobahnen	2
2.1.2 Kraftstoffeinsparungen im Individualverkehr im städtischen Verkehr	3
2.1.3 Kraftstoffeinsparungen bei Flottenfahrzeugen	3
2.1.4 Positive Umwelteinwirkung durch die Reduktion von Fahrzeugen	4
2.2 LKW	5
2.3 Infrastrukturen für Autonomes Fahren	5
2.3.1 Materielle Infrastrukturen: Datenübertragung (5G), Datenstandards	5
3 Mobilitätsdienstleistungen und deren besondere Infrastrukturvoraussetzungen	7
3.1 Konzept, Klima-/Umweltrelevanz, Markttrends	7
3.1.1 Umwelt-/Klimarelevanz	8
4 Umweltbelastung	9
5 Kraftfahrzeuge	10
5.1 Teilsysteme von Kraftfahrzeugen	10
5.1.1 Antriebseinheit	11
5.1.2 Arbeitseinheit	11
5.1.3 Energieübertragungseinheit	11
5.1.4 Stütz- und Trageinheit	11
5.1.5 Steuerungs- und Regelungseinheit	11
5.2 Fahrzeugklassen	12
5.2.1 Klasse M	13
5.2.2 Klasse N	14
5.3 Umweltbelastungen durch Kraftfahrzeuge	14
5.3.1 Verbrennungsabgase	14
5.3.2 Feinstaub	15
5.3.3 Infrastruktur	16
6 Assistenzsysteme	17
6.1 Assistenzsysteme	17
6.1.1 Keine Assistenzsysteme	17
6.1.2 Assistenzsysteme	17

6.1.3	Teilautomatisierung	17
6.1.4	Bedingte Automatisierung	17
6.1.5	Hochautomatisierung	17
6.1.6	Vollautomatisierung	17
7	Problemlösung durch Assistenzsysteme	18

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	:	Teilsysteme des Kraftfahrzeugs	10
--------	---	--------------------------------------	----

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Kfz *Kraftfahrzeug*

Nfz *Nutzfahrzeug*

Pkw *Personenkraftwagen*

SAE *Society of Automotive Engineers*

GRA *Geschwindigkeitsregelanlage*

km/h Kilometer pro Stunde

t Tonnen

NO Stickoxide

NO_x Stickstoffoxide

H₂O Wasser

CO₂ Kohlenstoffdioxid

CO Kohlenmonoxid

HC Hydrocarbon

z.B. zum Beispiel

u.a. unter anderem

u.s.w. und so weiter

1 Einleitung

1.1 autonome Fahrzeuge

Sind Fahrzeuge die nicht nur automatisch fahren sondern von einem System gesteuert werden. Somit sind diese Fahrzeuge aus Sicht der Nutzenden autonom.

Während manche in der Verbreitung autonomer Fahrzeuge die Lösung vieler Probleme sehen können, vermuten andere eine Verschlechterung der Verkehrs- und Umweltlage.

Die Bedeutung von autonomen Fahrzeugen, hängt sowohl von der technischen Komplexität sowie von politischen Regulierung ab.

In welchem Maß die Level 5 Systeme im Straßenverkehr teilnehmen entscheidet vorerst der gesetzliche Rahmen. Dies ist wiederum abhängig wie der Verkehr von morgen aussehen soll.

1.1.1 Gesetzliche Regelungen

Was ist bereits wo erlaubt? Welche Länder haben was freigegeben?

Hauptsächlich wird Sicherheit und die Senkung schädlicher Emissionen sowie das Erreichen der Klimaschutzziele im Verkehr die größte Rolle spielen.

1.1.2 Klimaschutzziele

Wer bestimmt Klimaschutzziele? Welche Klimaschutzziele gibt es? Welche Klimaschutzziele sollen erreicht werden?

2 Umwelt- und Klimaeffekte

Die Umwelt- und Klimaeffekte durch autonomes Fahren ist durch die Vielzahl der Verknüpfungen mit anderen Technologien wie Elektromobilität oder Dienstleistungen von Fahrdiensten und Car-Sharing-Angeboten im direkten Vergleich kaum noch bestimmbar.

Grundsätzlich werden Klimaeffekte abhängig von:

- den eingesetzten Technologien
- den Kosten künftiger Mobilitätsdienstleister
- gesetzlichen Bestimmungen
- der Nachfrage von Nutzern

Im direkten Vergleich von autonomen Fahrzeugen zu konventionellen Fahrzeugen fällt besonders der Kraftstoffverbrauch und die Entstehung von Feinstaub auf, aber auch andere Faktoren können die Umwelt weniger belasten wie die generelle Reduktion von Fahrzeugen.

2.1 Kraftstoffeinsparungen

Kraftstoffeinsparungen durch autonomes Fahren im Straßenverkehr können sich durch eine Steigerung der Effizienz im Verkehrsfluss und einer abgestimmten Fahrweise bei einer optimalen Routenführung ergeben.

Erste Wirkungen können sich bereits im Mischverkehr aus autonom und konventionell gesteuerten Kraftfahrzeugen bemerkbar machen durch weniger Brems- und Beschleunigungsvorgängen. Die Wirkungen könnten sich mit einer steigenden Marktdurchdringung von autonomen Fahrzeugen durch sinkenden stockenden Verkehr sowie eine Reduzierung von Staus bemerkbar machen.

