

Bachelor Thesis

Ökologische und wirtschaftliche Potenziale des autonomen Straßengüterverkehrs
für die Straßentransportlogistik von Zuliefererunternehmen am Beispiel des Pilot-
Projekts Mercedes-Benz Actros

Bearbeiter: Felix Siekmann



Abgabedatum: 19.10.2020

Erstprüfer: Prof. Dr. Claudia Brumberg

Zweitprüfer: Prof. Dr. Werner Roehrs

Studiengang: Technische Betriebswirtschaftslehre – Logistik

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abbildungsverzeichnis.....	II
III. Abkürzungsverzeichnis.....	III
1. Einleitung	1
1.1 Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.2 Gang der Untersuchung.....	4
2. Autonomisierung des Straßengüterverkehrs.....	7
2.1 Entwicklung des Straßengüterverkehrs.....	7
2.2 Stufen der Automatisierung.....	10
2.3 Voraussetzungen des autonomen Straßenverkehrs.....	12
2.3.1 V2X-Communication.....	13
2.3.2 Das 5G-Netz	14
2.3.3 Sicherheit und Datenschutz.....	15
3. Transportlogistik der Zuliefererunternehmen	17
3.1 Nutzfahrzeugkalkulation.....	17
3.2 Logistik 4.0	18
3.3 Green Logistics.....	19
3.4 Tourenplanung.....	20
4. Der aktuelle technische Stand im automatisierten Straßengüterverkehr	22
4.1 Mercedes Benz Actros.....	22
4.2 Platooning.....	24
5. Analyse des vollständig automatisierten Straßengüterverkehrs für Zuliefererunternehmen	26
5.1 Einfluss der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf die Tourenplanung der Zuliefererunternehmen.....	26
5.2 Einfluss der Autonomisierung auf die Fahraufgabe des Fahrzeugführers	30
6. Ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen der Umsetzung des autonomen Straßengüterverkehrs im Bereich der Transportlogistik von Zuliefererunternehmen.....	33
6.1 Wirtschaftliche Auswirkungen durch Kostenreduzierungspotenziale in der Anschaffung autonomer Fahrzeuge	33
6.2 Ökologische Auswirkungen durch die Autonomisierung der Straßengüterfahrzeuge von Zuliefererunternehmen	38
7. Fazit und Ausblick	42
IV. Literaturverzeichnis.....	IV
V. Eidesstattliche Erklärung.....	IX
VI. Einverständniserklärung.....	X

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verkehrsaufkommen und Anteil im Straßengüterverkehr für die Jahre 2000, 2005, 2010 & 2015.....	7
Abbildung 2: Übersicht über die Einführung von Fahrerassistenzsystemen (Stand 2014).....	10
Abbildung 3: Konflikte zwischen Safety, Cybersecurity und Privacy.....	15
Abbildung 4: Green Logistics Framework.....	18
Abbildung 5: Mercedes Benz Actros als erster Serien-LKW mit MirrorCams.....	21
Abbildung 6: Beziehung zwischen Kraftstoffeinsparungen und Abstand der Lkw im Platoon des "Energy ITS"-Projekts.....	36

III. Abkürzungsverzeichnis

UFF	Untersuchungsfrage
Pkw	Personenkraftwagen
Lkw	Lastkraftwagen
5G	5. Generation (im Mobilfunknetz)
SAE	Society of Automated Engineers
PPC	Predictive Powertrain Control
PI	Physical Internet
IoT	Internet of Things
TMC	Traffic Message Channel
HMI	Human Machine Interface
V2X	Vehicle-to-Everything
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2P	Vehicle-to-Pedestrian
V2S	Vehicle-to-Sensors
V2V	Vehicle-to-Vehicle

1. Einleitung

Die Vision der autonomen Fortbewegung im Straßenverkehr existiert schon seit langer Zeit und scheint immer schneller voranzuschreiten, indem erste Schritte zur vollständigen Automatisierung in Form von teilautonomen Fahrzeugen schon im Einsatz sind.¹ Fahrerassistenzsysteme wie z.B. der Spurhalteassistent und automatische Geschwindigkeitsregelanlagen (Tempomat) sind bereits in vielen Fahrzeugen verbaut und ermöglichen dadurch Entlastung und Fahrsicherheit für die Fahrer.² Es werden stetig mehr Fahrzeuge mit Funktionen, die eine schrittweise Automatisierung des Straßenverkehrs einleiten, zugelassen. Darüber hinaus wurden Systeme, die eine zeitweise Überlassung der Fahraufgabe durch den Fahrer an das Fahrzeug erlauben, für die nächsten Jahre angekündigt. Die ersten Innovationen der Automatisierung liegen dem Streben nach Sicherheit zugrunde.³ Auf die Fahrerkabine als Anfang des Sicherheitsstrebens folgten bald Komponenten, die aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen. Diese Komponenten wurden in Folge von Auswertungen der Unfallstatistiken soweit verbessert, dass die Fahrzeuge den Fahrer in Gefahrensituationen schützen konnten. Neben der Sicherheitskomponente wurden die Systeme so erweitert, dass das Fahren unterstützt werden sollte, um den Fahrer zu entlasten. So entstanden die ersten Fahrerassistenzsysteme, welche den Wettlauf zur Automatisierung der Straßenfahrzeuge in Gang setzten.

Die Automatisierung von Straßenfahrzeugen wird in mehrere Stufen eingeteilt, welche den Anteil des Menschen an der Fahrzeugführung darstellt. Sie reicht von den Stufen 0 bis 5, wobei die Stufe 0 den niedrigsten Grad der Automatisierung darstellt, in welcher der Mensch als Fahrer vollständige, manuelle Kontrolle über das Fahrzeug hat – gänzlich ohne das Einwirken von Fahrerassistenzsystemen. Die Stufe 5 beschreibt den höchsten Grad der Automatisierung, in welcher der Mensch keine Fahrfunktionen des Fahrzeugs übernimmt, demnach fährt es vollständig autonom.⁴ Die Potenziale der automatisierten Fahrzeugtechnologien hängen von dem jeweiligen Grad der Automatisierung ab. Damit verbunden sind auch zahlreiche Unsicherheiten rechtlicher, technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Natur, welche den Einsatz dieser Technologien bisher zum Teil bedingen oder sogar

¹ Vgl. Proff, H.(hrsg) 2020, S. 12.

² Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 12.

³ Vgl. Weiß, C. 2011.

⁴ Vgl. Festag, A. 2015, S. 413.

verhindern.⁵ Zu den möglichen Potenzialen, welche mit der fortschreitenden Vernetzung und Autonomisierung des Straßenverkehrs einhergehen, gehören im Wesentlichen die Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr, die Erhöhung der Verkehrseffizienz, die Verbesserung des Verkehrsmanagements und die Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen.

In der Diskussion zur Automatisierung des Straßenverkehrs werden häufig die Aspekte des Straßengüterverkehrs vernachlässigt, da dieser lediglich ein Neuntel des Gesamtverkehrs auf den Straßen einnimmt.⁶ Es sollte allerdings berücksichtigt werden, dass der Güterverkehr durch seine wirtschaftliche Entwicklung in wichtigen Wirtschaftsregionen zukünftig wesentlich schneller wachsen wird, als die Personenbeförderung.⁷ Im Gegensatz zur utilitaristisch oder hedonistisch getriebenen Kaufentscheidung eines Pkw, ist der Lkw als Nutzfahrzeug ein Investitionsgut und soll die Effizienz und Rendite des Fahrzeugeinsatzes maximieren. Autonome, fahrerlose und teil-autonome Fahrzeuge werden bereits seit den 1950er-Jahren im innerbetrieblichen Wirtschaftstransport verwendet und würden auf öffentlichen Straßen unter Einhaltung der notwendigen technischen, organisatorischen, rechtlichen und sicherheitsbezogenen Voraussetzungen ein hohes Steigerungspotenzial in Bezug auf Produktivität, Zuverlässigkeit und Flexibilität umsetzen können.⁸ Die Wirtschaftlichkeit steht hierbei im Vordergrund des Straßengüterverkehrs und geht dank der fortschreitenden Automatisierung mit der Nachhaltigkeit einher.⁹ Die resultierenden Nachhaltigkeitsaspekte sind jedoch noch nicht vollends definiert, da der Autonomisierungsprozess noch in den Anfängen steckt.¹⁰ Die Auswirkungen der Autonomisierung gelten somit zwar auch noch als nicht vollständig erforscht, aber Studien, die sich auf die Ressourcen-Effizienz und Nachhaltigkeit beziehen, fallen hinsichtlich der Potenziale meist positiv aus, weil diese selten die technische Realisierbarkeit der Autonomisierungsprozesse thematisieren.

⁵ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 12f.

⁶ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 378.

⁷ Vgl. Wiehen, C. 2014, S. 90.

⁸ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 378.

⁹ Vgl. Wiehen, C. 2014, S. 90.

¹⁰ Vgl. Hampel, J. et al. 2018.

Erste Ansätze der Realisierung des autonomen Straßengütertransports sind die automatisiert fahrenden Lastkraftwagen der Daimler AG in Deutschland. Das Highway Pilot-System basiert auf dem sogenannten Platooning welches einen Verbund der Lastkraftwagen nutzt, um einige Potenziale der Automatisierung hervorzubringen.¹¹ Hierbei wird noch keine vollständige Automatisierung umgesetzt, doch das Pilot-Projekt von Mercedes Benz konnte bereits erfolgreich auf öffentlichen Straßen getestet werden. Nun gilt es, die entsprechenden Rahmenbedingungen zu schaffen, um eine Umsetzung der Technologien im öffentlichen Verkehrsnetz zu ermöglichen.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Der Gütertransport über den Straßenweg wird in dieser Arbeit im Mittelpunkt stehen. Dabei wird grundsätzlich in der Beschaffungs- und Distributionslogistik angesetzt, welche durch oben genannte Potenziale kritische Erfolgsfaktoren für Logistikunternehmen darstellen.¹² Ziel der vorliegenden Ausarbeitung ist es, weitere erfolgskritische Potenziale des autonomen Straßengütertransports mithilfe des Pilot-Projekts Mercedes-Benz Actros der Daimler AG herauszuarbeiten. Dabei wird darauf eingegangen, welche Bereiche der Straßentransportlogistik von der Autonomisierung beeinflusst werden und welche Grundbausteine gelegt werden müssen, um ein Umfeld zu schaffen, das den Bedingungen des Autonomisierungsprozesses gerecht wird. Das Projekt der Daimler AG wird in dieser Arbeit mit einer Technologie in Verbindung gebracht, welche in vielen Ländern ein wichtiges Standbein in der Entwicklung zur Autonomisierung darstellt. Dies soll Aufschluss darüber geben, welche Schritte notwendig sind, damit die Autonomisierung von LKWs auf dem Straßengüterverkehrsmarkt vollends Einzug finden kann. Zudem sollen ökologische und wirtschaftliche Potenziale des Autonomisierungsprozesses sowie deren Auswirkungen auf die Straßentransportlogistik identifiziert werden. Daraus ergibt sich folgende Hauptforschungsfrage: *Welche ökologischen und wirtschaftlichen Potenziale ergeben sich aus der vollständigen Automatisierung des Straßengüterverkehrs für die Straßentransportlogistik von Zuliefererunternehmen?*

¹¹ Vgl. Ballarin, C. 2016, S. 37.

¹² Vgl. Wiehen, C. 2014, S. 90.

Zur Beantwortung der Leitfrage wurden zwei Unterforschungsfragen (UFF) formuliert, die im Folgenden hergeleitet werden.

Die Veränderung der Tourenplanung ist durch den Einfluss der Kommunikationstechnologie in Folge der Autonomisierung der Straßengüterfahrzeuge begründet. Die V2X-Communication ist eine technologische Grundlage der Einführung des autonomen Straßengüterverkehrs und hat zur Folge, dass sich die Tourenplanung für Zuliefererunternehmen maßgeblich verändert. Diese Veränderungen haben somit indirekten Einfluss auf die Auswirkungen der Einführung des autonomen Straßengüterverkehrs von Zuliefererunternehmen. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich die folgende Fragestellung:

UFF 1: Welchen Einfluss hat die Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf die Tourenplanung im Transportprozess der Zuliefererunternehmen?

Neben den Auswirkungen des Automatisierungsprozesses auf logistische Aufgaben, wird sich die Nutzung von Fahrerassistenzsystemen als Teil dieses Prozesses bis hin zum Wegfall der Fahrtätigkeit auf die Rolle des Fahrzeugführers auswirken. Die Herleitung der zweiten UFF ergibt sich demnach ebenfalls aus der Einführung von notwendigen Technologien für die Umsetzung des autonomen Straßengüterverkehrs:

UFF 2: Welchen Einfluss hat die Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf die Fahraufgabe des Fahrzeugführers?

Die Ausarbeitung der Themen wird unter Ausschluss der Thematisierung der Ethik-Debatte des autonomen Straßenverkehrs erfolgen, da dies den Rahmen der Bachelorthesis überschreiten würde. Aus demselben Grund wird von der Betrachtung des Elektro-Antriebes abgesehen und der Fokus auf den Verbrennungsmotor im Straßengütertransport gesetzt.

