



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

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Ziel der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit	2
1.3.1 Klimaschutzziele	2
2 Hauptteil	3
2.1 Kraftfahrzeuge	3
2.1.1 Teilsysteme von Kraftfahrzeugen	3
2.1.2 Fahrzeugklassen	5
2.1.3 Klasse M	5
2.1.4 Klasse N	6
2.1.5 Autonomes Fahren	7
2.1.6 Autonome Kraftfahrzeuge	9
2.1.7 Umweltbelastungen durch Kraftfahrzeuge	9
2.1.8 Verbrennungsabgase	9
2.1.9 Feinstaub	9
2.1.10 Infrastruktur	10
2.2 Umweltbelastung nach Bedingungen	10
2.2.1 Aktueller Stand	11
2.2.2 Gesetzliche Regelungen	11
2.3 Erkenntnisse	11
2.3.1 Umwelt- und Klimaeffekte	11
2.3.2 Kraftstoffeinsparungen	11
2.3.3 Positive Umwelteinwirkung durch die Reduktion von Fahrzeugen	13
2.3.4 Beschreibung der verwendeten Untersuchungsmittel	13
2.3.5 Diskussion der Forschungsfrage	13
2.3.6 Gründe für die Wahl der Hypothese	13
2.3.7 Darstellung und Diskussion der Erkenntnisse aus der Literatur	13
2.3.8 Schlussfolgerungen auf die Forschungsfrage	13
2.3.9 Verifikation der Hypothese	13
2.3.10 Praktische Konsequenzen	13
3 Schluss	14
3.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse	14
3.2 Offene Fragen	14
3.3 Ausblick auf möglich weitere Entwicklungen	14

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	:	Teilsysteme des Kraftfahrzeugs	3
--------	---	--------------------------------	-------	---

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

Durch die voranschreitende technische Entwicklung in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft verändert und belastet der Mensch zunehmend die Umwelt. Diese Belastungen der Umwelt können viele Ursachen haben, möglicherweise sind bessere Lösungen technisch nicht umsetzbar, gesetzlich nicht erlaubt oder wirtschaftlich unattraktiv. Der aktuelle menschliche Lebensstandard zeichnet sich durch einen hohen Energiebedarf, viele verschiedene global industriell gefertigte Produkte und einem hohen Verkehrsaufkommen.

Die Umweltbelastung entsteht auf verschiedenen Ebenen, die sich in ihrer Gegebenheit unterscheiden. Es gibt energetische Belastungen, wie Strahlen, Lärm und Erschütterungen. Belastungen durch feste Stoffe wie Abfälle welche durch Bau und Abbruch entstehen, Abfälle aus Produktionen und Abfälle aus der Gewinnung von Bodenschätzen.

Auch Flüssigkeiten können die Umwelt belasten. Diese für die Umwelt schädlichen Flüssigkeiten können in der Produktion durch Chemie Fabriken, durch Reste von Medikamenten in Urin oder durch Unfälle bei der Gewinnung von Rohöl in in die Umwelt gelangen. Neben den flüssigen Schadstoffen sind auch gasförmige Schadstoffe eine starke Belastung für die Umwelt.

Diese gasförmigen Schadstoffe treten in Form von Luftschadstoffen und Feinstaub auf. Luftschadstoffe können durch verschiedene Arten entstehen, die sowohl natürlichen Ursprungs aber vor allem durch menschliches Handeln entstehen. Neben der Erzeugung von Energie trägt auch das hohe Verkehrsaufkommen zum großen Teil der Luftverschmutzung bei. Diese Arten von Luftverschmutzung kann ebenso verantwortlich für Krankheiten und vorzeitigen Tod von Menschen sein. Gerade Kinder können davon betroffen sein da ihr Körper noch nicht vollständig ausgewachsen ist, oder ältere Personen dessen Immunsystem nicht mehr gut funktioniert. Feinstaub kann in den Körper eindringen und schwerwiegende Krankheiten auslösen. Durch unsachgemäße Wiederverwertung können Luftverschmutzungen entstehen, wie zum Beispiel die Verbrennung von Stromkabeln um das Kupfer aus der Isolierung zu trennen, Tierhaltung sowie durch den Einsatz von Pestiziden in der Landwirtschaft. Ein weiterer Faktor der Luftverschmutzung sind Verbrennungen von fossilen Kraftstoffen und Biomasse.

