



# **FOM Hochschule für Ökonomie und Management**

Hochschulzentrum München

## **Seminararbeit**

Im Rahmen des Moduls

Fallstudie / Wissenschaftliches Arbeiten

Über das Thema

## **Umwelteffekte des autonomen Fahrens**

von

**Julian Türner**

Gutachter: Dr. Herbert Bauer  
Matrikelnummer: 581388  
Abgabedatum: 10. Januar 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation	2
1.2 Ziel der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
<b>2 Hauptteil</b>	<b>4</b>
2.1 Kraftfahrzeuge	4
2.1.1 Teilsysteme von Kraftfahrzeugen	4
2.1.2 Fahrzeugklassen	6
2.1.3 Autonome Kraftfahrzeuge	9
2.1.4 Umweltbelastungen durch Kraftfahrzeuge	11
2.1.5 Verbrennungsabgase	12
2.1.6 Feinstaub	12
2.1.7 Infrastruktur	13
2.2 Umweltbelastung nach Bedingungen	13
2.3 Erwartungen an autonome Kraftfahrzeuge	14
2.3.1 Gesetzliche Regelungen	14
2.3.2 Umwelt- und Klimaeffekte	14
2.3.3 Kraftstoffeinsparungen	15
2.3.4 Potential bei Flottenfahrzeugen	16
2.3.5 Positive Umwelteinwirkung durch die Reduktion von Kraftfahr- zeugen	17
2.3.6 Diskussion der Forschungsfrage	17
2.3.7 Verifikation der Hypothese	17
<b>3 Schluss</b>	<b>18</b>
3.0.1 Zusammenfassung	18
3.0.2 Offene Fragen und Themen für weitere Entwicklungen	19
<b>Literaturverzeichnis</b>	

# Abkürzungsverzeichnis

**SAE** *Society of Automotive Engineers*

**km/h** Kilometer pro Stunde

**t** Tonnen

**NO** Stickoxide

**HC** unverbrannte Kohlenwasserstoffe

**H<sub>2</sub>O** Wasser

**CO<sub>2</sub>** Kohlenstoffdioxid

**CO** Kohlenmonoxid

# 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 einen hohen Verkehrsaufkommen aus.

Die Umweltbelastung entsteht auf verschiedenen Ebenen, die sich in ihrer Form und 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 die Umwelt gelangen. Neben den flüssigen Schadstoffen sind auch gasförmige Schadstoffe eine starke Belastung für die Umwelt.

Diese gasförmige Schadstoffe treten in Form von Luftschadstoffen und Feinstaub auf. Luftschadstoffe können durch verschiedene Arten entstehen, die sowohl natürlichen Ursprung 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 können 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 Personenkreisen 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 fallen immer extremer aus. Starke unregelmäßige Wetterereignisse führen zu materiellen Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen, vor allem zu nennenswerten Ertragsverlusten in der Landwirtschaft. Die globale Erderwärmung steigt kontinuierlich an. Stark betroffen sind Entwicklungs- und Schwellenländer, die mit Überschwemmungen oder Hitzewellen zu kämpfen haben.

Luftschadstoffe haben massive negative Auswirkungen auf unsere Gesundheit. Viele Menschen sind Feinstaubpartikeln ausgesetzt, die als gesundheitsschädlich für den Menschen eingestuft sind. 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 Kraftfahrzeuge autonom fahren, desto geringer fällt die Feinstaubbelastung durch Kraftfahrzeuge aus.

## **1.3 Aufbau der Arbeit**

Der Aufbau dieser Arbeit besteht aus mehreren Teilen. Zuerst wird ein Überblick über die technischen Teilsysteme von Kraftfahrzeugen gegeben und wie diese in Klassen eingeordnet werden. Da autonomes fahren eine aktuelle Entwicklung ist, wird in einem Teil erläutert in welchen Stufen die Fähigkeiten der Kraftfahrzeuge eingeordnet werden können. Ferner werden negative Belastungen auf die Umwelt durch Kraftfahrzeuge eingegangen und wie diese entstehen. Untersucht wird auch Reduzierung von negativen Einflüssen und an welchen Stellen sie möglich ist.

## 2 Hauptteil

### 2.1 Kraftfahrzeuge

Das deutsche Straßenverkehrsgesetz beschreibt Kraftfahrzeuge als Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, aber nicht an Bahngleise gebunden sind. [5]

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 Teilsystemen gebildet:

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

#### **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 zu der Arbeitseinheit weiter.

Energieübertragungseinheiten sind Baugruppen einer Maschine, die zur Übertragung von Energie benötigt werden. Beispiel hierfür sind Kabel die elektrische Energie leiten oder Wellen, Zahnräder und Riemen die mechanisches Drehmoment übertragen.