1.2 Gang der Untersuchung

Im zweiten Kapitel dieser Arbeit wird der Straßengüterverkehr mithilfe von Statistiken und Zahlen der deutschen Industrie vorgestellt, wodurch die Anteilsverhältnisse im Straßenverkehr verdeutlicht werden. Hierfür wurde der deutsche Markt gewählt, da dieser grundsätzlich über die letzten Jahre ein geeignetes Beispiel für moderne Länder mit hohem Verkehrsaufkommen ist, um die Entwicklung des Straßengüterverkehrs aufzuzeigen. Darauf folgen die sechs Stufen der Automatisierung sowie die grundlegenden Voraussetzungen für die Autonomisierung

des Straßengüterverkehrs. Diese Themenfelder legen einen Teil des theoretischen Rahmens für die Ausführungen des Analyseteils. Einige der Voraussetzungen wie das Bewusstsein für Datenschutz und Sicherheit im autonomen Straßenverkehr sind in den meisten Industrieländern bereits vorhanden und werden durch ihre relevante Rolle im Entwicklungsprozess thematisiert. Zudem werden auch Technologien wie das 5G Mobilfunknetz behandelt, welche selbst in den modernen Industrieländern noch in der Entwicklung sind, somit noch Jahre bis zur Marktreife benötigen und auch zukünftig Herausforderungen darstellen. Für die Stufen der Automatisierung wird eine offizielle Einteilung der Automatisierungsgrade über den Verlauf der Arbeit genutzt.

Das dritte Kapitel behandelt die Auswirkungen und technologischen Voraussetzungen der Einführung des autonomen Straßengüterverkehrs für Zuliefererunternehmen. Dabei wird auf Aspekte wie die Nutzfahrzeugkalkulation eingegangen, indem erklärt wird, wie sich die Kosten eines Nutzfahrzeuges kalkulieren lassen, um später den Bezug zu den wirtschaftlichen Auswirkungen herzustellen. Anschließend wird in Kapitel 3.2 auf den Begriff der Logistik 4.0 eingegangen und wie er in Folge der Industrie 4.0 mit dem Thema des autonomen Straßengüterverkehrs einhergeht. Darauf folgt der Begriff der Green Logistics, der in Bezug auf Unternehmen die ökologischen Auswirkungen behandelt. Die Tourenplanung bildet den letzten Teil der unternehmensbezogenen Grundlagen und dient der Vermittlung eines Grundverständnisses für die Tourenplanung in Logistikunternehmen.

Nachdem die Grundlagen der Autonomisierung in Form der technischen Voraussetzungen und Herausforderungen, den Entwicklungen der Industrieländer und den unternehmensbezogenen Aspekten aufgezeigt wurden, werden die aktuellen Forschungsstände in Kapitel 4 vorgestellt, die zur Veranschaulichung von zwei Seiten beleuchtet werden. Zum einen wird das zu dem Zeitpunkt modernste Straßengüterfahrzeug auf dem Markt vorgestellt, um den Stand der Forschung aus Herstellersicht darzustellen. Zum anderen wird die der Autonomie am nächsten kommende, infrastrukturelle Technologie vorgestellt, welche in einigen Ländern in Form von Projekten, zum Ansatz des vollständig automatisierten Straßengüterverkehrs erforscht wird. In Kapitel 4.1 wird das neueste Modell des Mercedes-Benz Actros vorgestellt und im darauf folgenden Kapitel 4.2 das Konzept

des Platoonings aus mehreren Ländern, wie zum Beispiel Frankreich, Deutschland und Japan. Die Vorstellung dieser Technologie und des Fahrzeugmodells wird in Kapitel 6 mithilfe der Betrachtung von Studien vertieft, um das zuvor entwickelte Verständnis für eine detaillierte Analyse zu verbessern.

Das Kapitel 5 dient der Beantwortung der UFFs. Die erste UFF wird unter Berücksichtigung der theoretischen Grundlagen aus Kapitel 3.4 und der Betrachtung von Software-Programmen, die heutzutage von Logistikunternehmen zur Tourenplanung genutzt werden, beantwortet. In Verbindung mit der Analyse der Software wird auf die Themen der Logistik 4.0 zurückgegriffen, um den Wandel der Tourenplanung zu verdeutlichen. Des Weiteren werden aktuelle Studien herangezogen und ein Modell der Tourenplanung vorgestellt, welche die bisherigen Vorgehensweisen revolutionieren könnten. Zur Beantwortung der zweiten UFF wird die Aufgabe des Fahrzeugführers über den Prozesslauf der Automatisierung betrachtet. Dabei wird der Fokus auf die Veränderung der Fahrtätigkeit gelegt, um ein Verständnis der Entwicklung der Fahrzeugführung über den Automatisierungsprozess bis hin zur Autonomie zu schaffen.

Auf Grundlage der vorangegangenen analytischen Ausführungen, dient das 6. Kapitel der Beantwortung der Hauptforschungsfrage. Es bezieht sich primär auf Studien und Literatur führender Unternehmen und Universitäten, da die behandelten Themen zum Teil zukunftsorientiert sind und die vorhandene Literatur in den meisten Fällen Zukunftsprognosen darstellt. Diese ermöglichen erste Einblicke darauf, welche Auswirkungen die zu erwartende Technologie auf die Unternehmen in der Logistik und den Straßengüterverkehr haben. Grundsätzlich wird der Schwerpunkt aus Kapitel 4 übernommen. Hierbei wird das aktuelle Modell des Mercedes-Benz Actros an die Technologie des Platoonings angenähert und mithilfe der dazu benötigten technologischen Voraussetzungen verbunden. Diese Herangehensweise dient dazu, dass im Rahmen der vorliegenden Arbeit anhand vorhandener Technologien eine zukunftsfähige Lösung des autonomen Straßengüterverkehrs erarbeitet wird. Das heißt, dass der Anteil an unsicheren und spekulativen Inhalten möglichst gering gehalten wird, sodass die Hauptforschungsfrage mithilfe von aktuell vorhandenen Ansätzen und marktpräsenten Technologien realitätsnah beantwortet werden kann.

Die Hauptforschungsfrage wird dabei in zwei Teile (Kapitel 6.1 & 6.2) gegliedert und bezieht sich im ersten Teil auf die wirtschaftlichen Auswirkungen der Umsetzung des

autonomen Straßengüterverkehrs. In Kapitel 6.1 wird sich dementsprechend auf die Kostenauswirkungen bezogen, da diese eine große Rolle in den wirtschaftlichen Folgen der Umsetzung des autonomen Straßengüterverkehrs einnehmen. Des Weiteren werden die Auswirkungen der technologischen Fortschritte aus dem Platooning und dem Modell Actros von Mercedes-Benz kombiniert und im wirtschaftlichen Kontext ausgewertet. In Kapitel 6.2 werden die ökologischen Auswirkungen thematisiert und erneut über die Kombination der Auswirkungen durch das Platooning und den technologischen Aspekten des Actros analysiert. Dazu wird wie in den Grundlagen der Bezug zum deutschen Straßenverkehr hergestellt, um die Vergleichswerte eines fortschrittlichen Industrielandes zu nutzen.

2. Autonomisierung des Straßengüterverkehrs

Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen des Straßengüterverkehrs dargelegt und mit der Autonomisierung in Verbindung gesetzt. Dazu wird die Entwicklung der letzten Jahrzehnte des Güterverkehrs auf den deutschen Straßen beleuchtet und die Voraussetzungen der Autonomisierung auf deutschen Straßen in diskutiert. Aufgrund von unterschiedlichen Entwicklungsständen der Voraussetzungen für eine Autonomisierung des Straßengüterverkehrs, werden Entwicklungsstände aus anderen Ländern herangezogen, um einen Vergleich des Autonomisierungsprozesses aufzustellen. Im Rahmen der Voraussetzungen der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs werden ausschließlich technische Voraussetzungen thematisiert, um die technischen Komponenten, für die in Kapitel 4 bis 6 behandelten Themen, vorzustellen. Somit werden die Themen des Kapitel 2 auf den Informationsaustausch zwischen den Verkehrseinheiten abgestimmt.

2.1 Entwicklung des Straßengüterverkehrs

Der deutsche Straßengüterverkehr wird vom Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) in zwei Begriffe aufgeteilt: den Güterkraftverkehr und den Werkverkehr.¹³ Der Güterkraftverkehr bezieht sich dabei auf die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, welche einschließlich Anhänger mehr als 3,5 Tonnen wiegen. Der Werkverkehr ist der Güterkraftverkehr für die ausschließlich eigenen Zwecke der Unternehmen.

¹³ Vgl. BMJV 2020.

Angaben in Mio. t	2000	Anteil	2005	Anteil	2010	Anteil	2015	Anteil
Straßengüterverkehr	3244	100%	3062	100%	3125	100%	3480	100%
Deutsche Lkw	2994	92%	2742	90%	2717	87%	3019	87%
Gewerblicher Güterkraftverkehr	1539	51%	1647	60%	1951	72%	2265	75%
Nah*	836	54%	805	49%	956	49%	1135	50%
Regional**	307	20%	346	21%	446	23%	556	25%
Fern***	397	26%	496	30%	549	28%	574	25%
Werkverkehr	1455	49%	1095	40%	766	28%	754	25%
Nah*	1080	74%	781	71%	521	68%	525	70%
Regional**	252	17%	209	19%	161	21%	159	21%
Fern***	123	8%	106	10%	85	11%	70	9%
Ausländische Lkw	251	8%	320	10%	408	13%	461	13%

Legende: * ≤50 km, ** 51 km - 150 km, *** >150 km

Abbildung 1: Verkehrsaufkommen und Anteil im Straßengüterverkehr für die Jahre 2000, 2005, 2010 & 2015¹⁴

Der gewerbliche Güterkraftverkehr wird dabei hauptsächlich von Speditionen und Fuhrparkunternehmen im Auftrag des Versenders vorgenommen, dabei darf dieser nach Erfüllung des Transportauftrages für den Rückweg neue Transportaufträge annehmen.¹⁵ Dem Werkverkehr bleibt dies untersagt, weshalb dieser in der Regel eine Leerfahrt pro Transportauftrag beinhaltet. Des Weiteren darf der Werkverkehr nur mit unternehmenseigenen Fahrern vorgenommen werden und der Beschaffungs- sowie Distributionslogistik von Industrieunternehmen dienen. Dies führt zur Anteilsabnahme des Werkverkehrs am deutschen Gesamtstraßengüterverkehr, was durch die Zahlen in der Abbildung 1 dargestellt wird.

Der Straßengüterverkehr hat seit dem Jahr 2000 einen Anteil von ca. 84% des Verkehrsaufkommens aller Verkehrsbereiche innerhalb Deutschlands zu verzeichnen.¹⁶ Im Gegensatz zum Aufkommen des Straßengüterverkehrs steigt der Anteil der Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs seit dem Jahr 2000 stetig an. Diese Entwicklung wurde 2005 durch den Güterstruktureffekt, Logistikeffekt, Integrationseffekt und den Systemcharakter des Straßengüterverkehrs begründet.

¹⁴ Vgl. Bäumler, I, S. 13.

¹⁵ Vgl. Bäumler, I, S. 11.

¹⁶ Vgl. Ebenda

Der Güterstruktureffekt beschreibt den Wandel von Massengütern auf hochwertige Konsum- und Produktionsgüter.¹⁷ Der Logistikeffekt wird auf den Wandel der Anwendungen in der Logistik zurückgeführt. Als Anwendungsbeispiel dient das Just-in-Time-Prinzip, was zur Kostensenkung der Lagerhaltung führen kann und seit Mitte der 80er Jahre beobachtet wird. Der Integrationseffekt beschreibt den organisatorischen und infrastrukturellen Einfluss auf grenzüberschreitenden Lieferverkehr. Häufig wird hier der Transport auf der Straße, besonders im osteuropäischen Grenzraum, bevorzugt. Der Systemcharakter des Straßengüterverkehrs zeigt sich besonders durch seine Dichte im europäischen Raum geeigneter als die anderen Verkehrswege, wie den Schienengüterverkehr.

Trotz des hohen Straßengüterverkehrsaufkommens im deutschen Raum über die letzten zwei Jahrzehnte, ist die Unfallquote mit Todesfällen unter Beteiligung von Straßengüterfahrzeugen rückläufig.¹⁸ Diese Tendenz hängt mit dem technologischen Fortschritt der Sicherheitssysteme der Fahrzeuge zusammen. Zu Anfang hat die Einführung des Airbags und Gurtstraffers die passive Sicherheit des Fahrers erhöht.¹⁹ Diese bezieht sich auf die Folgen eines Unfalls. Später hat die Einführung von aktiven Sicherheitssystemen zur Vermeidung der Entstehung von Unfällen geholfen. Die vollständige Übernahme der Fahrfähigkeit von Straßengüterfahrzeugen im öffentlichen Raum wird hingegen schon seit den 1990er Jahren betrieben.²⁰ Seitdem wird das autonome Fahren problemorientiert eingesetzt, was bedeutet, dass das Fahrzeug nur in für Menschen unzugänglichen Gefahrenzonen eingesetzt wird. Als Beispiel dient der autonome Lkw in der weltgrößten Eisenerzmine in Australien.²¹ Die Lkw, auch Muldenkipper genannt werden aus über 1200 Kilometern Entfernung gesteuert. Die autonome Steuerung hat Sicherheitsgründe, da die Muldenkipper bis zu 360 Tonnen Erz pro Fahrt transportieren und die Höhe eines dreistöckigen Hauses haben.

¹⁷ Vgl. Schröder, E.-J, S. 86.

¹⁸ Vgl. Geller, K. et al. 2012.

¹⁹ Vgl. Reif, K.(hrsg) 2010, S. 106.

²⁰ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 382.

²¹ Vgl. Ordrich, P. 2015.

2.2 Stufen der Automatisierung

Um eine vollständige Automatisierung der Fahraufgabe verwirklichen zu können, muss zwischen den Aufgaben zum sicheren Ausführen der Fahraufgabe differenziert werden.²² Dafür werden Informationen über die Verkehrssituation auf der Straße, die Fahrbahnoberfläche auf der Stabilisierungsebene, sowie das Straßennetz auf der Navigationsebene benötigt. Des Weiteren erfordert das Führen des Fahrzeugs das Lenken, Gas geben und Bremsen sowie die Entscheidung über Geschwindigkeit und Spur zur Längs- und Querführung des Fahrzeugs. Diese Entscheidungen stehen in Abhängigkeit zu den herrschenden Umweltbedingungen und dem damit verbundenen Handlungswissen. Folglich ist die Fahraufgabe eine komplexe Aufgabe, die von einer Maschine fehlerfrei ausgeführt werden muss, um Sicherheits- und Effizienzaspekte realisieren zu können. An dieser Stelle setzt auch die Ethik-Debatte der Autonomisierung an, was in dessen Entwicklung stets zu Verzögerungen geführt hat.