2.1.1 Kraftstoffeinsparungen auf Autobahnen

Erste Abschätzungen zu Kraftstoffeinsparungen im Individualverkehr auf Autobahnen in Deutschland wurde vom Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) vorgenommen.

Dort wurde die Wirkung von drei bereits existierenden Assistenzsystemen (Stau-Chauffeur, Spurwechsel-Chauffeur, Autobahn-Chauffeur) der Automatisierungsstufe 3 auf Autobahnen begutachtet.

Die Wirkung wurde für zwei verschiedene Szenarien ausgewiesen. Das erste Szenario basiert darauf dass alle Kraftfahrzeuge autonom fahren. Im zweiten Szenario betrug der Anteil ungefähr 45.000 autonome Fahrzeuge.

Auf der Basis von einer 10-20 prozentigen Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs ergab sich im ersten Szenario ein jährliches Sparpotential zwischen 360 und 720 Millionen Euro und im zweiten Szenario von 0,4 bis 0,8 Millionen Euro.

Rechnet man diese Werte auf einzelne autonome Kraftfahrzeuge um, ergäbe dies eine Einsparung für jedes autonome Kraftfahrzeug von 8 bis 16 € pro Jahr.¹

Eine weitere Einsparung auf Autobahnen durch autonome Fahrzeuge könnte mit dem systembedingten Verzicht der Überschreitung von Fahrgeschwindigkeiten über der Richtgeschwindigkeit. Der Verzicht von höheren Geschwindigkeiten auf Autobahnen kann zu enormen Einsparungen im Kraftstoffverbrauch führen, da mit steigender Geschwindigkeit der Kraftstoffverbrauch überproportional rasant ansteigt.

2.1.2 Kraftstoffeinsparungen im Individualverkehr im städtischen Verkehr

Zu den Kraftstoffeinsparungen auf Autobahnen werden von autonomen Kraftfahrzeugen besonders im städtischen Verkehr eine deutliche Reduzierung im Verbrauch von Kraftstoffen erwartet.

Große Einsparpotentiale bieten hierfür:

- die Steigerung des Verkehrsflusses insbesondere an Knotenpunkten
- Verstetigung der Geschwindigkeit
- die Vermeidung von Verkehrsstörungen

Wie die Auswertung internationaler Studien² gezeigt hat, können Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch von bis zu 31 Prozent im städtischen Bereich sowie bis zu 45 Prozent bei einer optimierten Knotenpunktsteuerung erreicht werden. Diese Abschätzungen basieren auf Simulations- und Modellrechnungen. Die Menge der Kraftstoffeinsparungen hängt unter anderem von mehreren Faktoren ab:

- die verwendete Automatisierungsstufe
- der Marktanteil von autonomen Fahrzeugen
- die Vernetzung zwischen den Fahrzeugen
- die Vernetzung zwischen den Fahrzeugen und der Infrastruktur

2.1.3 Kraftstoffeinsparungen bei Flottenfahrzeugen

Bei Flottenfahrzeugen wäre eine intensivere Nutzung der autonomen Fahrzeuge zu erwarten, wodurch sich der Nutzungszeitraum verkürzt. Dadurch werden Flottenfahrzeuge früher ausrangiert. Durch das schnelleren Wechsel der Flottenfahrzeuge werden Fahrzeuge mit technologischen Erneuerung die weniger Luftschadstoffe und Emissionen produzieren schneller eingesetzt. Dies könnte im städtischen Bereich zu einer Reduktion von Verkehrsbedingen Luftschadstoffen und Emissionen führen.

¹Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, November 2015, S. 264ff.

²Milakis, D., van Arem, B., van Wee, B., Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research, Journal of Intelligent Transportation Systems, 2017, Vol. 21, No. 4, 335f

2.1.4 Positive Umwelteinwirkung durch die Reduktion von Fahrzeugen

Positive Umwelteinwirkung durch autonomes Fahren kann durch eine Reduktion an Fahrzeugen erwartet werden.

Mobilitätsdienstleister mit autonomen Taxen können Kunden abholen und zu Zielort bringen, und vermindern die Notwendigkeit zum Kauf eines Fahrzeugs, das im Schnitt 95 Prozent der Zeit ungenutzt parkt.⁸⁵