Die aktuell rasante Entwicklung im Verkehr durch die technische Realisierung von ersten autonomen Kraftfahrzeugen erschließt die Möglichkeit, den Individualverkehr erheblich zu verändern.

Gerade durch diese Möglichkeiten der technischen Realisierung können von verschiedenen Personengruppen vielfältige Chancen wie ein geringerer Ausstoß von Feinstaub gesehen werden.

1.1 Ausgangssituation

Die Folge von globaler Erwärmung sowie die Veränderung des Klimas sind allgegenwärtig und betreffen den gesamten Globus. Regionale Veränderungen von Wetter werden immer häufiger extremer aus. Starke unregelmäßige Wetterereignisse können zu materiellen Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen vor allem aber nennenswerte Ertragsverluste der Landwirtschaft. Die globale Erderwärmung steigt kontinuierlich an. Stark betroffen sind Entwicklungs- und Schwellenländer, die mit Überschwemmungen oder Hitzewellen zu kämpfen müssen.

Luftschadstoffe haben massive negative Auswirkungen auf unsere Gesundheit. Viele Menschen sind Feinstaubwerten ausgesetzt, die sie als gesundheitsschädlich für den Menschen eingestuft werden können. Die Reduktion von Feinstaub ist daher ein wichtiger Teil der Ausgangssituation, die für eine Begrenzung der Erderwärmung unternommen werden müssen.

Deswegen werden in dieser Fallstudie verschiedene Einsparpotenziale für Umweltbelastungen durch autonome Kraftfahrzeuge untersucht.

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die folgende Forschungsfrage nach dem aktuellen Stand der Technik zu beantworten: *Welche Auswirkungen haben Kraftfahrzeuge auf die Umwelt und wie kann autonomes Fahren die negativen Auswirkungen reduzieren?* Mithilfe von frei zugänglicher Literatur soll diese Frage bearbeitet werden. Folgende Hypothese wird untersucht: *Je mehr Fahrzeuge autonom fahren, desto geringer fällt die Feinstaubbelastung durch Kraftfahrzeuge aus*

1.3 Aufbau der Arbeit

1.3.1 Klimaschutzziele

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

2 Hauptteil

2.1 Kraftfahrzeuge

Das deutsche Straßenverkehrsgesetz beschreibt Kraftfahrzeuge als Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, aber nicht an Bahngleise gebunden sind.¹

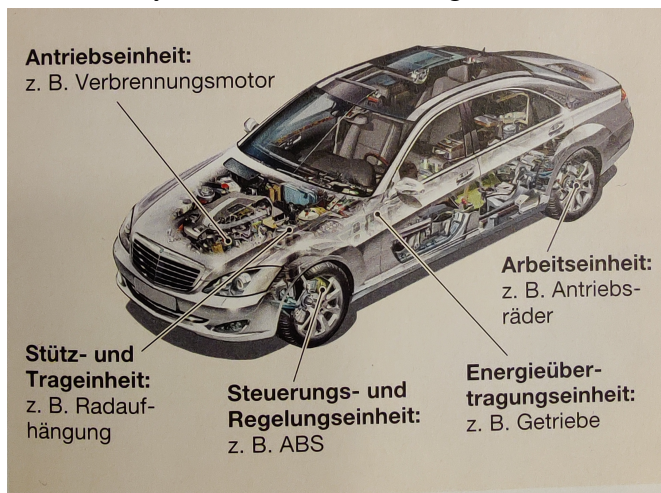
Da Kraftfahrzeuge Landfahrzeuge sind gehören Flugzeuge, Schiffe oder Boote nicht zu der Kategorie, obwohl sie durch Maschinenkraft bewegt werden. Auch Züge oder Trambahnen gehören nicht in die Kategorien, da sie an Bahngleise gebunden sind.

2.1.1 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

Antriebseinheit

Die Antriebseinheit wandelt die zugeführte Energie in die erforderliche Antriebsenergie um. 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.