Die Automatisierung der Straßenfahrzeuge erfolgt stufenweise bis hin zur vollständigen Autonomisierung, welche den Grad der Einbindung des Menschen an der Fahrzeugführung und Systemüberwachung beschreibt.²³ Die Stufen reichen von 0 bis 5, wobei die Höhe der Stufe den Automatisierungsgrad darstellt. Bei der niedrigsten Stufe, der Stufe 0, übernimmt der Mensch die vollständige Steuerung des Fahrzeugs. In diesem Fall besitzt das Fahrzeug keine Assistenzsysteme und wird manuell vom jeweiligen Fahrer geführt. Bis einschließlich der Automatisierungsstufe 3, ist das Fahrzeug und dessen Systeme ständig durch den Fahrzeugführer zu überwachen, auch wenn die Fahrfunktionen umfangreich an die Maschine abgegeben werden können. Die Entwicklung der vollständigen Übertragung aller Fahr- und Überwachungsfunktionen wird von den Stufen 4 und 5 beschrieben. Die Fahrerassistenzsysteme der Stufen 1 bis 3 unterstützen den Fahrer im Gegensatz zur Stufe 4 oder 5 lediglich bei seiner primären Fahraufgabe.²⁴ Außerdem helfen die Assistenzsysteme dem Fahrer mit Aufgaben in erschwerten Situationen, wie zum Beispiel mit Entfernungs- und Geschwindigkeitsschätzungen bei Behinderung der Sicht durch Witterungseffekte. Die Spurwechsel- und Spurhalteassistenten sind neben den Abstandsregeltempomaten seit November 2013, in Folge eines schweren

²² Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 385.

²³ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 13.

²⁴ Vgl. Reif, K.(hrsg) 2010, S. 104.

Unfalls verpflichtend geworden.²⁵ In der Entwicklung stehen weitergehend Abbiege-, Einpark- sowie Kippschutzsysteme kurz vor der Marktreife oder sind bereits serienreif, um den Fahrer auf der Bahnführungs- und Stabilisierungsebene zu unterstützen. Diese Systeme sind besonders im Straßengüterverkehr als wertvoll zu beurteilen.

In den letzten 40 Jahren wurden in Folge der Motivation, den Straßenverkehr sicherer zu machen, verschiedene Systeme entwickelt, welche zur Realisierung effizienterer, sicherer und komfortablerer Individualmobilität beitragen.²⁶

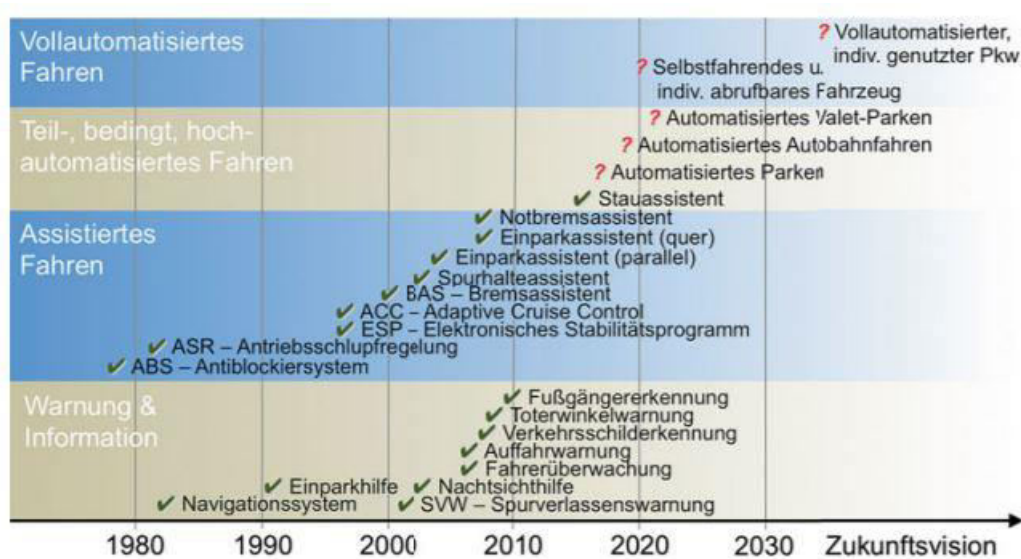


Abbildung 2: Übersicht über die Einführung von Fahrerassistenzsystemen (Stand 2014)²⁷

In der Abbildung 2 wird die Einführungsabfolge von Fahrerassistenzsystemen der letzten 40 Jahre dargestellt. Dabei sind die Systeme zu ihrer Funktion in vier Gruppen eingeteilt, welche neben den sechs Automatisierungsstufen von der Norm SAE J3016 (Society of Automotive Engineers) festgelegt wurden.²⁸ Da die Statistik 2014 erstellt wurde, kann die Entwicklung des automatisierten Parkens und der Automatisierung des Autobahnfahrens in den letzten sechs Jahren nachvollzogen werden. Außerdem können das Valet-Parken und das selbstfahrende, individuell abrufbare Fahrzeug als Neuentwicklung der nächsten Jahre ausgemacht werden. Außerdem geht aus der Grafik hervor, dass zum Zeitpunkt der Erstellung erst ca. 2035 mit einem vollautomatisierten, individuell genutzten Pkw gerechnet wird.

²⁵ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 386.

²⁶ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 198.

²⁷ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 200.

²⁸ Vgl. o.A. 2018.

Im Verlauf dieser Arbeit wird mit der vollständigen Automatisierung immer die Stufe 5 der Automatisierungsstufen gemeint sein, somit also das fahrerlose Fahren und autonome Fahren der Fahrzeugeinheit. Die Autonomie eines Fahrzeugs ist demnach durch die Ausstattung der Automatisierungsstufe 5 gegeben und wird somit als vollständig automatisiert bezeichnet.

2.3 Voraussetzungen des autonomen Straßenverkehrs

Das Zukunftsszenario des Automobils wird sich laut Experten digital und vernetzt gestalten.²⁹ Durch das Internet der Dinge (Internet of Things) wird das Fahrzeug mit dem Zuhause (Smart Home), dem Arbeitsplatz und den Daten des Terminkalenders verbunden sein. Durch Kameras, Sensoren und Prozessoren wird es selbstständig durch den Verkehr navigieren können, denn durch die Einbindung in intelligente Verkehrsnetze kann es über Staus oder Gefahrenquellen in Echtzeit informiert werden. Auf diese Weise wird es die Nutzer näher an die „Vision Zero“, also der Verhinderung jeglicher Todesopfer durch Verkehrsunfälle, bringen. Dazu muss die Automobilbranche mit der Digitalbranche zusammenarbeiten sowie die Politik einen rechtlichen Rahmen schaffen, um die dafür erforderlichen Innovationen voranzutreiben. Die zunehmende Vernetzung durch das Internet der Dinge und der Industrie 4.0 bewirkt, dass das Fahrzeug als ein Herzstück des zukünftigen Internets agieren wird (Smart Car).³⁰ Dadurch werden intelligente Steuerungen der Verkehrsflüsse (Smart Traffic) ermöglicht. Durch die Digitalisierung wird auch die Automatisierung der Fahrzeuge vorangetrieben.³¹ Mithilfe von mindestens 150 kleinen Computern in jedem modernen Mittelklassewagen wird eine Vernetzung durch Internet der Dinge, Daten und Dienste möglich. Diese Computer dienen als Kommunikationsmittel und avancieren mithilfe von eingebetteten Systemen zu selbsttagierenden Einheiten, welche einzelne Fahraufgaben übernehmen und so letztendlich ein vollständig automatisiertes Fahrzeug realisieren. Dadurch werden Autos mit zahlreichen Sensoren, Aktuatoren und eingebetteten Systemen zu einem anschaulichen Beispiel für moderne Cyber-Physische-Systeme.

²⁹ Vgl. Dirks, T. 2015, S. 10.

³⁰ Vgl. Kagermann, H. 2017, S. 363.

³¹ Vgl. Kagermann, H. 2017, S. 366.

Die folgenden Kapitel behandeln Werkzeuge, die für eine Vernetzung der Automobile mit der Umwelt von besonderer Relevanz sind. Dafür wird ein Konzept für die Art der Kommunikation anhand von mehreren Technologien vorgestellt und damit einhergehend ein Hindernis der Realisierung der Technologien behandelt.

2.3.1 V2X-Communication

Die V2X-Technology (auch Vehicle-to-Everything-Technology) bezieht sich auf ein intelligentes Transportsystem, in dem alle Straßeneinheiten wie Fahrzeuge, Fußgänger, Motorräder und Infrastruktureinheiten miteinander verbunden sind.³² Diese Verbindung trägt dazu bei, dass genauere Informationen über die Verkehrssituationen im Straßennetzwerk zur Verfügung stehen. Auf diese Weise kann die V2X-Technology als Teil der „Connected-Car“-Prinzipien den Verkehrsfluss verbessern und helfen, Unfälle zu vermeiden. Das Connected Car ist ein Fahrzeug, das in der Lage ist, auf das Internet zuzugreifen, mit intelligenten Geräten zu kommunizieren und mit anderen Autos und Straßeninfrastrukturen Daten in Echtzeit auszutauschen.³³

Die meisten autonomen Fahrzeuge, die sich derzeit in der Entwicklung befinden, basieren auf einem Wahrnehmungssystem, das aus Bordsensoren, die eine Karte der Fahrzeugumgebung erstellen, und einem Steuerungssystem besteht, welches die Längs- und Querbewegung des Fahrzeugs regelt.³⁴ Obwohl dieser Ansatz bereits in Feldversuchen demonstriert wurde, weist er einige Nachteile auf: erstens erlaubt der begrenzte Wahrnehmungsbereich der Onboard-Sensoren nur die Erkennung benachbarter Fahrzeuge, und zweitens sind die Fahrzeuge nicht in der Lage zu kooperieren, um Manöver mit hoher Komplexität effizient durchzuführen. Diese Einschränkungen können mit Hilfe der Fahrzeug-zu-Fahrzeug/Infrastruktur-Kommunikation (V2V/V2I) überwunden werden, die bei autonomen Fahrzeugen wiederum zwei Hauptmerkmale ermöglicht. Zum Einen erhöht die kooperative Erfassung die Erfassungsreichweite durch den gegenseitigen Austausch von erfassten Daten, zum Anderen ermöglicht das kooperative Manövrieren einer Gruppe von autonomen Fahrzeugen, koordiniert nach einer gemeinsamen zentralisierten oder dezentralisierten Entscheidungsstrategie zu fahren. Die Integration von

³² Vgl. Alnasser, A. et al. 2019, S. 4.

³³ Vgl. Coppola, R./Morisio, M. 2016, S. 46.

³⁴ Vgl. Hobert, L. et al. 2015, S. 64f.

Bordsensoren und V2X-Kommunikation führt auch zu einer Lösung, die kostengünstiger ist als ein Ansatz, der nur auf hochwertigen Sensoren basiert.

V2X unterstützt eine einheitliche Plattform zur Konnektivität der verbundenen Einheiten.³⁵ Dazu ermöglicht es den Einheiten, Informationen in Form von der Geschwindigkeit, Position oder Richtung zu ihren festen oder beweglichen Nachbareinheiten zu übertragen. Diese Informationen werden dann genutzt, um intelligente Entscheidungen zu treffen. Die Kommunikationsart hängt von den Einheiten ab, welche die Verbindung eingehen. Es gibt fünf Arten der Kommunikation von denen vier für diese Arbeit von Relevanz sind: Vehicle-to-Sensors (V2S) repräsentiert die Verbindung zwischen Sensoren und den fahrzeuginternen Subsystemen, Vehicle-to-Vehicle (V2V) umfasst die Kommunikation zwischen Fahrzeugen, Vehicle-to-Pedestrian (V2P) stellt die Verbindung zwischen einem Fahrzeug und den umgebenen Nutzern der V2V-Technologie her und Vehicle-to-Infrastructure (V2I) repräsentiert die Kommunikation zwischen den Straßeneinheiten (z.B. Autos) und der Infrastruktur (z.B. Ampeln).

2.3.2 Das 5G-Netz

Seit 20 Jahren spielt das mobile Telefonieren in der westlichen Gesellschaft eine wichtige Rolle, seit zehn Jahren stehen die Menschen täglich in Kontakt mit digitalen und mobilen Endgeräten, dazu entstanden neue Anwendungen zum Mobilfunk, wie zum Beispiel das Mobile Videostreaming und Mobile Video Gaming.³⁶ Daraufhin kam zu dem ständig steigenden mobilen Datenvolumen die Kommunikation von Maschine zu Maschine, die Industrie 4.0 und zuletzt das damit häufig verbundene Internet der Dinge.

Das aktuelle System (LTE) als mobiler Breitbanddienst (MBB) hat den Schwerpunkt in der Kommunikation zwischen Menschen, wobei in Zukunft ein System mit Schwerpunkt auf der Maschinen-basierten Kommunikation benötigt wird.³⁷ Die in Mitte der 2020er Jahre erwartete fünfte Generation (5G) des öffentlichen Mobilfunks wird dabei eine entscheidende Rolle spielen.³⁸ Sie gilt als Quantensprung zur aktuellen Technologie da sie durch den Einsatz kleiner, leistungsfähiger Funkzellen,

³⁵ Vgl. Alnasser, A. et al. 2019, S. 6.

³⁶ Vgl. Malleck, H./Mecklenbräuker, C. 2018, S. 437.

³⁷ Vgl. Schellmann, M. 2018.