Dabei verwischen die traditionellen Grenzen zwischen den Verkehrssystemen, weil das autonome Fahrzeug im Prinzip alles sein kann: privates Auto, Taxi, Bus, Car-Sharing-Fahrzeug oder Sammeltaxi. Verschiedene Studien versuchen in Szenarien zu berechnen, wie viele private Pkw sich durch Robo-Taxen bzw. Robo-Busse ersetzen ließen. So kommt eine Studie für die Stadt München zum Ergebnis, dass eine autonome Stadtflotte von 18.000 Fahrzeugen den gesamten Individualverkehr innerhalb des festgelegten Servicegebiets sowie 20 Prozent des Pendlerverkehrs abdecken könnte. Damit wären theoretisch bei einer zeitlichen Auslastung der Robo-Flotte von über 50 Prozent ca. 200.000 der 700.000 in München gemeldeten Fahrzeuge zu ersetzen.⁸⁶ Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch andere Studien: Im Falle gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrdienste wären danach nur 10 bis 30 Prozent des heutigen Fahrzeugbestandes notwendig, ohne dass es Einschränkungen in der Mobilität gäbe.⁸⁷ Für die EU und USA erwarten aktuelle Untersuchungen bereits zwischen 2020 und 2030 einen Rückgang des Fahrzeugbestandes um 25 Prozent, vor allem ausgelöst durch eine intensive Nutzung von autonomen Fahrdiensten (inkl. Ride-Sharing).⁸⁸ Gleichwohl bliebe auch danach privater Pkw-Besitz von dann häufig auch autonomen Fahrzeugen noch wichtig. Bis 2040 könnten anderen Szenarien zufolge bereits 50 Prozent der Autos autonom fahren, der Besitz an privaten PKW um 50 Prozent sinken, da jedes gemeinsam genutzte fahrerlose Auto nicht weniger als sieben traditionelle Autos ersetzen könnte.⁸⁹ Gleichzeitig würde durch Robo-Taxis auch der Parksuchverkehr entfallen, der ja in den Innenstädten Städtische Mobilitätsangebote von autonomen Fahrdiensten (Roboter-Taxiflotten), die die Kunden abholen und zum gewünschten Zielort bringen, vermindern die Notwendigkeit zum Kauf eines privaten Fahrzeugs, das im Schnitt 95 Prozent der Zeit ungenutzt parkt.⁸⁵ Dabei verwischen die traditionellen Grenzen zwischen den Verkehrssystemen, weil das autonome Fahrzeug im Prinzip alles sein kann: privates Auto, Taxi, Bus, Car-Sharing-Fahrzeug oder Sammeltaxi. Verschiedene Studien versuchen in Szenarien zu berechnen, wie viele private Pkw sich durch Robo-Taxen bzw. Robo-Busse ersetzen ließen. So kommt eine Studie für die Stadt München zum Ergebnis, dass eine autonome Stadtflotte von 18.000 Fahrzeugen den gesamten Individualverkehr innerhalb des festgelegten Servicegebiets sowie 20 Prozent des Pendlerverkehrs abdecken könnte. Damit wären theoretisch bei einer zeitlichen Auslastung der Robo-Flotte von über 50 Prozent ca. 200.000 der 700.000 in München gemeldeten Fahrzeuge zu ersetzen.⁸⁶ Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch andere Studien: Im Falle gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrdienste wären danach nur 10 bis 30 Prozent des heutigen Fahrzeugbestandes notwendig, ohne dass es Einschränkungen in der Mobilität gäbe.⁸⁷ Für die EU und USA erwarten aktuelle Untersuchungen bereits zwischen 2020 und 2030 einen Rückgang des Fahrzeugbestandes um 25 Prozent, vor allem ausgelöst durch eine intensive Nutzung von autonomen Fahrdiensten (inkl. Ride-Sharing).⁸⁸ Gleichwohl bliebe auch danach privater Pkw-Besitz von dann häufig auch autonomen Fahrzeugen noch wichtig. Bis 2040 könnten anderen Szenarien zufolge bereits 50 Prozent der Autos autonom fahren, der Besitz an privaten PKW um 50 Prozent sinken, da jedes gemeinsam genutzte fahrerlose Auto nicht weniger als sieben traditionelle Autos ersetzen könnte.⁸⁹ Gleichzeitig würde durch Robo-Taxis auch der Parksuchverkehr entfallen, der ja in den Innenstädten Erstens können neue Fahrten, z.B. zu Freizeit Zwecken, und damit Mehrverkehr ausgelöst werden, wenn die Mobilitätskosten sinken und das Fahren dadurch attraktiver wird. Zweitens ist eine Verkehrsverlagerung von Fahrten hin zu Robo-Taxis denkbar, die vorher mit

dem öffentlichen Verkehr bzw. mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden. So könnten autonome Fahrangebote wegen des besseren, weil komfortableren Service präferiert werden. Dies könnte zu höheren Pkw-Fahrleistungen führen.⁹² Drittens können sich längerfristig auch raumintensivere Siedlungsstrukturen und damit weitere Wege zu den Aktivitätsorten (Wohnen, Arbeit, Freizeit) entwickeln. So erleichtern autonome Fahrzeuge längere Pendelwege, da die Mobilitätszeit durch den Wegfall der Fahraufgabe anders oder effizienter, z.B. zum Arbeiten oder zum Schlafen, genutzt werden kann. Dadurch können Wohnorte in stadtfernen Regionen künftig weit attraktiver werden, zumal nicht mit sinkenden Mietpreisen in Metropolen zu rechnen ist. Viertens können autonome Fahrzeuge auch privat bzw. als Firmenfahrzeuge gekauft und verwendet werden.⁹³ Vorstellbar sind kundenindividuelle Robo-Shuttles oder etwa «autonom fahrende Arbeits- und Schlafplätze», die etwa von Außendienstmitarbeitern genutzt werden. Dadurch könnten die Zahl der Fahrzeuge sowie die Verkehrsleistungen steigen und weitere negative Umwelteffekte entstehen (z.B. «Autonome Schlafwagenflotten», die Hotelübernachtungen einsparen). Insgesamt wird deutlich, dass bei autonomen Fahrzeugen bzw. Fahrdiensten sowohl positive als auch negative Klima- bzw. Umwelteffekte möglich wären. Hier braucht es noch weitergehende Untersuchungen, um durch wirksame regulative Rahmenbedingungen ggf. unerwünschte Umweltfolgen zu verhindern