Arbeitseinheit

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

Energieübertragungseinheit

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

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.

Stütz- und Trageeinheit

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

Steuerungs- und Regelungseinheit

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

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.

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 im Tunnel oder bei Dämmerung wird das Licht eingeschaltet. Sobald das Umgebungslicht wieder hell genug ist zum Beispiel beim verlassen des Tunnels oder bei Sonnenaufgang, wird das Licht wieder ausgeschaltet.

2.1.2 Fahrzeugklassen

Kraftfahrzeuge können Bauartbedingt in Kategorien eingeordnet werden. Die EU Kommission hat hierfür acht Klassen definiert.²

- 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.

2.1.3 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 Höchstgeschwindigkeit von über 25 Kilometer pro Stunde (km/h) haben.

Die Klasse M spaltet sich in 3 Unterklassen auf:

- Klasse M1

²VERORDNUNG (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>

- 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.

2.1.4 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.

2.1.5 Autonomes Fahren

Beim autonomen Fahren, fährt ein *Kraftfahrzeug* (Kfz) Verwaltungsgefäß selbständig. Für Kfz wurden von der *Society of Automotive Engineers* (SAE) Institut in der Norm SAE J3016³ Automatisierungsgrade definiert.

- Stufe 0 (Keine Automation)
- Stufe 1 (Assistenzsysteme)
- Stufe 2 (Teilautomatisierung)
- Stufe 3 (Bedingte Automatisierung)
- Stufe 4 (Hochautomatisierung)
- Stufe 5 (Vollautomatisierung)

Was passiert in den Stufen?

Die Stufen unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Anzahl der Automatisierungsgrade.

In der Stufe 0 (Keine Automation):

- keine Assistenzsysteme
- Kfz kann keine Fahraufgaben übernehmen
- Fahrer ist unter permanenter Kontrolle

In der Stufe 1 (Assistenzsysteme):

- Assistenzsysteme wie *Geschwindigkeitsregelanlage* (GRA) oder eine Berganfahrhilfe

³SAE J3016_202104 - https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104

- Fahrer hat eine passive Unterstützung bei Fahraufgaben
- Kfz kann keine Fahraufgaben übernehmen
- das Kfz ist unter permanenter Kontrolle des Fahrers

In der Stufe 2 (Teilautomatisierung):

- Assistenzsysteme, wie der Spurführungsassistent oder Stauassistent
 - automatisch bremsen
 - automatisch beschleunigen
 - automatisch lenken
- Kfz kann Fahraufgaben teilautomatisiert übernehmen
- Fahrer kann sich für kurze Zeit von den Fahraufgaben abwenden
- Fahrer muss jeder Zeit die Fahraufgabe übernehmen können

In der Stufe 3 (Bedingte Automatisierung):

- hochautomatisierte Assistenzsysteme
- Kfz kann Fahraufgaben unter bestimmten Voraussetzungen vollständig übernehmen
- Fahrer kann sich unter bestimmten Voraussetzungen dauerhaft von den Fahraufgaben abwenden
- Fahrer muss innerhalb wenigen Sekunden die Fahraufgabe übernehmen können

In der Stufe 4 (Hochautomatisierung):

- hochautomatisierte Assistenzsysteme
- Kfz kann Fahraufgaben in hochkomplexen Verkehrssituationen vollständig übernehmen
- Fahrer dauerhaft von den Fahraufgaben abwenden
- Fahrer muss fahrtüchtig sein, um im Bedarfsfall die Fahraufgabe übernehmen zu können

In der Stufe 5 (Vollautomatisierung):

- hochautomatisierte Assistenzsysteme
- Kfz übernimmt alle Fahraufgaben vollständig
- Fahrer ist nicht erforderlich
- alle Personen im Wagen werden zu Passagieren

2.1.6 Autonome Kraftfahrzeuge

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.

2.1.7 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.

2.1.8 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 (H₂O) und Kohlenstoffdioxid (CO₂). Die Menge der Abgase die durch die Abgasanlage strömen ist von der Größe des Motors sowie dem Lastzustand des Motors abhängig.

2.1.9 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.

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.