³⁸ Vgl. Malleck, H./Mecklenbräuker, C. 2018, S. 437.

welche sich an den Positionen der Endgeräte orientieren, auch in dicht verbauten Innenstadt-Geländen sehr hohe Kapazitäten bietet. Des Weiteren sind die Rechner der Funkzellen über ein Cloud-Computing verbunden, sodass mehrere logisch unabhängige Netze (Network Slices) eingerichtet werden können, die sich durch eine sehr niedrige Latenzfähigkeit auszeichnen. Diese Anwendung ist besonders im Bereich des Autonomen Fahrens ein essenzieller Bestandteil der Voraussetzungen für eine schnelle Kommunikation zwischen den Einheiten. Ein weiterer Vorteil ist, dass über die verschiedenen Netzteile an unterschiedliche Funktionen des Empfängers gesendet werden können.³⁹ Dadurch können sich die Informationen nicht tangieren und es kommt zu keinem Paketverlust und keiner Laufzeitvarianz. Bei der in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Sensoren-Vielfalt ist es somit wesentlich unwahrscheinlicher, dass Signale in zu großer Masse verloren gehen oder das System durch zu viele Informationen von Sensoren und Kameras überlastet wird.

2.3.3 Sicherheit und Datenschutz

Ein unberechtigter Zugriff oder eine Attacke auf das sicherheitsrelevante elektronische Steuerungssystem eines Kraftfahrzeugs, kann mehrere negative Folgen nach sich ziehen.⁴⁰ Einerseits kann es auf die elektronische Lenkung Einfluss nehmen, was zur Gefährdung von Personen, Sachwerten oder der Umwelt kommen kann. Andererseits kann es die Informationssicherheit des Fahrzeugs beeinflussen, was bedeutet, dass die Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität von Daten gefährdet werden können. Grundsätzlich kann bei nicht-vertraulichen Nachrichten in der Kommunikation zwischen den Einheiten im Verkehr, die Nachricht unverschlüsselt versendet werden und ist damit für alle Nachbargeräte in der Umgebung bestimmt.⁴¹ Die Empfänger-Einheit muss nun die Authentizität und Integrität der empfangenen Nachricht prüfen, da diese sich direkt auf das Ergebnis und die Wirksamkeit von allen darauf basierenden Anwendungen bezieht. Die Vernetzung der Fahrzeuge bringt eine Vielfalt von Gefahrenpotenzialen (Angriffsschnittstellen) durch die Kommunikation der Software mit.⁴² Neben den Angriffen auf sicherheitskritische Systeme des Fahrzeugs, welche besonders für den Fahrzeugführer eine Gefahr darstellen, spielen im vernetzten Straßenverkehr auch

³⁹ Vgl. Fischer, E. 2017, S. 52f.

⁴⁰ Vgl. Schnieder, L./Hosse, R.S. 2018, S. 1ff.

⁴¹ Vgl. Miucic, R. 2018, S. 83ff.

⁴² Vgl. Krauß, C./Waidner, M. 2015, S. 385f.

Angriffe auf die Cyber-physischen-Systeme der Unternehmensfahrzeuge eine große Rolle. Bei einem erfolgreichen Cyber-Angriff auf die Daten von vernetzten Fahrzeugen kann es zu großen Datenschutzverletzungen für das Unternehmen kommen, da die Angreifer an sensible Unternehmensdaten gelangen könnten.

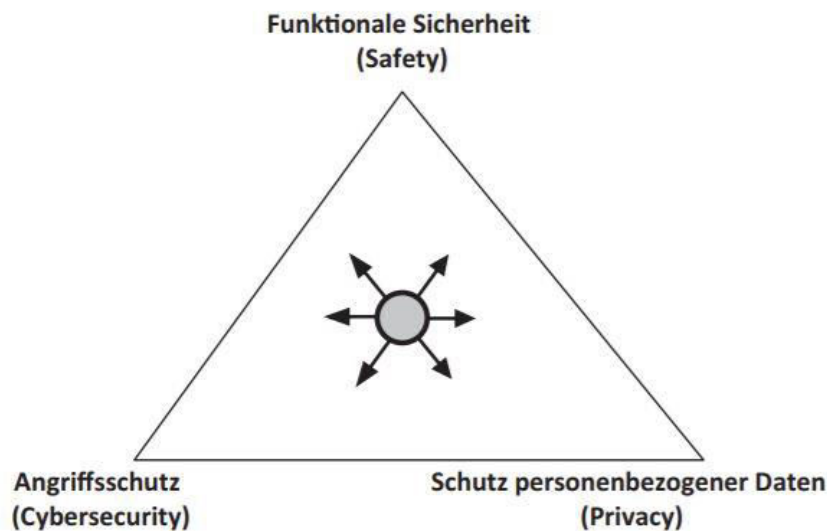


Abbildung 3: Konflikte zwischen Safety, Cybersecurity und Privacy⁴³

In Abbildung 3 wird der Widerspruch zwischen der funktionalen Sicherheit, dem Angriffsschutz und dem Schutz der persönlichen Daten bei vernetzten Fahrzeugen mit kooperativen Assistenzfunktionen aufgezeigt.⁴⁴ Die leistungsfähigen, kryptographischen Verfahren sind für die Cybersecurity von Vorteil, allerdings stehen diese durch ihre erhöhte Latenzzeit im Widerspruch zu der funktionalen Sicherheit, welche in der Signalverarbeitung und Datenübertragung von geringen Latenzzeiten profitieren würde. Die Identifikation und Authentifizierung stehen mit einem angriffssicheren System für untereinander vernetzter Fahrzeuge im Konflikt mit dem Interesse des Fahrers nach Schutz der eigenen personenbezogenen Daten. Aufgrund von funktionalen Sicherheitsaspekten sollen vernetzte Fahrzeuge in bestimmten Situationen über einen ständigen Informationsaustausch der Orts- und Geschwindigkeitsdaten mit der Fahrzeugumgebung verfügen. Diese Preisgabe von Informationen steht allerdings im Widerspruch mit dem Recht auf Datenschutz des Fahrers, denn der Datenaustausch kann Tracking und Profiling mit der Ableitung personenbezogener Daten ermöglichen.

⁴³ Vgl. Schnieder, L./Hosse, R.S. 2018, S. 4.

⁴⁴ Vgl. Ebenda.

In diesem Kapitel wurde die Entwicklung des Straßengüterverkehrs für den Aufbau eines Rahmenverständnisses behandelt, außerdem wurden die Stufen der Automatisierung zur weiteren Grundlagenschaffung der Thematiken dieser Arbeit aufgezeigt. Die Voraussetzungen des autonomen Straßenverkehrs bilden eine Wissensgrundlage zur Beantwortung der Forschungsfragen und werden in der Analyse erneut aufgegriffen.

3. Transportlogistik der Zuliefererunternehmen

Das folgende Kapitel behandelt das Themenfeld der Zuliefererunternehmen. Dazu werden die für den Inhalt dieser Arbeit relevanten Themen erläutert. Hierzu gehören die Nutzfahrzeugkalkulation, der Begriff Logistik 4.0, Das Themenfeld der Green Logistics sowie der Tourenplanung. Die Nutzfahrzeugkalkulation dient der Analyse wirtschaftlicher Vorteile der Autonomisierung und der Begriff Logistik 4.0 nimmt eine wichtige Rolle für zukunftsorientierte Zuliefererunternehmen ein. Green Logistics ist ein Teil der modernen Logistik und wird zur Herleitung der ökologischen Vorteile der Autonomisierung thematisiert. Die Tourenplanung wird als Themenfeld grundlegende Veränderungen in Folge der Autonomisierung erfahren, weswegen die Grundlagen in diesem Kapitel zusätzlich erläutert werden.

3.1 Nutzfahrzeugkalkulation

In der Nutzfahrzeugkalkulation hängen die variablen Kosten von der Einsatzintensität des Fahrzeugs ab, während die Personalkosten und fixen Kosten weitgehend zeitabhängig sind.⁴⁵ Dazu kommen die Gemeinkosten, welche die Disposition, Personalkosten und IT-Kosten beinhalten. Durch die hohe Einsatzintensität im Fernverkehr der Transportlogistik, stellen die variablen Kosten den größten Anteil der Kosten dar. Die Beschaffungskosten setzen sich aus dem Kaufpreis und den Kosten, die bis zur Einsatzbereitschaft des Fahrzeugs anstehen, zusammen. Dazu zählen Überführungskosten, Zusatzgeräte und Zulassungskosten. Diese Beschaffungskosten (ausgenommen der Mehrwertsteuer) bilden eine wichtige Komponente für die Abschreibungen und Zinsen.

Die Beschaffungskosten und die Nutzungsdauer bilden die Grundlage für die kalkulatorischen Abschreibungen. Die Nutzungsdauer hängt dabei von der jährlichen Auslastung des Fahrzeugs ab. In der Auslastung der Fernfahrten wird mit einer

⁴⁵ Vgl. Wittenbrink, P. 2014, S. 73ff.

Laufleistung von ca. 600.000 km gerechnet, welche auf fünf bis sechs Jahre aufgeteilt wird. Dabei wird die doppelte Nutzungsdauer für Auflieger und Anhänger im Vergleich zu den Maschinenwagen berechnet.

Der Abschreibungswert setzt sich aus den Wiederbeschaffungskosten abzüglich des Verkaufserlöses und den Reifenkosten zusammen, wobei die Reifenkosten separat kalkuliert werden, da sie eine wesentlich geringere Nutzungsdauer als die Fahrzeuge haben.

3.2 Logistik 4.0

Sowohl in der Praxis als auch in der Literatur, tritt in der Logistik immer häufiger das Komplexitätsproblem auf.⁴⁶ Ausgelöst durch die Variabilität der endogenen und exogenen Logistikgrößen, sowie durch die Heterogenität der Beziehungen von Logistikgrößen untereinander. Gekennzeichnet durch hochentwickelte Technologien, dem Umweltschutz gegenüber dem steigenden Wettbewerb und den sich immer weiter individualisierenden Konsumentenforderungen wird eine sich auf alle Logistikparameter reagierende Logistikkynamik abverlangt, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Die Logistik 4.0 als Teil der Industrie 4.0 wird außerdem vom Internet der Dinge beeinflusst, sodass sie sich durch ihre Struktur der Netzwerke von der ursprünglichen Logistik unterscheidet.⁴⁷ Die dauerhafte Bestimmung der Knotenpunkte im Netzwerk der Logistik 4.0, wird durch ein volatiles Produktions- und Handelsumfeld beeinflusst. Die Netzwerke müssen sich dauerhaften Veränderungen anpassen können und somit umzugsfähig sein. Sowohl innerbetrieblich als auch außerbetrieblich werden die Anforderungen an die Logistik stets komplexer und setzen ein flexibleres Netzwerk voraus, als es bisher notwendig war. Nur mithilfe von autonomen Fahrzeugen, Lagersystemen und Lernmechanismen ist ein schnelles Reagieren auf das volatile Umfeld möglich.

Das Konzept der Logistik 4.0 ist nicht ohne die Cyber-Physischen-Systeme realisierbar, sollte allerdings nicht auf diese Technologien beschränkt werden, da es als allgemeiner Managementansatz zu verstehen ist.⁴⁸ Der Ansatz zur Logistik 4.0 enthält sechs wesentliche Kernmerkmale, welche die Gesamtkonzeption darstellen

⁴⁶ Vgl. Göpfert, I.(hrsg) 2019, S. 368.

⁴⁷ Vgl. Vogel-Heuser, B. et al.(hrsg) 2017, S. 247; Ten Hompel, M./Kerner, S. 2015, S. 176ff.

⁴⁸ Vgl. Göpfert, I.(hrsg) 2019, S. 370f.

sollen: die Mustererkennung, das Neugeschäft, die Werte, die Generalisierung, die Selbstorganisation und die Agilität der Logistik. Besonders die Mustererkennung und die Agilität sind relevante Bestandteile der Logistik 4.0, um kurzfristigen Disruptoren entgegenzuwirken, da sie diese voraussehen, oder es dem Unternehmen möglich machen zeitnah zu reagieren.

3.3 Green Logistics

Green Logistics gehört für Unternehmen zum Nachhaltigkeitsmanagement. Damit sollen umweltbezogene Aspekte in die betriebswirtschaftlichen Entscheidungen integriert werden.⁴⁹ Das Umweltmanagement gehört zu den Führungsaufgaben und betrifft die Bereiche des Marketings, der Investition und Finanzierung, der Organisation und des Rechnungswesens. Einer der vielversprechendsten Bereiche für Green Logistics ist in der Regel die technologische Entwicklung; man hofft, mehr Transporte mit weniger Energieverbrauch und Emissionsvolumen durchführen zu können.⁵⁰

Das Ziel der Green Logistics ist die Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und der Emissionen, die aus den Transport- und Logistikprozessen in und zwischen Unternehmen hervorgehen.⁵¹ Im Rahmen des systematischen Managements sind damit die Umweltauswirkungen aller Tätigkeiten, Produkte und Dienstleistungen eines Unternehmens zu analysieren und auszuwerten. Der Grundsatz liegt dabei in der stetigen Verbesserung der Prozesse, welche dafür transparent und messbar dargestellt werden müssen.

⁴⁹ Vgl. Wittenbrink, P. 2015, S. 1ff.

⁵⁰ Vgl. Klumpp, M. 2016, S. 5.

⁵¹ Vgl. Wittenbrink, P. 2015, S. 1ff.