2.2 LKW

In den Marktstudien wird darauf verwiesen, dass sich die Wirkungen vor allem aus Einsparungen bei den Personalkosten und bei den Kraftstoffkosten zusammensetzen. PwC sieht durch Platooning ein Einspareffekt bei den Kraftstoffkosten von rund 7 Prozent. Roland Berger beziffert den Einspareffekt in Höhe von 8 Prozent für das führende Fahrzeug und in Höhe von 14 Prozent für die folgenden Fahrzeuge bei einer Geschwindigkeit von 85 km/h.¹⁶ Das International Transport Forum beziffert die Kraftstoffkosteneinsparungen (infolge verbesserten Brems- und Beschleunigungsverhaltens) bei automatisiertem „eco-driving“ (keine Platoons) in Höhe von 4-10 Prozent, bei teilweise manuell gesteuerten Platoons in Höhe von 6-10 Prozent und bei vollautomatisierten Platoons bei über 10 Prozent

Klima-/Umwelteffekte

2.3 Infrastrukturen für Autonomes Fahren

Die Entwicklung der Zukunftstechnologien und des Markthochlaufs von autonomen Fahrzeugen (Level 4, 5) erfordert neben der Weiterentwicklung von Fahrzeugtechnologien für Autonomes Fahren (Level 5) auch materielle (5G, Datenstandards,) immaterielle (z.B. Software/AI-Kompetenzen) und institutionelle Infrastrukturen (rechtlich-regulativer Rahmen) als Erfolgsvoraussetzungen

2.3.1 Materielle Infrastrukturen: Datenübertragung (5G), Datenstandards

Als wesentliche technische Voraussetzungen für autonomes Fahren gelten Sensortechnologien, Software-Algorithmen und hochauflösende Karten. Für letzteres haben die deutschen Hersteller durch den Kauf des Kartenanbieters Here bereits die Voraussetzungen geschaffen. Gleichzeitig ist jedoch auch die Datenkommunikation zwischen Fahrzeug und Straßeninfrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure) sowie der Fahrzeuge untereinander (Vehicle-to-Vehicle) und zu großen Rechenzentren (z.B. der Hersteller) fundamental. Das autonom fahrende Auto muss zu anderen Fahrzeugen eine Verbindung herstellen und ihnen Dinge mitteilen können, die es selbst gelernt hat.¹⁰² Reaktionsschnelle Mobilfunknetze (5G) sowie Datenstandards für einen breitbandigen

und sicheren Datenaustausch sind hierfür essentiell.¹⁰³ So produzieren autonome Fahrzeuge exponentiell ansteigende Mengen an Daten durch ihre Sensorik wie Laser- (Lidar), Radarsensoren und Kameras, die sich auf 4.000 Gigabyte täglich summieren können. In cloudbasierten Datenpools werden diese Datenströme der autonom fahrenden Autos in Echtzeit in Datensätze verwandelt und an das Auto zurückübermittelt, damit es seine gesamte Umgebung erkennt. Dabei spielen Anwendungen der Künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens eine entscheidende Rolle.¹⁰⁴ Gleichzeitig stellen 5G-Funkkomponenten für autonome Fahrzeuge eine zusätzliche Schutzebene bereit, indem diese mit Fahrzeugen im näheren Umfeld und der Infrastruktur am Straßenrand zuverlässig und schnell kommunizieren, z.B. wenn die Sensoren keine Sichtverbindung haben oder nachteilige Wetterbedingungen herrschen.¹⁰⁵ Darüber hinaus könnten 5G-Netze mit geringen Latenzzeiten auch die Fernsteuerung autonomer Fahrzeuge ermöglichen. Flottenbetreiber von autonomen Fahrdiensten könnten dann in Fällen, in denen das Fahrzeug überfordert ist, mittels Fernsteuerung eingreifen. Allerdings dürften künftig sicherheitskritische Funktionen von autonomen Fahrzeugen nicht auf Mobilfunkverbindungen angewiesen sein. So gibt etwa die Google-Tochter Waymo an, dass ihre Fahrzeuge auch ohne eine ständige Verbindung sicher funktionieren würden. Prinzipiell sieht auch das Bundesverkehrsministerium 5G in der Mobilität als zwingende Infrastrukturvoraussetzung,¹⁰⁶ wobei das geplante 5G-Netz für zahlreiche Zukunftstechnologien ein Engpassfaktor darstellt, darunter das Internet of Things (IoT).¹⁰⁷ Heutige Festnetz-, Mobilfunk- und Satellitennetze sind nicht für Datenaufkommen, Reaktionsgeschwindigkeiten und die Versorgungssicherheit des Autonomen Fahrens ausgelegt. Automobilhersteller wie VW, Daimler und BMW haben sich bereits 2016 in der 5G Automotive Association (5GAA) zusammengeschlossen, um die notwendige Standardisierung für vernetzte und autonome Fahrzeuge voranzutreiben. Allerdings gibt es selbst zwischen den in der 5GAA versammelten Herstellern noch Wettstreite um technische Konzepte und Kommunikationsstandards.¹⁰⁸ Prognosen gehen daher davon aus, dass die Hochlaufphase für 5G sich erst ab 2023 stark intensiviert und dann bis 2028 auch alle regulatorischen Fragen abgeschlossen sein werden.¹⁰⁹ Insgesamt sind 5G-Netze für Autonomes Fahren und das vernetzte Fahrzeug von großer Bedeutung, da dadurch erst sichere kommerzielle Anwendungen von vernetzten und autonomen Fahrzeugen möglich sind. Entsprechend muss deren Aufbau beschleunigt und weiter intensiviert werden. Die Investitionen in den 5G-Aufbau werden in einer 2016 veröffentlichten Studie für die EU-Kommission bis 2025 auf rund 56 Mrd. Euro veranschlagt. Dieselbe Studie prognostiziert im Gegenzug bis zu 113 Mrd. Euro zusätzliche Umsätze durch 5G in vier Sektoren, darunter auch Automotive, sowie die Schaffung von 2,3 Mio. Arbeitsplätzen europaweit.¹¹