2.1.10 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

2.2 Umweltbelastung nach Bedingungen

Die Umweltbelastung kann stark nach Betriebszuständen variieren. So verbraucht ein Fahrzeug das bergab fährt weniger Kraftstoff und stößt somit auch weniger Luftschadstoffe aus. Die Umweltbelastung durch Luftschadstoffe hängt von folgendem ab:

- dem Fahrverhalten des Fahrers, wie dem Beschleunigungsverhalten und der Fahrgeschwindigkeit ab
- der Effizienz des Fahrzeugs, je effizienter desto besser
- dem Gewicht des Fahrzeugs, je leichter desto weniger Gewicht muss beschleunigt und gebremst werden

- der Fahrstrecke, fährt das Fahrzeug eine Steigung wird mehr Kraftstoff benötigt
- dem Wetter, je nach Wind wird mehr oder weniger Kraftstoff benötigt
- dem Betriebszustand, wenn sich das Fahrzeug nicht im Betriebszustand befindet wird Energie verwendet um den Betriebszustand zu erreichen

2.2.1 Aktueller Stand

2.2.2 Gesetzliche Regelungen

Was ist bereits wo erlaubt?

Welche Länder haben was freigegeben?

2.3 Erkenntnisse

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

2.3.1 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 ein geringer Kraftstoffverbrauch und der geringere Ausstoß Feinstaub auf.

Andere Faktoren können die Umwelt entlasten wie der Abbau von Fahrzeugbeständen, und die dadurch wegfallenden negativen Einflüsse durch die Produktion von Fahrzeugen.

2.3.2 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.

Kraftstoffeinsparungen auf Autobahnen

Das Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) hat erste Schätzungen zu Kraftstoffeinsparungen auf Autobahnen im Individualverkehr in Deutschland 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. ⁴

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.

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 Studien ⁵ 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

⁴Fraunhofer-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.

⁵Milakis, 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

Kraftstoffeinsparungen bei Flottenfahrzeugen

Bei Fahrzeugen die in einer Flotte betrieben werden, ist eine intensivere Nutzung der autonomen Fahrzeuge zu erwarten, wodurch sich der Nutzungszeitraum verkürzt. Dadurch werden Flottenfahrzeuge früher ausgetauscht und erneuert. Durch den schnellen Wechsel der Flottenfahrzeuge werden können modernere Fahrzeuge mit technologischen Erneuerung die weniger Luftschadstoffe und Emissionen produzieren schneller in den Einsatz gebracht werden. Dies könnte in dicht besiedelten Gebieten zu einer Reduktion von Verkehrsbedingen Luftschadstoffen und Feinstaub führen.

2.3.3 Positive Umwelteinwirkung durch die Reduktion von Fahrzeugen

Positive Umwelteinwirkung durch autonomes Fahren kann durch eine Reduktion am Fahrzeugbestand erwartet werden.

Mobilitätsdienstleister mit autonomen Taxen können Kunden abholen und zu Zielort bringen, und vermindern die Notwendigkeit zum Kauf eines Fahrzeugs.

Verschiedene Studien haben in verschiedenen Szenarien berechnet, ob und wie viele Kraftfahrzeuge sich durch autonome Fahrzeuge zusammenfassen ließen. Eine Studie kam zu dem Resultat, dass in etwa 18.000 Flottenfahrzeuge den kompletten Individualverkehr von München innerhalb eines Einzugsgebietes decken könnte. Dadurch könnte auf ungefähr 200 Tausend Fahrzeuge verzichtet werden.⁶

2.3.4 Beschreibung der verwendeten Untersuchungsmittel

2.3.5 Diskussion der Forschungsfrage

2.3.6 Gründe für die Wahl der Hypothese

2.3.7 Darstellung und Diskussion der Erkenntnisse aus der Literatur

2.3.8 Schlussfolgerungen auf die Forschungsfrage

2.3.9 Verifikation der Hypothese

2.3.10 Praktische Konsequenzen

⁶Alternative Antriebe, Autonomes Fahren, Mobilitätsdienstleistungen: Neue Infrastrukturen für die Verkehrswende im Automobilsektor, S. 42

3 Schluss

3.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse

3.2 Offene Fragen

3.3 Ausblick auf möglich weitere Entwicklungen