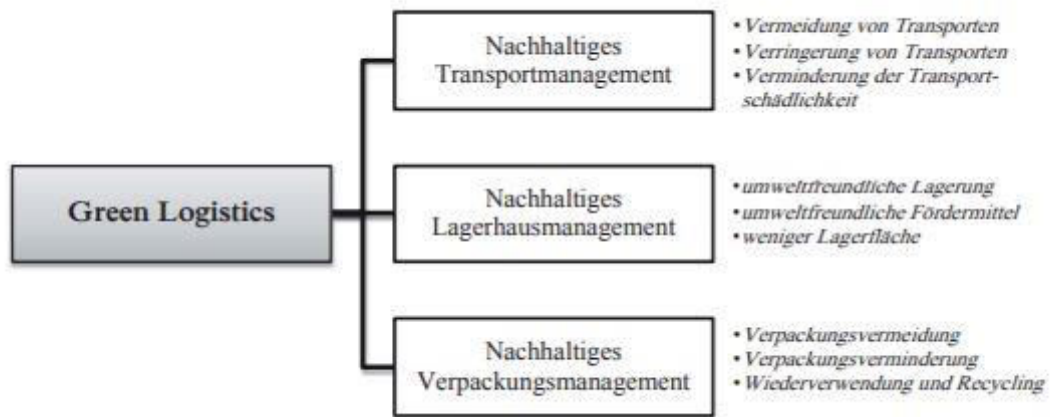


Abbildung 4: Green Logistics Framework⁵²

Für das Transportmanagement der Logistikunternehmen liegt der Fokus von Green Logistics bei der Reduzierung der Kraftstoffe und der Emissionen, also Schadstoff- und Treibhausgasemissionen beim Transport.⁵³ Das nachhaltige Transportmanagement ist somit der für die Zuliefererunternehmen wichtigste Ansatzpunkt zur Verfolgung des Green Logistics-Gedankens. Da sich die Verringerung von Transporten, aufgrund der steigenden Straßengüterverkehrsleistung und des hohen Aufkommens (vgl. Kapitel 2.1), als äußerst schwer gestaltet, versucht man durch neue Technologien über die Vermeidung von Transporten und deren Schäden den Prinzipien der Green Logistics nachzukommen (vgl. Abbildung 4). Diese Technologien behandeln dafür die Digitalisierung der Prozesse, außerdem sorgen sie für umweltfreundlichere Transportmittel und -ketten.⁵⁴

3.4 Tourenplanung

Die Tourenplanung im Gütertransport bezieht sich in der Regel auf Netzwerke, welche mithilfe von Knoten und Kanten abgebildet werden.⁵⁵ In der stark überwiegenden Knoten-orientierten Tourenplanung, sollen Knoten die Kunden oder Aufträge in Form von z.B. Adresspunkten darstellen. Aus den daraus entstehenden Transportnetzen behandelt die Tourenplanung den Sammelverkehr (Zuliefernetz), Verteilverkehr (Distributionsnetz) oder ein Zusammenschluss aus beiden Netzen (Speditionsnetz). Die Zielsetzung der Tourenplanung besteht in der Planung von

⁵² Vgl. Deckert, C.(hrsg) 2015, S. 24.

⁵³ Vgl. Ebenda.

⁵⁴ Vgl. Deckert, C.(hrsg) 2015, S. 25f.

⁵⁵ Vgl. Tempelmeier, H.(hrsg) 2018, S. 82f.

Touren, welche die insgesamt zu fahrende Strecke minimieren und die gesamte Nachfrage befriedigt, sowie die Fahrzeugkapazitäten einhält. Die Touren bestehen dabei aus einer geordneten Abfolge von Knoten (Kunden/Aufträgen), die nacheinander in einer oder mehreren Fahrten bedient werden.

Das Standardproblem der Tourenplanung lautet wie folgt.⁵⁶

1. Es gibt ein Depot, welches als Start- und Endpunkt dient.
2. Es werden N Fahrzeuge (mit begrenzter oder unbegrenzter Kapazität) genutzt.
3. Es müssen M Aufträge mit unterschiedlichen Koordinaten realisiert werden.

Aufgabe des Algorithmus für Tourenplanung ist es die optimale Abfahrreihenfolge der Koordinaten zu berechnen, um die minimale Strecke unter der Berücksichtigung der gesamten Nachfrage herauszufinden.

In der Tourenplanung wird des Weiteren zwischen den statischen und dynamischen Lösungsstrategien unterschieden, welche Strategie gewählt wird hängt von den planungsrelevanten Daten ab.⁵⁷ In der Datenstruktur für die Tourenplanung wird wiederum zwischen statischen und dynamischen Datenstrukturen unterschieden, wobei die statischen zum planungszeitraum bekannt sind und die dynamischen sich erst während der Umsetzung der Tourenplanung verändern. Um im Zuge der Veränderungen der dynamischen Datenstrukturen die Planung optimieren zu können, werden Planungsupdates genutzt, damit die Abweichungen zwischen den Plan- und Ist-Daten minimiert werden. An dieser Stelle setzt die Technology der V2X-Kommunikation an, da sie, wie in Kapitel 2 bereits behandelt, eine Echtzeit-Kommunikation zwischen den Fahrzeugeinheiten ermöglicht. Dadurch kann eine Ist-Datenstruktur genutzt werden, um der Volatilität des Straßenverkehrs entgegen zu wirken.

Das dritte Kapitel zeigt die für Transportunternehmen wichtigen Aspekte der Einführung des autonomen Straßengüterverkehrs auf. Die Grundlagen der Green Logistics, Nutzfahrzeugkalkulation und Logistik 4.0 werden in dieser Arbeit für das Kapitel 6 von besonderer Relevanz sein, da sie für Logistikunternehmen wichtige

⁵⁶ Vgl. Wiesche, M. et al.(hrsg) 2018, S. 236.

⁵⁷ Vgl. Schopka, K. 2018, S. 23f.

Aspekte der wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen darstellen. Die Tourenplanung bezieht sich hingegen hauptsächlich auf das Kapitel 5.

4. Der aktuelle technische Stand im automatisierten Straßengüterverkehr

Im folgenden Kapitel wird der aktuelle Stand des automatisierten Straßengüterverkehrs vorgestellt. Dabei wird auf die zuvor behandelten Grundlagen der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs aus Kapitel 2, sowie auf die Themen der Transportlogistik der Zuliefererunternehmen aus Kapitel 3 zurückgegriffen. Des Weiteren wird das Platooning, sowie das neueste LKW-Modell Actros von der Mercedes Benz AG behandelt, um die Themenfelder der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf den aktuellen Stand der Forschung zu beziehen, da die Mercedes Benz AG einer der international führenden Unternehmen im Bereich der fortschreitenden Autonomisierung ist.

4.1 Mercedes Benz Actros

Der Mercedes-Benz Actros ist ein vielversprechender Ansatz zur technologischen Weiterentwicklung im Straßengütertransport. Der LKW von Mercedes-Benz, den es in mehreren Varianten je nach Bedarf des Käufers gibt, hat nun schon zum fünften Mal die internationale Auszeichnung zum „Truck of the Year“ bekommen – zuletzt 2020.⁵⁸ Der Preis wird von der Jury für den größten Beitrag zur Innovation für den Straßentransport in Bezug auf Komfort, Fahrbarkeit, Sicherheit, Emissionen und Wirtschaftlichkeit vergeben. Dabei sind die letzten drei Aspekte von besonderer Relevanz für diese Arbeit und dem Weg zum automatisierten Fahren der Zukunft. Besagten Weg ebnet der hochmoderne LKW von Mercedes Benz laut Jury-Vorsitzenden Gianenrico Giffino und das sei ausschlaggebend für die Erfolgsgeschichte des Actros.⁵⁹

⁵⁸ Vgl. Daimler Truck AG 2020a.

⁵⁹ Vgl. Ebenda.



Abbildung 5: Mercedes Benz Actros als erster Serien-LKW mit MirrorCams⁶⁰

Die Sicherheit und Effizienz spielen in der Gütertransportindustrie eine entscheidende Rolle, weshalb diese Faktoren im Actros durch technische Innovationen besonders hervor gehoben wurden.⁶¹ Denn neben den schon modernen aber auch in der heutigen Zeit üblichen Assistenten, wurden neue Generationen von Sicherheitssystemen genutzt, um den Aspekt der Sicherheit für Fahrer und Umgebung zu steigern. Dafür wird die fünfte Generation des Active Brake Assists (aktiver Bremsassistent) genutzt, welche automatisiert auf stationäre und bewegte Objekte in der Umgebung reagieren kann. Des Weiteren werden MirrorCams (Spiegelkamas, vgl. Abbildung 5) verbaut, welche die Außenspiegel ersetzen und den toten Winkel der herkömmlichen Variante minimieren, indem Außenkamas die Sicht auf im Fahrerhaus angebrachte Monitore projizieren. Die MirrorCam bietet darüber hinaus auch eine Nachtsicht Funktion, welche es dem Fahrer ermöglicht, auch im Dunkeln die Seitenmonitore zu nutzen.⁶² Beim Abbiegen des Fahrzeugs werden dazu die MirrorCams mitgeschwenkt, was dem Fahrer die Einsicht auf den Aufleger während des gesamten Abbiegevorgangs gibt. Außerdem bietet die MirrorCam einen Vorteil in der Aerodynamik des Fahrzeugs. Die Kamas an der Außenseite haben eine wesentlich kleinere Fläche als die eines Spiegels und

⁶⁰ Vgl. Daimler Truck AG 2020b.

⁶¹ Vgl. Ebenda.

⁶² Vgl. Pehlke, D. et al. 2018, S. 12.

können somit den Kraftstoffverbrauch serienmäßig um bis zu 1,3% reduzieren, was einer Verringerung des Luftwiderstands um 5% entspricht.⁶³ Darüber hinaus besitzt der Actros Endkantenklappen und eine intelligente Tempomat- und Getriebesteuerung namens „Predictive Powertrain Control“ (PPC), welche im Gegensatz zu anderen Systemen bei jeder Geschwindigkeit einsetzbar ist.⁶⁴ Mit dieser Technologie ist damit eine Reduktion des Kraftstoff-Gesamtverbrauch von bis zu 5% möglich.

Der Mercedes-Benz Actros ist damit als der modernste Lkw in der Straßengüterlogistik zu sehen und das in Bezug auf die vollständig automatisierten Fahrzeuge vielversprechendste Modell mit Aussicht auf autonome Straßengüterfahrzeuge. Der Bezug zum 2025 angekündigten vollautomatisierten Serien-Lkw wird auch vom Hersteller Daimler hergestellt, indem er mit dem Actros als weltweit erster Serien-Lkw mit teilautomatisierten Assistenzsystemen wirbt.⁶⁵

4.2 Platooning

Beim Platooning handelt es sich um einen Autozug, der es Straßenfahrzeugen ermöglicht, als Gruppe zu fahren.⁶⁶ Das Platoon wird von einem Führungsfahrzeug angeleitet, das häufig von einem Berufskraftfahrer geführt wird. Die folgenden Fahrzeuge, d.h. die Mitglieder des Zuges, werden autonom gesteuert und folgen mit einem vordefinierten Abstand zwischen den jeweiligen Fahrzeugen. Die V2V-Kommunikation verbindet die Fahrzeuge. Das Führungsfahrzeug übernimmt effektiv die Koordination über den Zug hinweg, das heißt die Einstellungen der Parameter sowie Erstellung der Ein- und Ausfahrtsbescheinigungen leitet ein Fahrzeug, allerdings übernimmt jedes einzelne Fahrzeug die Beobachtung der Umgebung und folgt gleichzeitig den eingehenden Befehlen des Führungsfahrzeugs. Das Platooning wurde in Folge technischer Studien über das autonome Fahren in den 90er Jahren entwickelt.⁶⁷ Während des europäischen Projekts „Chauffeur“, wurde das Aneinanderreihen von drei Lkw auf dem Brenner Pass durch die Alpen zwischen Österreich und Italien getestet. In den USA folgten im Jahre 2000 weitere Studien auf amerikanischen Highways mit dem „PATH“-Projekt. Danach folgten Deutschland und

⁶³ Vgl. Hilgers, M./Hilgers, M. 2017, S. 17.

⁶⁴ Vgl. Minne, A. 2018.

⁶⁵ Vgl. Ebenda.

⁶⁶ Vgl. Kamali, M. et al. 2017, S. 90.

⁶⁷ Vgl. Tsugawa, S. et al. 2016, S. 68.

Japan mit den Projekten „KONVOI“ und „Energy ITS“ in den Jahren 2005 und 2008. Die Projekte gingen jeweils über mehrere Jahre und haben unter verschiedenen Bedingungen stattgefunden. Dabei wurden unterschiedliche Entfernungen zwischen den Fahrzeugen, sowie fahrerassistierte und vollständig autonome Varianten getestet. Zum Anfang der Studien des Platooning wurde für ein vollständig autonomen LKW-Verbund geforscht, weil davon ausgegangen wurde, dass der Mensch in der Rolle des Fahrers, nicht zur Koordination des gesamten Platoons geeignet sei.⁶⁸ Im Laufe der Studien wurde die Rolle des Menschen als Fahrer überarbeitet und der vollständig autonome Platoon als paralleler Forschungsstrang fortgeführt.

Ziel ist es, durch das Platooning eine Reduzierung der CO₂-Emissionen und des Kraftstoffverbrauches zu erlangen.⁶⁹ Neben der Motorisierung, Beladung und Geschwindigkeit der Fahrzeuge, gilt die Verringerung des Luftwiderstands im Platoon als Haupteffekt zum Dieseleinsparungspotenzial. In den bisherigen Studien konnte man einen optimalen Fahrzeugabstand von zwischen 4,74 und 7 Metern ermitteln. Dadurch kann man ein Einsparungspotenzial von bis zu 10% generieren.