3 Mobilitätsdienstleistungen und deren besondere Infrastrukturvoraussetzungen

3.1 Konzept, Klima-/Umweltrelevanz, Markttrends

Mobilitätsdienstleistungen sind ein zentrales Zukunftsfeld für Automobilhersteller, Digitalplayer wie Google, Start-ups wie Uber sowie von Städten und Kommunen gleichermaßen. Die Vision eines «Mobility as a Service» (MaaS) beschreibt die Vision einer bruchlosen, hoch vernetzten Reise- bzw. Mobilitätskette über verschiedene Verkehrsträger hinweg: von der intermodalen Routenplanung über die Buchung on Demand und der Bezahlung bis hin zur Abwicklung der Fahrten.¹²³ Darüber hinaus können noch weitere Services wie Parkplatzdienste, Charging-Dienste oder Entertainment-Dienste hinzugezählt werden (vgl. für eine Übersicht Abb. 7). Aus Kundensicht erweitern sich durch die neuen Mobilitätsangebote wie Car-Sharing, Bike- und Ride-Sharing die Mobilitätsangebotsoptionen. War bis vor kurzem ein eher monomodales Verkehrsverhalten dominant, das alle Fahrten entweder mit dem privaten Auto oder mit dem ÖPNV vorsah, entwickelt sich mittels internetfähiger Smartphones ein intermodales oder gar multimodales Mobilitätsmuster: D.h. Kunden können ihren Mobilitätsbedarf individuell und schnell per Fingertipp mit einer breiten Vielfalt von Mobilitätsangeboten befriedigen und dabei nach ihren Präferenzen die günstigste, schnellste oder komfortabelste Kombination von Verkehrsmitteln auswählen. Durch multimodale Apps wie Moovel, Qixxit, Ubigo oder Whim kann die Reisekette mit dem Smartphone künftig in Echtzeit einfach und sicher geplant, gebucht und teilweise bereits bezahlt werden. Das Fernziel ist Interoperabilität, also die bruchlose Übersicht, Verfügbarkeit und Buchbarkeit als kundenindividuell optimierter Mix aus allen Mobilitätsangeboten – ÖPNV, Taxi, Car-Sharing, Ride-Hailing und Ride-Sharing, Leihwagen oder BikeSharing etc. – für die urbane Mobilität.¹²⁴ Mobilitätsdienstleistungen bzw. MaaS begründen gleichzeitig neue Geschäftsmodelle auf Basis der Mobilitätseffizienz-, der Mobilitätszeit- und der Mobilitätssystem-Revolution. Für Automobilhersteller ergibt sich durch Mobilitätsdienstleistungen in Kombination mit dem Autonomen Fahren die Chance von neuen Geschäftsfeldern als Ersatz für die sich perspektivisch auflösenden bisherigen kommerziellen Pfeiler, die wesentlich auf den Autokauf bzw. Autobesitz und Freude am manuellen Autofahren angelegt waren.¹²⁵ Gleichsam erweitert sich jedoch auch das Wettbewerbsumfeld durch Digitalplayer wie Apple, Google oder Alibaba und Baidu, die ihre Ökosysteme aus Kommunikations- und Entertainment-Services um Mobilitätsdienste erweitern wollen. Außerdem drängen Start-ups wie Uber, Lyft, Blabla-Car und andere mit innovativen Services einer digitalen Mobility-on-Demand auf den Plan. Hinzu kommt, dass künftig mit den oben skizzierten Trends von Elektromobilität und autonomen Fahrzeugen bzw. Robo-Taxis weitere innovative und kostengünstige Mobilitätsangebote marktreif sein werden. Diese werden nicht nur das Spektrum von Mobilitätsdienstleistungen erweitern. Sie führen auch zu einem Verschmelzen von öffentlichem und privatem Verkehr, weil das autonome Fahrzeug prinzipiell sowohl privat genutzt als auch als Taxi, Car-Sharing-Fahrzeug oder Rufbus eingesetzt werden kann.¹²⁶ Dabei stellt sich auch die Frage, ob durch die sich entwickelnden autonomen Fahrdienste der ÖPNV kannibalisiert wird oder ob diese einen positiven Beitrag zur Minderung des Autoverkehrs bzw. der Klimabelastung des Verkehrs leisten können.