### **Stütz- und Trageinheit**

Der Rahmen oder der selbsttragende Aufbau eines Kraftfahrzeuges ist die Stütz- und Trageinheit. Diese 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 wird 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[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 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.

## **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 neben den Eigenschaften der Klasse M noch folgende weitere Eigenschaften:

- nicht mehr als 8 Sitzplätze und ein weiterer 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.

### **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**

Kraftfahrzeuge 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 Kraftfahrzeuge der Post.

#### **Klasse N2**

Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von 3,5 t bis 12 t. In der Klasse N2 sind Kraftfahrzeuge die Regionalgüter befördern.

Diese Kraftfahrzeuge können die Waren aus einem Zentrallager in die Filialen transportieren und sind darauf ausgelegt hunderte Kilometer zurück legen zu können.

## Klasse N3

Dazu gehören Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 t. In der Klasse N3 sind Kraftfahrzeuge die überregionale Güter befördern.

Diese Kraftfahrzeuge können ein vielfaches der Ladung als Kraftfahrzeuge der Klasse N2 aufnehmen und sind darauf ausgelegt tausende Kilometer zurück zulegen.

### 2.1.3 Autonome Kraftfahrzeuge

Beim autonomen Fahren, fährt ein Kraftfahrzeug verwaltungsgemäß selbständig. Für Kraftfahrzeuge wurden von der *Society of Automotive Engineers* (SAE) Automatisierungsstufen definiert[4].

- 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
- Kraftfahrzeug kann keine Fahraufgaben übernehmen
- Fahrer kontrolliert permanent das Fahrzeug

In der Stufe 1 (Assistenzsysteme):

- Assistenzsysteme wie zum Beispiel ein System zur automatischen Geschwindigkeitsregelung oder eine Berganfahrhilfe
- Fahrer hat eine passive Unterstützung bei Fahraufgaben
- Kraftfahrzeug kann keine Fahraufgaben übernehmen
- Fahrer kontrolliert permanent das Fahrzeug

In der Stufe 2 (Teilautomatisierung):

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

In der Stufe 3 (Bedingte Automatisierung):

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

In der Stufe 4 (Hochautomatisierung):

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

In der Stufe 5 (Vollautomatisierung):

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

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

Während manche in der Verbreitung autonomer Kraftfahrzeuge die Lösung vieler Probleme sehen können, vermuten andere eine Verschlechterung der Verkehrs- und Umweltlage. Die Bedeutung von autonomen Kraftfahrzeugen hängt sowohl von der technischen Komplexität als auch von den politischen Regulierung ab.

In welchem Maß das Level 5 System im Straßenverkehr teilnimmt entscheidet vorerst der gesetzliche Rahmen. Dies ist wiederum abhängig wie der zukünftige Verkehr aussehen soll.

### **2.1.4 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 verschiedenen 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.

### **2.1.5 Verbrennungsabgase**

Durch Verbrennung von Kraftstoffen entstehen verschiedene 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 Wasser (H<sub>2</sub>O) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Die Menge der Abgase die durch die Abgasanlage strömen ist von der Größe des Motors sowie dem Lastzustand des Motors abhängig.

### **2.1.6 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 der Luft halten kann und 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 Kraftfahrzeuges möglich, die man bei der zuständigen Behörde erlangen kann.

### **2.1.7 Infrastruktur**

Auch die Infrastruktur belastet auf verschiedene Arten die Umwelt:

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

- dem Fahrverhalten des Fahrers , wie dem Beschleunigungsverhalten und der Fahrgeschwindigkeit
- 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 des Kraftfahrzeuges (wenn sich das Fahrzeug nicht im Betriebszustand befindet wird Energie verwendet um den Betriebszustand zu erreichen)

## 2.3 Erwartungen an autonome Kraftfahrzeuge

2019 haben das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zusammen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ein Plan für die Forschung am autonomen Fahren beschlossen.

Dieser Plan soll sich an vielen Punkten orientieren wie unter anderem Sicherheit, Effizienz, Nachhaltigkeit, Barrierefreiheit sowie Bezahlbarkeit.

### 2.3.1 Gesetzliche Regelungen

Deutschland als Vorreiter in der Automobilindustrie hat ein ganz großes Potential im Segment des autonomen Fahrens.

Am 21. Juni 2017 wurde ein Gesetz erlassen welches autonomes Fahren in gewissen Situationen ermöglicht. Im Jahr 2022 möchte Deutschland autonome Kraftfahrzeuge die sich in der Stufe 4 befinden in öffentlichen Straßenverkehr bringen.