Auch das Platooning hat wie die ersten öffentlich-autonom genutzten Fahrzeuge (siehe Kapitel 2) seinen Anfang im problemorientierten Bereich. Beispielsweise setzt Volvo erste Anwendungsfälle von Platoons unterirdisch in Minen ein. Des Weiteren bringt Mercedes-Benz automatisierte Platoons für den Schneeräumbetrieb am Frankfurter Flughafen zum Einsatz.⁷⁰

Im vierten Kapitel wurde der autonome Straßengüterverkehr mit dem Platooning und dem Mercedes-Benz Actros von zwei Seiten beleuchtet. Mit dem Platooning wird der aktuelle Stand der Forschung in Richtung des vollautomatisierten Fahrens der Gütertransportbranche vorgestellt und mit dem Mercedes-Benz Actros der modernste Lkw, der von den Herstellern auf dem Markt ist. In der Analyse werden die beiden Technologien miteinander verbunden, um ein Zukunftsmodell der Autonomie aus dem heutigen Stand der Technik entstehen zu lassen.

⁶⁸ Vgl. Solsbach, A. et al. 2019, S. 87.

⁶⁹ Vgl. Solsbach, A. et al. 2019, S. 87.

⁷⁰ Vgl. Pfeifler, C. 2020.

5. Analyse des vollständig automatisierten Straßengüterverkehrs für Zuliefererunternehmen

Im folgenden Kapitel wird die Analyse mithilfe der UFFs eingeleitet, um die Auswirkungen der Autonomisierung für die Tourenplanung und die Funktionsweise des Fahrzeugführers als wesentliche Einflussnahme auf Aufgabenbereiche von Zuliefererunternehmen zu identifizieren. Zur Beantwortung der UFFs werden die Grundlagen der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs und die Voraussetzungen des autonomen Straßenverkehrs aus Kapitel 2, sowie die Grundlagen der Logistik 4.0, der Green Logistics und der Tourenplanung aus Kapitel 3 herangezogen. Dadurch soll im Rahmen der aktuellen Forschungsstände zur Entwicklung der Autonomisierung ein Ergebnis zur Beantwortung der UFF 1 und 2 erzielt werden kann. Das Kapitel 5.1 behandelt demnach die folgende Unterforschungsfrage: Welchen Einfluss hat die Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf die Tourenplanung der Zuliefererunternehmen? Kapitel 5.2 behandelt darauffolgend die Unterforschungsfrage: Welchen Einfluss hat die Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf die Fahraufgabe des Fahrzeugführers?

5.1 Einfluss der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs auf die Tourenplanung der Zuliefererunternehmen

Das Grundproblem der Tourenplanung in der heutigen volatilen Umwelt bezieht sich hauptsächlich auf die dynamische Datenstruktur. Diese lässt sich dadurch kennzeichnen, dass während der Tourenplanung keine zuverlässigen Daten für die Tour zur Verfügung gestellt werden können (vgl. Kapitel 3.4). Die Datenstruktur kann sich zum Beispiel aufgrund der sich stetig ändernden Bedingungen bezüglich des volatilen Konsumentenverhaltens wandeln, wobei die Logistikkonzepte in Bezug auf den Transport nach wie vor kostengünstig und ad-hoc von statten gehen müssen.⁷¹ In der Regel wird die Tourenplanung heutzutage von zahlreichen Softwares unterstützt, auch um das reine grafentheoretische Problem der Tourenplanung besser zu bewältigen.⁷² Damit kann ein bestimmter Grad an Komplexität bewältigt und die schon vorhandenen statischen Daten abgedeckt werden, sodass ein optimaler Tourenplan für den Zeitpunkt der Planung erstellt werden kann. Eine

⁷¹ Vgl. Zentes, J.(hrsg) 2012, S. 802ff.

⁷² Vgl. Glaser, C. 2017, S. 255f.

exemplarische Software ist die „EasyVisit“⁷³ von Lutum+Tappert, welche mithilfe von Wertigkeitsklassifizierungen die Kunden einteilt und auf Basis der vorhandenen Daten einen Lieferrhythmus festlegt. Wie auch „EasyVisit“, sind viele der Softwares mit Gadgets ausgestattet, die eine Bewertung der Verkehrssituationen vornehmen, um eine optimale Tourenroute zu ermöglichen. Die Software von Lutum+Tappert nutzt dafür eine Ampeldarstellung, um für den Nutzer eine übersichtliche Frequenzüberwachung zu ermitteln. Das Problem dieser Verkehrssituationsbewertung ist, dass sie nur zu dem Zeitpunkt der Planung der Route vorgenommen werden kann. Das heißt, dass es durch die spontanen Veränderungen der Verkehrslage zu massiven zeitlichen Abweichungen kommen kann, was sich wiederum negativ auf das Geschäft auswirken würde.

Schon seit Anfang der 2000er Jahre arbeiten die Software-Programme mit Wetterinformationen und Tageszeit-abhängigen Fahrzeitschätzungen, um eine Berechnung der Touren vorzunehmen.⁷⁴ Mit dem Einsatz der autonom fahrenden Lieferfahrzeugen, wäre es durch die Sensoren und Kameras möglich, eine Echtzeit-Übertragung des Straßenverkehrs zu realisieren und mithilfe der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen untereinander präventiv Verkehrsbehinderungen, welche eine Verzögerung der Tourenzeit mit sich bringen, zu umgehen. Durch die Nutzung der Mobilfunknetze (5G) wird eine sofortige Datenübertragung auf die cloudbasierten Datenpools ermöglicht.⁷⁵ Die übertragenen Daten können damit als dynamischer Datenstamm von der Planungssoftware genutzt werden, um dem volatilen Verkehrsumfeld entgegenzuwirken.

Diese Art der Vernetzung der Logistiksysteme ist ein Teil des „Physical Internet“ (PI) nach Benoit Montreuil.⁷⁶ Das PI wird als globales, offenes Logistiksystem definiert, welches auf physischer, digitaler und operativer Interkonnektivität durch Schnittstellen und Protokolle basiert. Darüber hinaus bietet das PI ein öffentliches Transportnetzwerk, welches durch die Aspekte der Autonomie realisiert werden kann.⁷⁷ Zu den technischen Voraussetzungen des Physical Internet gehört die

⁷³ Vgl. o.A. o.J..

⁷⁴ Vgl. Wendt, O. et al. 2005, S. 136.

⁷⁵ Vgl. Bratzel, S./Thömmes, J. 2018, S. 46f.

⁷⁶ Vgl. Pan, S. et al. 2017, S. 2604.

⁷⁷ Vgl. Crainic, T.G./Montreuil, B. 2016, S. 384.

Verarbeitung von Daten in Echtzeit.⁷⁸ Um diese Voraussetzung zu erfüllen, darf die Bearbeitungszeit der Daten nicht verzögert werden, auch wenn es sich um unternehmensübergreifende Daten handelt. Demnach scheint eine zentrale Datenhaltung sinnvoll, allerdings könnte dies zu Verzögerungen in der Bearbeitung führen. Zur Bewältigung des Problems werden Agententechnologien herangezogen, welche schon seit 2005 für die autonome Kommunikation zwischen verschiedenen Systemteilen der Supply Chain genutzt werden.

Die Tourenplanung wird im Bereich der Personaleinsatzplanung andere Aspekte beinhalten, was bedeutet, dass die Ruhezeiten der Fahrer in Folge der autonom fahrenden Lkw wegfallen.⁷⁹ Die Ruhe- und Lenkzeiten fallen durch den Einsatz des Fahrzeugpiloten weg. Dies hat zur Folge, dass die Touren enger getaktet werden können.⁸⁰ Des Weiteren ermöglicht das automatisierte Fahren eine Verbesserung der Kapazität der Straßeninfrastruktur, da die Verringerung des Flächenbedarfs der Fahrzeuge und der verbesserte Verkehrsfluss die Kapazität auf der Straße mindestens verdoppeln kann. Diese Effizienzsteigerungen werden z.B. durch den Wegfall der menschlichen Reaktionszeit hervorgerufen.

Durch die Kombination der verschiedenen Vorteile und Möglichkeiten, die aus dem Einsatz des autonomen Straßengüterverkehrs hervorgehen, rechnen verschiedene Quellen mit einer Marktkonzentration von Unternehmen.⁸¹ Die Unternehmen werden demzufolge durch die hohen Anforderungen der Automatisierung auf höchster Stufe einen Zusammenschluss der Logistiknetzwerke vornehmen. Experten gehen davon aus, dass sich durch die Kommunikation zwischen den Unternehmen und deren Fahrzeugen ein gemeinsames Netzwerk bilden kann, in dem die Tourenplanung jederzeit dynamisch optimiert wird und somit die Transporte schneller und sicherer abgewickelt werden können.

Eine Fraunhofer Studie zur Entwicklung der Transportprozesse für Unternehmen schreibt dem Konzept der netzwerkübergreifenden Transportplanung großes Potenzial zu.⁸² Durch die digital erfassten Daten kann die Kommunikation über Unternehmensgrenzen hinweg und ohne sprachliche Barrieren erfolgen. Damit

⁷⁸ Vgl. Proff, H. 2018, S. 554f.

⁷⁹ Vgl. Schön, I./Schützle, A. 2017, S. 12.

⁸⁰ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 25.

⁸¹ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 27.

⁸² Vgl. Pflaum, A. et al. 2017, S. 28f.

können die Kapazitätsauslastung, Effizienz und Ladungskonsolidierung der Transportverläufe effektiver gestaltet werden. Organisatorische Hürden in Bezug auf örtliche und zeitliche Faktoren der Warenströme werden von intelligenten Logistiksystemen behandelt und können trotz Komplexitätszuwachs der Anforderungen bewältigt werden. Der Begriff Coopetition (Competition und Cooperation) ist Folge des Prozesses der unternehmensübergreifenden Tourenplanung. Demnach wird eine Kooperation mit Wettbewerbern vorausgesetzt. Die Studie sieht in dieser Hinsicht eine Schwachstelle zur Entwicklung der Netzwerkbildung, da für eine Kooperation zur Bildung eines gemeinsamen Netzwerkes Transparenz benötigt wird. Unternehmen müssen dafür Daten zur Menge ihrer Transportgüter und Art der Transportanforderungen angeben, was für einige Unternehmen wettbewerbsrelevante Informationen sein können. Dazu fehlt es an Vertrauen zwischen den Wettbewerbern. Als Lösung für dieses Problem des mangelnden Vertrauens stellt die Studie eine Variante vor, die den betriebsexternen Werkverkehr ausschließt.⁸³ Dabei werden Spediteure und Frachtführer genutzt, um ein Netzwerk zur kollaborativen Transportplanung zu nutzen. Der Transport und somit auch die Tourenplanung würde damit unter Datenschutzrichtlinien auf die Systeme der Speditionen fallen. Somit bleiben die Daten geschützt und die Spediteure würde von den unternehmens- und länderübergreifenden Netzwerken profitieren. In Folge dieser Konzeption können Kosten eingespart und Leerfahrten vermieden werden (vgl. Kapitel 2.1).

Viele mittelständische Transportunternehmen sind aufgrund von ausgeschöpften Kostensenkungspotenzialen auf kollaborative Planung angewiesen.⁸⁴ Für die Planung der Aufträge für diese Transportunternehmen wird eine gemeinsame Systemplattform genutzt und die Aufträge mithilfe von kombinatorischen Auktionen verteilt. Dabei muss die Verteilung der Aufträge situativ entschieden werden, weil mehrstufige Verhandlungsprozesse zeitintensiv wären. Deshalb wird die Verhandlung in drei Phasen eingeteilt, die von der Systemplattform organisiert werden. In der ersten Phase, der Vorbereitungsphase, dürfen die Transportunternehmen Angebote abgeben. In der zweiten Phase, der Optimierungsphase, werden die Aufträge optimal auf die Unternehmen aufgeteilt und

⁸³ Vgl. Pflaum, A. et al. 2017, S. 28f.

⁸⁴ Vgl. Kopfer, H./Krajewska, M.A., S. 4.

in der dritten Phase, der Profit Sharing Phase, wird der Nutzengewinn aus der Kooperation aufgeteilt. Die vom System erstellte Auktion, wird dabei so konstruiert, dass der Nutzen der Kooperation der Transportunternehmen immer positiv ausfällt und die Zuteilung der Aufträge optimal ist.

Zuletzt hat sich das Prinzip der Crowd Logistics hervorgetan, bei dem sich Privatpersonen als Logistikanbieter anmelden.⁸⁵ Die Plattformen wie zum Beispiel UBERCargo, welche in den USA und Asien schon auf dem Markt tätig sind, nutzen sowohl im Nah- als auch im Fernverkehr die Fahrten von Privatpersonen, um Waren von A nach B zu transportieren. Dadurch entsteht ein Druck für traditionelle Logistikanbieter, sodass sie gezwungen werden sich neuen Modellen in Folge der Digitalisierung und Automatisierung anzuschließen. Dieses Prinzip ist besonders lohnend auf der letzten Meile, da sich automatisierter Straßengüterverkehr im Stadtbereichen nicht in Bezug auf den Verkehrsfluss auswirkt.⁸⁶ Durch die Anzahl der Verkehrsteilnehmer und die dadurch entstehenden individuellen Bewegungsmuster, wirkt sich der autonome und automatisierte Straßengüterverkehr auf der letzten Meile nur im Mikrobereich aus.⁸⁷

Im Rahmen der Beantwortung der ersten UFF kann festgehalten werden, dass der Einsatz von netzübergreifenden Transportsystemen in Verbindung mit der V2X-Communication der vielversprechendste Ansatz der Autonomisierungstechnologien in Bezug auf die Tourenplanung ist. Die Echtzeit-Datenverbindung setzt dafür eine leistungsfähige Datenübertragung voraus, was nur mit der 5. Generation des Mobilfunknetzes möglich wäre. Infolge der Verbindungen der Transportnetze und -systeme kann der Einsatz des Physical Internets realisiert werden wodurch eine effektive Tourenplanung möglich wird. Der Wegfall der Ruhezeiten durch die Autonomisierung führt zusätzlich zur Effizienzsteigerung der Touren.