3.1.1 Umwelt-/Klimarelevanz

Die lokale bzw. regionale Ebene wird eine wichtige Rolle bei der Ausgestaltung der Mobilitätsdienstleistungen der Zukunft spielen und damit auch bei der Frage, ob die neuen Angebote einen positiven Beitrag für den Klimaschutz im Verkehrsbereich erbringen können.¹²⁷ Städte und Kommunen sind nicht nur mit der Verkehrsplanung, den baulichen Infrastrukturen von Straßen und Parkplätzen und dem Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs betraut. Sie können auch über die Ausgestaltung von integrierten Mobilitätsdienstleistungen mitentscheiden. Dabei ist der verkehrsplanerische Handlungsdruck in urbanen Gebieten aufgrund zunehmender Flächenknappheit bei einem gleichzeitig wachsenden Verkehr und Mobilitätsbedürfnis der Menschen hoch. Eine zentrale Bedeutung kommt den Robo-Taxis bzw. autonomen Fahrangeboten zu, bei denen noch nicht klar ist, ob sie in der Gesamtbilanz positive oder negative Umwelt- und Klimaeffekte haben werden (vgl. Kapitel 4). So werden zu Beginn der 2020er Jahre erste autonom fahrende Shuttles auf deutschen Straßen unterwegs sein und sich wahrscheinlich dynamisch entwickeln. Studien rechnen bis zum Jahr 2030 damit, dass bereits 37 Prozent des PKWVerkehrsaufkommens autonom bzw. in geteilten Systemen (Car Pooling, RideSharing) absolviert werden könnten.¹²⁸ Es ist damit zu rechnen, dass die Automatisierung des Fahrens erhebliche Auswirkungen auf das Preisgefüge und damit die Nutzung der Mobilitätsservices besitzen wird.¹²⁹ Robo-Taxen könnten Berechnungen zufolge bis zu 60 Prozent günstiger betrieben werden als konventionelle.¹³⁰ In den Möglichkeiten der Kombination von autonomen Taxen und Sharing-Konzepten liegt dabei enormes Potenzial für die Reduzierung des Fahrtaufkommens. Unter heute geltenden Regulierungsvorschriften (u.a. Personenbeförderungsgesetz, gesetzliche Regelungen für autonomes Fahren) ist allerdings unklar, ob und wie dieses Potenzial gehoben werden kann.¹³¹ Es wird hierbei wesentlich auch auf eine umweltgerechte Flankierung und Ausrichtung der politischen Regulation bzw. Anreizstrukturen ankommen, insbesondere auch auf Ebene der Kommunen. Dabei müssen autonome Fahrangebote in ein multimodales Verkehrssystem integriert werden.

4 Umweltbelastung

5 Kraftfahrzeuge

*Als Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes gelten Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Bahngleise gebunden zu sein.*¹

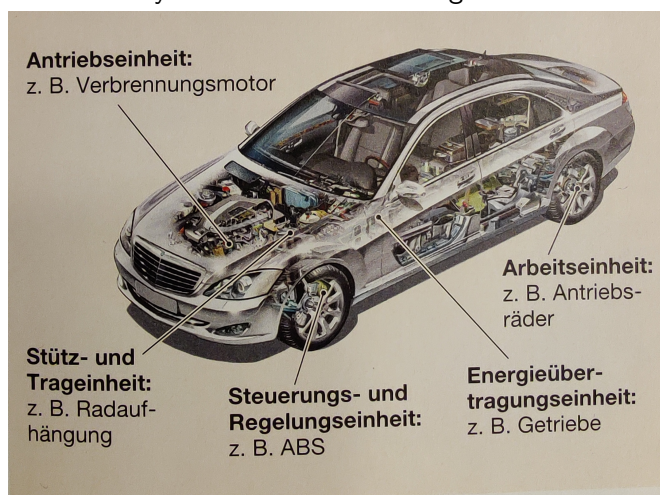
Da Kraftfahrzeuge Landfahrzeuge sind gehören Flugzeuge, Schiffe oder Boote nicht zu der Kategorie, obwohl sie durch Maschinenkraft bewegt werden. Auch Züge oder Trambahnen gehören nicht in die Kategorien, da sie an Bahngleise gebunden sind.

5.1 Teilsysteme von Kraftfahrzeugen

Moderne Kraftfahrzeuge werden aus folgenden Teilsysteme gebildet:

- Antriebseinheit
- Energieübertragungseinheit
- Stütz- und Trageinheit
- Steuerungs- und Regelungseinheit
- Arbeitseinheit

Bild 1: Teilsysteme des Kraftfahrzeugs



Quelle: Westermann S. 19

¹Straßenverkehrsgesetz, § 1 Abs. 2

5.1.1 Antriebseinheit

Die Antriebseinheit wandelt die zugeführte Energie in die erforderliche Antriebsenergie um.² Diese Umwandlung wird im Motor durchgeführt. Hauptsächlich werden Elektro- und Verbrennungsmotoren eingesetzt.

Verbrennungsmotoren unterscheiden sich von Elektromotoren durch ihre Energieerzeugung. Die Energieerzeugung wird durch die Verbrennung von Kraftstoff erzeugt. Dazu wird ein Kraftstoff-Luft-Gemisch in einem Brennraum mit Kolben zur Verbrennung verwendet. Durch die Verbrennung steigt der Druck im Brennraum stark an und bewegt einen Kolben.

5.1.2 Arbeitseinheit

Die Arbeitseinheit ist die Verbindung zwischen den Antriebsrädern und der Fahrbahn. Durch die Bewegung der Antriebsrädern wird das Kraftfahrzeug in Bewegung gesetzt.

5.1.3 Energieübertragungseinheit

Die Energieübertragungseinheit leitet die Energie in der geforderten Bewegungsart und Bewegungsgeschwindigkeit zur Arbeitseinheit weiter.³

Energieübertragungseinheiten sind Baugruppen einer Maschine, die zur Übertragung von Energie in benötigt werden. Beispiel hierfür sind Kabel die Elektrische Energie leiten oder Wellen, Zahnräder oder Riemen die mechanische Energie weiterleiten.