Neben technischen Anforderungen, wurde auch die Prüfung zur Erteilung der Betriebserlaubnis überarbeitet. Ferner ist es nun möglich gewisse Funktionen nachträglich freizuschalten oder zu deaktivieren. [2]

### 2.3.2 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 Kraftfahrzeugen zu konventionellen Kraftfahrzeugen fällt ein geringer Kraftstoffverbrauch und ein geringerer Ausstoß von Feinstaub auf. Andere Faktoren können die Umwelt entlasten wie der Abbau von Fahrzeugbeständen, und die dadurch wegfallenden negativen Einflüsse durch die Produktion von Kraftfahrzeugen.

### **2.3.3 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 Kraftfahrzeugen durch Senkung von 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 Kraftfahrzeuge.

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. [3]

Eine weitere Einsparung auf Autobahnen durch autonome Kraftfahrzeugen 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 [7] 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 Kraftfahrzeugen
- die Vernetzung zwischen den Kraftfahrzeugen
- die Vernetzung zwischen den Kraftfahrzeugen und der Infrastruktur

### **2.3.4 Potential bei Flottenfahrzeugen**

Wenn autonome Kraftfahrzeuge in einer Flotte betrieben werden, wäre auch eine intensivere Nutzung der autonomen Kraftfahrzeuge zu erwarten, wodurch sich der Nutzungszeitraum verkürzen würde. Dies würde dazu führen, dass Flottenfahrzeuge früher ausgetauscht und erneuert werden müssen.

Durch den schnellen Austausch der Flottenfahrzeuge durch modernere Kraftfahrzeuge mit technologischer Erneuerung, die weniger Luftschadstoffe und Emissionen produzieren, könnte zu einer Reduktion von verkehrsbedingten Luftschadstoffen und Emissionen führen.

### **2.3.5 Positive Umwelteinwirkung durch die Reduktion von Kraftfahrerzeugen**

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 Kraftfahrzeuge 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 Kraftfahrzeuge verzichtet werden. [1]

### **2.3.6 Diskussion der Forschungsfrage**

Bei der Betrachtung der Frage welche Auswirkungen Kraftfahrzeuge auf die Umwelt haben und wie autonomes Fahren die negativen Auswirkungen reduzieren könne, können die zusammengestellten Informationen in dieser Fallstudie herangezogen werden. Mit Hilfe dieser Informationen kann die Forschungsfrage folgendermaßen beantwortet werden: Autonomes Fahren alleine kann die negativen Auswirkungen von Kraftfahrerzeugen auf die Umwelt nicht reduzieren. Viel mehr kann ein Verbund neuer Technologien und Verhaltensmuster die negative Auswirkungen reduzieren.

### **2.3.7 Verifikation der Hypothese**

Bei der Verifikation der Hypothese "Je mehr Kraftfahrzeuge autonom fahren, desto geringer fällt die Feinstaubbelastung durch Kraftfahrzeuge aus" fällt auf, dass diese aufgrund von fehlender Datenlage und Langzeitstudien nicht verifiziert werden kann.

## 3 Schluss

### 3.0.1 Zusammenfassung

Durch das voranschreiten des technologischen Vorschriffs werden die Folgen von negativen Umweltbelastungen zunehmend stärker. Eine Folge dieser negativen Umweltbelastungen können sich anhand von Luftschadstoffen und Feinstaub bemerkbar machen. Die Luftschadstoffe sind gefährlich für Menschen, da sie schwere Krankheiten und Tod verursachen können. Gerade Kraftfahrzeuge tragen einen Teil zu diesen Luftschadstoffen bei.

Kraftfahrzeuge können je nach ihrer Beschaffenheit in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Neue Technologien könnten dazu beitragen die negativen Auswirkungen von Kraftfahrzeugen auf die Umwelt zu reduzieren. Einer dieser neuen Technologien könnte das autonome Fahren sein. Auch der Automatisierungsgrad kann in verschiedene Klassen eingeteilt werden.

Da Luftschadstoffe durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen entstehen, können Potentiale im Bereich der Kraftstoffeinsparung und der stetigen Modernisierung von Kraftfahrzeugen erschließen.

Neben den Luftschadstoffen ist auch Feinstaub eine negative Belastung. Da Feinstaub nicht nur durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen entsteht, sondern auch durch den Abrieb der Reifen und Bremsen und Produktion von Kraftfahrzeugen, ergeben sich hier Einspareffekte bei der Reduzierung von Fahrten und der Reduktion von Fahrzeugbeständen.