5.2 Einfluss der Autonomisierung auf die Fahraufgabe des Fahrzeugführers

Dieses Kapitel behandelt die sich wandelnde Rolle des Fahrers in Folge der Automatisierung des Straßengüterverkehrs. Es wird aufgezeigt, inwiefern sich der Arbeitsplatz des Fahrers eines Güterfahrzeuges verändert hat und sich durch die Einflüsse der fortschreitenden Automatisierung noch verändern wird. Die Art der

⁸⁵ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 27.

⁸⁶ Vgl. Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 346.

⁸⁷ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 27.

Veränderung wird von dem jeweiligen Automatisierungsgrad abhängen, da sich mit steigenden Automatisierungsgrad auch die Anzahl und der Einfluss der Systeme auf das Fahren und somit auf den Arbeitsplatz des Fahrers ändert.

Die Automatisierung der Fahrzeuge und letztendlich die Automatisierungsstufe 5 (das autonome Fahren) wird die Fahrerrolle im Straßengütertransport maßgeblich verändern.⁸⁸ Schon in den letzten Jahrzehnten hat sich die Erwartung an den Arbeitsplatz des Lkw-Fahrers gewandelt, indem er früher als Job in dem die Welt erkundet wird, dargestellt wurde und heutzutage als weniger anspruchsvoll und mit niedrigen Anforderungen zu erlangen gilt. Eine Studie, in der Lkw-Fahrer bezüglich der Veränderungen ihrer Fahrerrolle befragt wurden zeigt, dass zuletzt in der Ausbildung der Fahrer gespart wurde, sodass der Ausbildungsgrad gesunken sei. Außerdem wird deutlich, dass sich die Aufgabe des Fahrers bisher ausschließlich auf das Fahren bezieht und keine weiteren Tätigkeiten einbezogen werden.

Bevor das autonome Fahren eingeführt wird, muss der Straßengütertransport noch einige Entwicklungsschritte machen, da die Automatisierungsstufen 3 und 4 noch nicht abgeschlossen sind. Dazu wird das System und der Fahrer kooperieren müssen, um die Fahraufgabe fehlerfrei bewältigen zu können.⁸⁹ Um die Kooperation zwischen Maschine und Mensch, also dem automatisierten Fahren und dem manuellen Fahren zu ermöglichen, wird eine technische Lösung mit einfacher Bedienlogik genutzt. Diese Technologie namens Human-Machine-Interface (HMI) soll den reibungslosen Übergang von der automatisierten Steuerung zur manuellen Steuerung garantieren und dabei einen Nutzungskomfort für den Fahrer schaffen. Das HMI beinhaltet Software und Hardware, innen und außen am Fahrzeug. Sinn des HMI ist die Kommunikation der Technologie für den Fahrer und deren Umgebung so verständlich wie möglich zu machen.⁹⁰ Die Entwicklung des HMI im Automatisierungsprozess ist essenziell, da das Vertrauen des Fahrzeugführers in die Technologie eine große Rolle für die Einführung der höheren Automatisierungsgrade spielt.⁹¹

⁸⁸ Vgl. Lex, C./Jäger, F, S. 87.

⁸⁹ Vgl. Kagermann, H. 2017, S. 394f.

⁹⁰ Vgl. Benderius, O. et al. 2018, S. 1303ff.

⁹¹ Vgl. Schön, I./Schützle, A. 2017, S. 36.

In vielen Ansätzen für autonomes Fahren, bleibt der Fahrzeugführer noch im Lkw-Cockpit erhalten und übernimmt andere Aufgaben anstelle des Fahrens.⁹² In einigen Studien wird dem Fahrzeugführer die Aufgabe der Überwachung der Be- und Entladung sowie die Dokumentenführung der Frachtdokumente zugeteilt, um eine Ersatzbeschäftigung während der Fahrt zu nennen. Andere Quellen verweisen auf eine Aufgabenveränderung, welche die Tourenplanung oder das Management des Fuhrparks innehaben. Der Hersteller selbst hat die Vision, dass sich die Fahrerkabine zum Büro entwickeln würde, in dem die Aufgabe des Fahrens nur im Notfall, wie bei einem Systemausfall oder Ähnlichem, von Nöten wäre. Fast alle Quellen, die eine vollständige Automatisierung behandeln, gehen von einer grundlegenden Aufgabenveränderung der üblichen Fahraufgabe aus. Die Aufgabenbezeichnung des Fahrers wäre damit nicht mehr als Bezeichnung für die im Straßengüterfahrzeug arbeitende Person passend, da sich der Aufgabenbereich auf die eines Logistikers verändern würde. Der vollständige Automatisierungsprozess hätte demnach zur Folge, dass es den Arbeitsplatz des Fahrzeugführers wie er jetzt noch bekannt ist, nicht mehr im autonomen Straßenverkehr zu finden ist.

Im Rahmen der Beantwortung der zweiten UFF kann festgehalten werden, dass die Auswirkungen des Automatisierungsprozesses auf die Fahrzeugführung von dem jeweiligen Automatisierungsgrad abhängen. Grundsätzlich wird bei vollständiger Automatisierung, also dem autonomen Fahren, kein Fahrzeugführer benötigt. Dennoch wird in jeder Hinsicht mit einer Person im Fahrerhaus geplant. Die Planung mit einem Fahrer hängt mit dem Eingreifen bei Ausfällen der Technologien zusammen. Der Aufgabenbereich und damit die Ausbildung dieser Person wird sich dennoch grundlegend von der eines Fahrzeugführers unterscheiden, denn durch die fortschreitende Automatisierung werden die Anforderungen an die Fahrzeugführer stetig geringer. Im Zuge der Veränderung wird die alleinige Fahraufgabe des Fahrzeugführers hinfällig.

⁹² Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 26; Maurer, M. et al.(hrsg) 2015, S. 387.

6. Ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen der Umsetzung des autonomen Straßengüterverkehrs im Bereich der Transportlogistik von Zuliefererunternehmen

Das folgende Kapitel der Analyse dient zur Beantwortung der Hauptforschungsfrage: Welche ökologischen und wirtschaftlichen Potenziale ergeben sich aus der vollständigen Automatisierung des Straßengüterverkehrs für die Straßentransportlogistik von Zuliefererunternehmen? Der autonome Straßengüterverkehr im Bereich der Transportlogistik von Zuliefererunternehmen hat zum einen – wie aufgezeigt – Auswirkungen auf die Tourenplanung, und auch im Energieverbrauch und Personaleinsatz gibt es besondere Veränderungen, die aus dem Einfluss der Autonomisierung des Straßengüterverkehrs entstehen. Diese und weitere Auswirkungen werden in der folgenden Analyse in ökologische und wirtschaftliche Effekte untergliedert. Mithilfe der technischen Grundlagen der V2X-Communication, dem 5G Mobilnetz und der Datensicherheit aus dem Kapitel 2 sowie den Grundlagen für Zuliefererunternehmen aus dem Kapitel 3 werden die Themen der Auswirkungen und Potenziale des autonomen Straßengüterverkehrs in dieser Analyse beleuchtet.

6.1 Wirtschaftliche Auswirkungen durch Kostenreduzierungspotenziale in der Anschaffung autonomer Fahrzeuge

Um eine erfolgreiche Umsetzung des autonomen Fahrens in der heutigen Unternehmenswelt zu verwirklichen und damit auch langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen die damit einhergehenden Veränderungen einen Profit mit sich bringen.⁹³ Gewinnsteigerung steht für viele Unternehmen an erster Stelle, was die hohen Anschaffungskosten der Technologien für die verschiedenen Automatisierungsstufen zu einer Hürde im Ankauf der Transportfahrzeuge werden lässt. Die zusätzlichen Kosten für die vollständige Automatisierung lassen sich noch nicht genau bestimmen. Da aktuell alle Automobilhersteller, die weltweit tätig sind, in der Autonomisierung ihrer Fahrzeuge forschen und testen, entstehen verschiedene Kostenansätze zur Aufrüstung der Fahrzeuge.⁹⁴ Als Google die erste Generation der vollständig automatisierten Fahrzeuge testete, wurde der Aufpreis für Aufrüstungsteile und Software auf 200.000 US-Dollar geschätzt. Besonders die

⁹³ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 25f.

⁹⁴ Vgl. Wadud, Z. 2017, S. 169.

Sensoren und deren Software scheinen einen Großteil der Gesamtkosten auszumachen. Die Testergebnisse anderer Hersteller, sind jedoch wesentlich kostengünstiger ausgefallen. Eine Studie der University of Leeds aus Großbritannien am Institut für Transport Studies von 2017 sagt aus, dass Hersteller von einem frühesten Markteintritt der vollautomatisierten Fahrzeuge um das Jahr 2020 ausgehen und die Kosten für Endkunden demnach pro verzögerten Jahr um 5-10% fallen werden. Demnach hat die Studie je nach Markteintrittsjahr mehrere Szenarien aufgestellt, in denen die Kosten der Hardware und Software für eine Aufstockung der Fahrzeuge berechnet werden. Nach der Szenario-Analyse geht die Studie von einem „high-cost scenario“ für LKW von 20.000 Euro aus und einem „low-cost scenario“ von 12.000 Euro.

Eine Studie der Landesagentur für Elektromobilität und Brennstofftechnologie Baden-Württemberg GmbH aus dem Jahr 2017 geht ebenfalls auf die Zusatzkosten des Autonomisierungsprozesses der Gütertransportfahrzeuge ein.⁹⁵ Daraus geht hervor, dass auch Beratungsunternehmen wie z.B. McKinsey & Company davon ausgehen, dass die Anschaffungskosten der Straßenfahrzeuge einen Zuschlag von bis zu 20.000 US-Dollar für den technologischen Ausbau der Fahrzeuge betragen. In beiden Studien werden die Zwischenstufen der Automatisierung nicht berücksichtigt, sie behandeln nur den Ausbau der automatisierten Fahrfunktion der Stufe 5. Des Weiteren könnte die Automatisierung der gleichen Stufe eine Reduktion der Gesamtbetriebskosten an Fahrzeugen von bis zu 35% ermöglichen.⁹⁶ Dies würde allerdings voraussetzen, dass die Technologien der Automatisierung einen fahrerlosen Verkehr ermöglichen, da sich die Reduktion der Gesamtbetriebskosten im Wesentlichen auf den Wegfall des Fahrers bzw. die Reduktion der Personalkosten bezieht. Allerdings wäre die Kostenreduktion durch den Wegfall des Fahrers nicht so einfach, da die vollständige Automatisierung des Fahrzeugs nur die Aufgabe des Fahrens ersetzt. Der Lkw-Fahrer hat weitere Aufgaben, wie zum Beispiel das Kontrollieren der Fracht bei Be- und Entladung, sowie das Führen der Dokumente der Fracht. Diese Aufgabenbereiche würden nicht durch eine Einführung der Autonomie im Straßengütertransport wegfallen. Obwohl die Entwicklungskosten als hoch einzuschätzen sind, werden die Automobilhersteller wahrscheinlich

⁹⁵ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 25f.

⁹⁶ Vgl. Fraedrich, E. et al. 2017, S. 25f.

zunächst einen Teil dieser zusätzlichen Kosten investieren, um sich von Beginn an Marktanteile zu sichern, die bei Einführung einer neuen Technologie am Markt entscheidend sind.⁹⁷ Einen ersten Ansatz zum Markteintritt macht die Daimler AG mit dem Mercedes-Benz Future Truck 2025.⁹⁸ Wie auch die oben genannten Studien geht der Hersteller davon aus, dass die Technologien für das autonome Fahren bis zum Jahr 2025 auf dem Markt erschienen sind.

Ein weiterer Aspekt der Kosteneinsparung ist die Effizienz der Fahrzeuge. Neben der Risikoreduktion der Kostenentstehung durch menschenverursachte Unfälle, wird davon ausgegangen, dass Kraftstoffeinsparungen von bis zu 10% erreicht werden können.⁹⁹ Diese Effizienzsteigerung wird besonders im Fernverkehr durch den Windschatteneffekt, also dem Abstand der Lkw zueinander, die gleichmäßige Geschwindigkeit und dem Ausbleiben von kraftstoffintensiven Überholmanövern hervorgerufen. Wie schon bei den Effekten des Platoons beschrieben, kann durch die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen ein Vorteil durch den Windschatteneffekt erbracht werden. Dadurch entstehen weniger Luftwiderstände und das Fahrzeug muss weniger Kraft aufwenden, um die Geschwindigkeit zu halten oder sogar zu beschleunigen. Weitere Studien gehen von einem Kostenreduktionspotenzial im Energie- bzw. Kraftstoffverbrauch von bis zu 18% aus, was sich durch die im Kapitel 4 beschriebenen Effekte des Platoons ergibt.¹⁰⁰

Eine Studie der Ruhr-Universität Bochum behandelt die gesamtwirtschaftlichen Kosteneinsparpotenziale des autonomen Fahrens und berechnet die durch die Unfallvermeidung, Stauvermeidung und Parkkostenreduzierung eingesparten Kosten.¹⁰¹ Dabei geht die Studie von einem autonomen Pkw-Anteil von 10% aus und kommt dabei zu einer Ersparnis von insgesamt 24,9 Mrd. Euro in Deutschland.

Da diese Werte auf spekulativen Daten beruhen, halten sich die Versicherungen bezüglich der Krafffahrzeuge noch zurück, wenn es um die Berechnung der Daten von autonomen Fahrzeugen geht.¹⁰² Die Hersteller der autonomen Fahrzeuge suchen deshalb nach Alternativen, um den Absatz bei Markteinstieg zu steigern.

⁹⁷ Vgl. Wadud, Z. 2017, S. 169.

⁹⁸ Vgl. Thomas, P. 2020.

⁹⁹ Vgl. Fend, L./Hofmann, J.(hrsg) 2018, S. 322.

¹⁰⁰ Vgl. Krail, M, S. 53f.

¹⁰¹ Vgl. Roos, M./Siegmann, M. 2018, S. 23ff.

¹⁰² Vgl. Voß, P.H.(hrsg) 2020, S. 196.