5.1.4 Stütz- und Trageinheit

Stütz- und Trageinheit der Rahmen oder der selbsttragende Aufbau des Kraftfahrzeuges haben hauptsächlich die Aufgabe, die Teilsysteme aufzunehmen und zu einer Einheit zu verbinden.⁴

5.1.5 Steuerungs- und Regelungseinheit

Die Steuerungs- und Regelungseinheit beeinflusst die Stoff- und Energieumsetzung durch Informationsverarbeitung.⁵

Steuerungseinheit

Bei der Steuerungseinheit werden verschiedene Eingangsgrößen durch das System in eine oder mehrere Ausgangsgrößen verändert. Beispiele für Steuerungen sind:

- Klimaanlage: Es wird eine Solltemperatur eingestellt. Die Klimaanlage kühlt konstant. Die Klimaanlage kühlt solange mit dieser eingestellten Temperatur solange sie nicht verändert wird. Die Umgebungstemperatur wird nicht berücksichtigt.
- Licht: Der Schalter wird betätigt und das Licht wird eingeschaltet. Das Licht bleibt permanent eingeschaltet. Das Licht geht erst aus wenn der Schalter ausgeschaltet wird. Das Umgebungslicht wird nicht berücksichtigt.

²Westermann S. 19

³Westermann S. 19

⁴Westermann S. 19

⁵Westermann S. 19

Regelungseinheit

Bei einer Regelungseinheit werden die Eingangsgrößen mit einem Sollwert verglichen und so lange angepasst bis der Sollwert erreicht wird. Beispiele für Regelungen sind:

- Klimaautomatik: es wird eine Solltemperatur eingestellt. Es wird gemessen wie warm oder wie Kalt die Temperatur ist. Sollte die Temperatur unter der Solltemperatur liegen, wird die Klimaautomatik auf Heizen gestellt. Sollte die Temperatur über der Solltemperatur liegen, wird die Klimaautomatik auf Kühlen gestellt.
- Lichtautomatik: Es gibt eine Schwelle bei der das Licht eingeschaltet werden soll. Es gemessen wie hell das Umgebungslicht ist. Sollte das Umgebungslicht zu gering sein wie zum Beispiel (z.B.) im Tunnel oder bei Dämmerung wird das Licht eingeschaltet. Sobald das Umgebungslicht wieder hell genug ist zum Beispiel (z.B.) beim verlassen des Tunnels oder bei Sonnenaufgang, wird das Licht wieder ausgeschaltet.

5.2 Fahrzeugklassen

Kraftfahrzeuge können Bauartbedingt in Kategorien eingeordnet werden. Die EU Kommission hat hierfür acht Klassen definiert.⁶

- Klasse L: Leichte ein- und zweispurige Kraftfahrzeuge
- Klasse M: Vorwiegend für die Beförderung von Fahrgästen und deren Gepäck ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge
- Klasse N: Vorwiegend für die Beförderung von Gütern ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge
- Klasse O: Anhänger, die sowohl für die Beförderung von Gütern und Fahrgästen als auch für die Unterbringung von Personen ausgelegt und gebaut sind
- Klasse S: unvollständige Fahrzeuge, die der Unterklasse der Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung zugeordnet werden soll
- Klasse R: Anhänger, die in der Land- und Forstwirtschaft verwendet werden
- Klasse S: Maschinen, die in der Land- und Forstwirtschaft zum Einsatz kommen und gezogen werden
- Klasse T: Zugmaschinen, die in der Land- und Forstwirtschaft verwendet werden wie Traktoren
- Klasse C: Zugmaschinen, die in der Land- und Forstwirtschaft verwendet werden und auf Ketten laufen wie ein Bagger

Die relevantesten Klassen sind M und N.

⁶VERORDNUNG (EU) Nr. 678/2011 DER KOMMISSION vom 14. Juli 2011, TEIL A ABS.1 - <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/678/oj?locale=de>

5.2.1 Klasse M

In der Klasse M werden Kraftfahrzeuge eingeordnet die für die Beförderung von Personen und Gepäck zuständig sind und mindestens 4 Räder haben sowie eine Hochgeschwindigkeit von über 25 Kilometer pro Stunde (km/h) haben.

Die Klasse M spaltet sich in 3 Unterklassen auf:

- Klasse M1
- Klasse M2
- Klasse M3

Klasse M1

Kraftfahrzeuge der Klasse M1 haben über die Eigenschaften der Klasse M noch folgende weitere Eigenschaften:

- nicht mehr als 8 Sitzplätze und 1 Platz für den Fahrer
- keine Stehplätze
- zulässiges Gesamtgewicht von maximal 3,5 Tonnen (t)

In der Klasse M1 sind Kraftfahrzeuge wie Personenkraftwagen(Limousine, Cabrio) und Wohnmobile zu finden.

Klasse M2

Kraftfahrzeuge der Klasse M2 haben über die Eigenschaften der Klasse M noch folgende weitere Eigenschaften:

- mehr als 8 Sitzplätze
- zulässiges Gesamtgewicht von maximal 5 t

In der Klasse M2 sind Kraftfahrzeuge wie ein Eindecker-Bus bis 5 t oder ein Doppeldecker-Bus bis 5 t zu finden.

Klasse M3

Die dritte Unterklasse der Klasse M ist M3.

Kraftfahrzeuge der Klasse M3 haben über die Eigenschaften der Klasse M noch folgende weitere Eigenschaften:

- mehr als 8 Sitzplätze
- zulässiges Gesamtgewicht von über 5 t

In der Klasse M3 sind Kraftfahrzeuge wie ein Eindecker-Bus über 5 t oder Doppeldecker-Bus über 5 t zu finden.