Aufgrund der hohen Aktualität kann ein eindeutiger Trend noch nicht abgebildet werden. Vielmehr kann die Summe von mehreren neuen Technologien und geänderten Verhaltensmuster eine Trendwende schaffen. Hierunter könnte Elektromobilität, sowie der Verzicht auf ein eigenes Fahrzeug durch verschiedene autonome Mobilitätsdienstleister eine Rolle spielen.

### **3.0.2 Offene Fragen und Themen für weitere Entwicklungen**

#### **Wie können Verstöße gegen Verkehrsregeln gewichtet werden?**

Der Straßenverkehr wird durch verschiedene Verkehrsregeln geregelt. Es kann Situationen geben die durch ein Verstoß von Verkehrsregeln ein schlimmeres Ausmaß verhindern. Wie können solche Verstöße in Einklang mit den Verkehrsregeln gebracht werden?

#### **Wie können autonome Systeme Dilemma entscheiden?**

Es kann Situationen geben in jener ein Personenschaden nicht mehreren Parteien mehr verhindert werden kann. Wie kann ein autonomes Fahrzeug zwischen den verschiedenen Parteien entscheiden? Welche Faktoren werden für die Entscheidung benötigt?

#### **Wann ist ein autonomes Kraftfahrzeug sicher?**

Aktuell gibt es keine eindeutige Definition ab wann ein Kraftfahrzeug als sicher eingestuft werden kann. Welche Eigenschaften müssen hierfür erfolgt werden?

# Literaturverzeichnis

- [1] *Bratzel, Stefan, Thömmes, Jürgen* (2018): Alternative Antriebe, Autonomes Fahren, Mobilitätsdienstleistungen: Neue Infrastrukturen für die Verkehrswende im Automobilsektor, Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, 2018 as
- [2] *Die Bundesregierung Deutschlands* (2021): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes und des Pflichtversicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren,  
  
[https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile)  
Bearbeitungsstand: 08.02.2021, [Zugriff 2022-01-01]
- [3] *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO* (2015): Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen, Stuttgart, 2015
- [4] *Society of Automotive Engineers (SAE)* (2019): SAE J3016 202104 APR2021 SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE, [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/)  
Bearbeitungsstand: 2021, [Zugriff 2022-01-01]
- [5] *Bundesministeriums der Justiz* (1909): StVG (Straßenverkehrsgesetz), 2 Fassung, Saarland, 2003
- [6] *Europäischen Union* (2011): VERORDNUNG (EU) Nr. 678/2011, 2011
- [7] *Milakis, D., van Arem, B., van Wee, B.* (2017): Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research, Journal of Intelligent Transportation Systems, 2017

# Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Ich versichere auch, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version übereinstimmt. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde/Prüfungsstelle vorgelegen hat.

Ich erkläre mich damit einverstanden/nicht einverstanden, dass die Arbeit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Digitalversion dieser Arbeit zwecks Plagiatsprüfung auf die Server externer Anbieter hochgeladen werden darf. Die Plagiatsprüfung stellt keine Zurverfügungstellung für die Öffentlichkeit dar.

Freising, den 10. Januar 2022

---

Julian Turner



# Abstract

Beginnend bei der Produktion, über den Betrieb bis hin zur Entsorgung haben Kraftfahrzeuge negative Auswirkungen auf die Umwelt. Durch Luftschadstoffe und Feinstaub kann es zu schwerwiegenden Krankheiten und Tod kommen.

Durch neue technologische Fortschritte wie autonomes Fahren können Luftschadstoffreduktionen, Einsparpotenziale beim Kraftstoffverbrauch, schnellerer Durchsatz neuer Technologien oder eine Reduktion des Fahrzeugbestandes mit sich bringen.

In dieser Arbeit werden Aufbau der Kraftfahrzeuge und dessen Teilsysteme erklärt, sowie Stufen und Merkmale von Assistenzsystemen. Unter anderem werden Themengebiete wie Umweltbelastung Erwartungen an autonome Kraftfahrzeuge, die aktuelle gesetzliche Lage in Deutschland, Reduktion von Luftschadstoffen und Kraftstoffeinsparung untersucht.

Das Ziel dieser Arbeit ist den Zusammenhang zwischen autonomen Kraftfahrzeugen und einer Verringerung von Feinstaub näher zu untersuchen und die Hypothese zu verifizieren. Aufgrund der hohen Aktualität, kommt diese Arbeit zum Ergebnis, dass ein eindeutiger Trend noch nicht abgebildet werden kann, da hierfür Daten und Langzeitstudien nicht existieren. Vielmehr kann die Summe von neuen Technologien und geänderten Verhaltensmuster eine Trendwende schaffen.

Hierunter könnte Elektromobilität, sowie der Verzicht auf ein eigenes Fahrzeug durch verschiedene autonome Mobilitätsdienstleister eine Rolle spielen.