5.2.2 Klasse N

In der Klasse N werden Kraftfahrzeuge eingeordnet die für die Beförderung von Gütern zuständig sind und mindestens 3 Räder haben sowie ein zulässiges Gesamtgewicht von über 1 t haben. Die Klasse N spaltet sich in 3 Unterklassen auf:

- Klasse N1
- Klasse N2
- Klasse N3

Klasse N1

Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 t. In der Klasse N1 sind Kraftfahrzeuge die in dicht besiedelten Regionen gut zurecht kommen, wie Paketzusteller oder Fahrzeuge der Post.

Klasse N2

Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von zu 3,5 t bis 12 t. In der Klasse N2 sind Kraftfahrzeuge die regional Güterbefördern, dies könnten Kraftfahrzeuge die Waren aus einem Zentrallager in die Filialen transportieren. Diese Kraftfahrzeuge sind darauf ausgelegt hunderte Kilometer zurückzulegen.

Klasse N3

Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 t. In der Klasse N3 sind Kraftfahrzeuge die überregional Güterbefördern, wie ein Kraftfahrzeug das große Mengen an Ladung fassen kann und darauf ausgelegt sind tausende Kilometer zurückzulegen.

5.3 Umweltbelastungen durch Kraftfahrzeuge

Kraftfahrzeuge belasten die Umwelt auf verschiedene Arten. Hierunter fallen die Erzeugung von Rohstoffen für Materialien die für die Produktion von Kraftfahrzeugen benötigt werden, die tatsächliche Produktion von Kraftfahrzeugen, der Betrieb von Kraftfahrzeugen, sowie die Entsorgung von Kraftfahrzeugen.

Gerade der Betrieb von Kraftfahrzeugen belastet die Umwelt durch die verschieden Arten von Schadstoffen. Unterschieden wird die Art der Belastung, durch die Verbrennung entstandene Abgase, Feinstaub der durch die Verbrennung, sowohl auch durch den Abrieb von Reifen und Bremsen freigesetzt wird und die Infrastruktur der Straßen, Parkplätze und anderer Einrichtungen.

5.3.1 Verbrennungsabgase

Durch Verbrennung von Kraftstoffen entstehen verschied giftige Schadstoffe:

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickoxide (NO)
- unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC)

Die Abgase strömen nach der Verbrennung im Verbrennungsraum durch die Abgasanlage in die Umwelt. Es gibt auch ungiftige Stoffe die durch die Verbrennung abgegeben werden wie zum Beispiel (z.B.) Wasser (H_2O) und Kohlenstoffdioxid (CO_2). Die Menge der Abgase die durch die Abgasanlage strömen ist von der Größe des Motors sowie dem Lastzustand des Motors abhängig.

5.3.2 Feinstaub

Feinstaub ist ein fester oder flüssiger Stoff der nicht sofort zu Boden sinkt. Neben der Art des Feinstaubes ist unter anderem die Wetterlage für die Verbreitung und Absenkung von Feinstaub entscheidend.

Luftfeuchtigkeit beeinträchtigt die Ausbreitung von Feinstaub da sich dieser bei geringer Luftfeuchtigkeit länger in Luft halten kann sich besser ausbreiten kann.

Feinstäube werden als Particle Matter (PM, zu deutsch Stoffteilchen) bezeichnet. Diese Luftschadstoffe sind gesundheitsschädlich.⁷

Unterschieden wird zwischen Feinstaub der aus natürlichen Quellen entstanden ist und Feinstaub der durch menschliches Handeln entstanden ist.

Feinstaub aus natürlichen Quellen

Natürlicher Feinstaub entsteht ohne menschliches Handeln durch:

- Vulkane
- Wald- und Buschbrände
- Pollen
- Sporen

Feinstaub durch menschliches Handeln

Feinstaub der durch menschliches Handeln entstanden ist wird auch anthropogener Feinstaub genannt. Feinstaub durch menschliches Handeln entsteht durch:

- Verbrennung und Abrieb vom Straßenverkehr
- Verbrennungsabgase von Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen
- Brände von Gegenständen
- Industrieprozesse wie die Stahlerzeugung

Einrichtungen der Umweltzonen und Festlegung von Fahrverboten durch die Kommunen und Städte können zur Verbesserung der Luftreinhaltung führen. Das befahren einer Umweltzone ist dann nur mit einer entsprechenden Kennzeichnung des Fahrzeuges möglich, die man bei der zuständigen Behörde erlangen kann.

⁷Westermann S. 327

5.3.3 Infrastruktur

Auch die Infrastruktur belastet die Umwelt, indem:

- Wälder abgeholzt werden um die Verkehrsanbindung zu verbessern
- Straßen vergrößert um ein höheres Verkehrsaufkommen zu bewältigen
- starke Erhitzung durch Sonneneinstrahlung auf dunklen Verkehrswegen
- Grünflächen abgeschafft werden um mehr Parkmöglichkeiten zu gewinnen

6 Assistenzsysteme

6.1 Assistenzsysteme

6.1.1 Keine Assistenzsysteme

6.1.2 Assistenzsysteme

6.1.3 Teilautomatisierung

6.1.4 Bedingte Automatisierung

6.1.5 Hochautomatisierung

6.1.6 Vollautomatisierung

7 Problemlösung durch Assistenzsysteme

7.1