Derweil wird mit herstellereigenen Versicherungen gerechnet, die wohlmöglich ein großes Einsparungspotenzial mitbringen würden.

Die autonomen Lieferungstechniken mithilfe der Fahrzeuge würden allerdings einige Haftungsfragen aufwerfen, da die Haftungszuweisung zulasten des Eigentümers der Fahrzeuge ausfällt.¹⁰³ Das Risiko der Eigentümer ist dabei als hoch einzustufen, weil Unfälle auf der Lieferstrecke, das autonome Be- und Entladen der Ladungen, sowie die Datensicherheit in den Haftungsbereich der Eigentümer fallen würde. Dies würde bedeuten, dass potenzielle Versicherungskosten steigen, da sich die Zuliefererunternehmen in der Regel gegen Schäden bei den Lieferungs Vorgängen versichern lassen.

Die Effizienz der Fahrzeuge ist im Zusammenhang mit den wirtschaftlichen Auswirkungen auf die Zuliefererunternehmen zu sehen, da die Effizienz der Fahrzeuge für Kraftstoffeinsparung und somit indirekt für Kosteneinsparungen sorgt. Die technologischen Fortschritte des in Kapitel 4.1 vorgestellten Mercedes-Benz Actros sind nun in Verbindung mit den ersten Ansätzen der vollständigen Automatisierung zu setzen. Dabei wird der Kraftstoffeinsparung besonderes Interesse beigemessen, da sich aus der Kombination der Einsparungen des Serien-Lkw von Daimler mit bis zu 5% und der Einsparungen des Platooning, als nächster Schritt der Automatisierung des Straßengüterverkehrs mit bis zu 18%, ein Gesamteinsparungspotenzial von bis zu 23% ergibt. Außerdem scheint der Hersteller Daimler mit dem Actros-Modell erste Hardware-Veränderungen in Richtung der vollständigen Automatisierung zu machen, da durch die Implementierung von MirrorCams eine Vorrichtung für Sensoren und Kameras entwickelt wurde, welche zusätzlich aerodynamische Vorteile erbringt. Ein weiterer Aspekt für diese Entwicklung ist der Einsatz des aktiven Bremsassistenten (vgl. Kapitel 4.1). Diese Technologie arbeitet mithilfe von Sensoren und muss Kollisionsgefahren erkennen bzw. bewerten, was erneut ein Indiz dafür zu sein scheint, dass der neueste Actros bezüglich der verbauten Technologie sehr nahe am vollständig automatisierten Lkw und somit dem Future Truck 2025 ist.

¹⁰³ Vgl. Voß, P.H.(hrsg) 2020, S. 196.

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wird die Kommunikation (V2X-Communication) zwischen den Fahrzeugen ein Datenspektrum erstellen, um Gefahrensituationen früher zu erkennen und dementsprechend zu reagieren.¹⁰⁴ Die Reaktion kann demnach das Umfahren einer Unfallstelle oder eines Staus sein, was zur Zeiteinsparung auf dem Transportweg führt oder ein rechtzeitiges Reagieren der Assistenzsysteme, was bei einer Gefahrenbremsung zur Unfallvermeidung führt. Das Umfahren einer Unfallsituation oder Ausweichen eines Staus ist aufgrund der dadurch entstehenden Zeiteinsparung ein indirekter Kosteneinsparungseffekt für Zuliefererunternehmen, der gleiche Effekt entsteht bei der generellen Vermeidung von Unfällen durch Assistenzsysteme. Somit ist die Investition in Systeme, die der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen oder der Fahrerassistenz dienen, bei wirksamer Einsatzweise auf lange Sicht lohnend und hat wirtschaftliche Auswirkungen auf die Zuliefererunternehmen. Des Weiteren liefert die V2X-Kommunikation einen Ersatz für hochwertige, teure Sensoren, denn durch diese Art der Kommunikation werden Sensoren in ihrer Funktion der Gefahrenerkennung ersetzt. Die Ausstattung der Fahrzeuge mit hochwertigen Sensoren - anstatt der mit der Autonomisierung einhergehenden Kommunikationstechnologie - ist aufgrund der hohen Anforderungen an die Sensoren kostenintensiver.

Eine mögliche Gefahr bei der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen liegt in den gesammelten Daten für das Connected Car.¹⁰⁵ Der Schutz dieser Daten birgt demnach zwei Angriffspotenziale, die sich wirtschaftlich auf Zuliefererunternehmen als Nutzer der Fahrzeuge auswirken können. Zum einen werden Daten während der Fahrt gesammelt und gespeichert, um auf den Verkehr reagieren zu können und die optimale Route zu fahren. Diese Daten gelten als personenbezogen und sind demnach streng vertraulich und unterliegen der Datenschutzgrundverordnung. Zum anderen befinden sich auf der Cloud des Fahrzeugs Daten über das Zuliefererunternehmen, welche ebenfalls schützenswert sind. Beide Datentypen können bei Cyberangriffen großen wirtschaftlichen Schaden anrichten und stellen damit ein Risiko für die Unternehmen als Nutzer der Kommunikationstechnologie der vollständig automatisierten Fahrzeuge dar.

¹⁰⁴ Vgl. Hobert, L. et al. 2015, S. 64f.

¹⁰⁵ Vgl. Jakobi, T. et al. 2018, S. 705f.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Einführung des autonomen Straßengüterverkehrs beziehen sich auf Anschaffungskosten und Kostenreduzierungspotenziale für Zuliefererunternehmen. Die Anschaffungskosten der erforderlichen Technologie sind anfangs als hoch einzustufen, werden aber durch die fortschreitende Entwicklung auch für mittelständige Unternehmen nach wenigen Jahren bezahlbar sein. Die Kostenreduzierungspotenziale für Zuliefererunternehmen liegen in den Gesamtkosten durch den Wegfall des Personalkostenanteils, außerdem bietet die gesteigerte Effizienz der Fahrzeuge ein Einsparungspotenzial für Zuliefererunternehmen. Da der Kraftstoffverbrauch hohe Kosten verursacht, besteht in der Effizienz der Fahrzeuge das größte Potenzial.

6.2 Ökologische Auswirkungen durch die Autonomisierung der Straßengüterfahrzeuge von Zuliefererunternehmen

Die ökologischen Auswirkungen des Straßengüterverkehrs zeigen sich bisher im Verbrauch von vorhandenen Ressourcen und Verursachung von Emissionen.¹⁰⁶ Die Zielsetzung für den Straßengüterverkehr ist es, den Ressourcenverbrauch zu minimieren und die Umweltverträglichkeit der Emissionen zu gewährleisten.¹⁰⁷ Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, gelten die Aspekte der Green Logistic dabei als Leitfaden für Unternehmen, um die Verursachung der Emissionen und den Verbrauch der Ressourcen möglichst gering zu halten. Das Platoon ist dabei der erste Ansatz zur Realisierung der ökologischen Aspekte des autonomen Straßengütertransports, denn durch das Platooning wird besonders mithilfe des geringen Abstands zwischen den Fahrzeugen die Krafteinsparung zum entscheidenden Vorteil gegenüber herkömmlichen, individuellen Transportvarianten.¹⁰⁸

¹⁰⁶ Vgl. Deckert, C.(hrsg) 2015, S. 17.

¹⁰⁷ Vgl. Deckert, C.(hrsg) 2015, S. 23f.

¹⁰⁸ Vgl. Tsugawa, S. et al. 2016, S. 69ff.

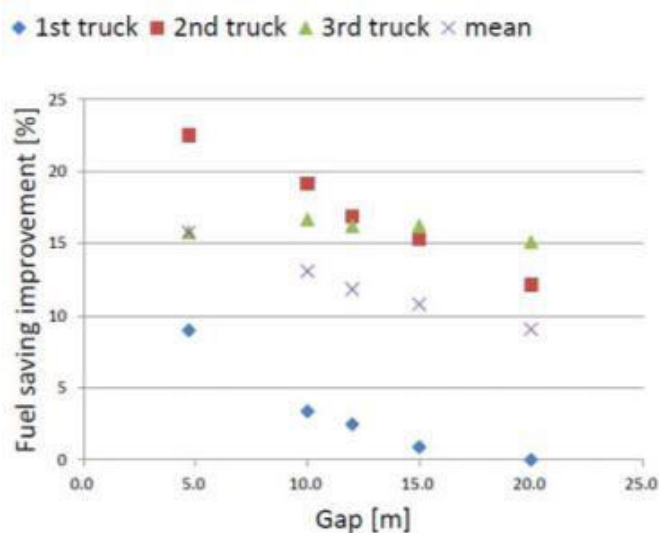


Abbildung 5: Beziehung zwischen Kraftstoffeinsparungen und Abstand der Lkw im Platoon des "Energy ITS"-Projekts¹⁰⁹

Das Japanische Platooning-Programm „Energy ITS“ hat dazu Tests mit drei Lkw in verschiedenen Abständen bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h gemacht. Die Testergebnisse lassen darauf schließen, dass ein geringer Abstand zwischen den Fahrzeugen von 4,7m ein durchschnittliches Einsparungspotenzial im Platoon von 18% hat. Bei 10m Zwischenabstand der Fahrzeuge besteht immerhin ein Einsparungspotenzial von 13%. Neben den Effekten der Kraftstoffeinsparungen wurde während der Programmlaufzeit auch ein makroskopischer Effekt getestet. Der makroskopische Effekt ist in diesem Fall der Einfluss auf die Umwelt. Dieser hat einen weitreichenden Effekt im Gegensatz zum Einsparungspotenzial, das in erster Linie nur die Ausgaben des Zuliefererunternehmens betrifft. Die CO₂-Reduktion der Platoon-Formation sollte ebenfalls in Folge der Kraftstoffeinsparung analysiert werden. Dabei konnte festgestellt werden, dass bei einem Abstand von 10 Metern eine Reduktion von 2,1% erreicht wurde und bei einem Abstand von 4 Metern 4,8% weniger CO₂ ausgestoßen wurde.

Im Folgenden werden die optimalen Ergebnisse aus dem japanischen Platooning-Programm für eine Berechnung der Einsparungspotenziale im deutschen Straßengüterverkehr zugrunde gelegt. In den Berechnungen wird dafür von einer vollständigen Automatisierung des Straßengüterverkehrs ausgegangen, um das größtmögliche Potenzial der Autonomisierung, zum heutigen technologischen Stand,

¹⁰⁹ Vgl. Tsugawa, S. et al. 2016, S. 74.

ersichtlich zu machen. Aus dem Bericht des Bundesministeriums für Verkehr und digitaler Infrastruktur geht hervor, dass der Kraftstoffverbrauch des Straßengüterverkehrs in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2016 zwischen 17 und 18,6 Millionen Tonnen lag.¹¹⁰ Dies entspricht ca. einem Drittel des gesamten Kraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr in Deutschland.¹¹¹ Wird von einem Kraftstoffeinsparungspotenzial von 18% durch die Vorteile des Platoonings ausgegangen, so könnte der Kraftstoffverbrauch auf 14,76 Millionen (Mio.) Tonnen reduziert werden, was einem Einsparungspotenzial von 3,24 Mio. Tonnen entsprechen würde. In Kombination mit der Kraftstoffeinsparung des neuen Mercedes-Benz Actros (s. Kapitel 4.1) ergibt sich ein Einsparungspotenzial von maximal 23%, welches zu einer Kraftstoffeinsparung von 4,14 Mio. Tonnen führen könnte. Die 4,14 Mio. Tonnen entsprechen dabei 7,4% des gesamten Kraftstoffverbrauchs für Kraftfahrzeuge auf deutschen Straßen.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur vermerkte 2016 eine Umweltbelastung durch Kohlenstoffdioxid (CO₂) des deutschen Straßenverkehrs von 159 Mio. Tonnen.¹¹² Für die Berechnung der Minimierungspotenziale von CO₂ wird erneut davon ausgegangen, dass der Straßengüterverkehr ein Drittel des gesamten Straßenverkehrs in Deutschland ausmacht. Dies wird durch die Emittierung von 50 Mio. Tonnen Kohlendioxid des Güterverkehrs im Jahre 2011 bestätigt, wobei nur 7% davon aus dem Schienengüterverkehr und der Binnenschifffahrt hervorgingen.¹¹³ Folglich wird der Anteil des Straßengüterverkehrs mit 53 Mio. Tonnen berechnet. Durch das maximale Einsparungspotenzial von 4,8% bei einem Abstand von 4m im Platoon, entsteht ein Einsparungspotenzial für den Straßengüterverkehr von 2.544 Mio. Tonnen CO₂.

Mithilfe der Kombination aus vorhandenen Technologien, könnte demnach ein Einsparungsvermögen von 4,14 Mio. Tonnen Kraftstoff und 2.544 Mio. Tonnen CO₂ geschaffen werden, um die Verminderung der Transportschädlichkeit zu fördern und dem nachhaltigen Transportmanagement im Rahmen des Konzeptes der Green Logistics nachzukommen. Die Stauvermeidung ist dabei ein zusätzlicher Aspekt zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bzw. der Schadstoffentstehung. Staus können

¹¹⁰ Vgl. Radke, S. et al. 2018, S. 309.

¹¹¹ Vgl. Deckert, C.(hrsg) 2015, S. 25.

¹¹² Vgl. Radke, S. et al. 2018, S. 311.

¹¹³ Vgl. Deckert, C.(hrsg) 2015, S. 25.

zum einen durch verlängerte Reisezeit mehr Kraftstoffverbrauch verursachen und zum anderen wird durch das ständige Anfahren in Folge des Staus, mehr Kraftstoff benötigt, als das Fahrzeug bei der Fahrt mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über einen Streckenabschnitt benötigen würde.¹¹⁴ Dieser Effekt wird durch das höhere Gewicht der Straßengüterverkehrsfahrzeuge verstärkt. Durch die intelligente Verkehrsflusssteuerung der Navigationssysteme kann eine dynamische Routenführung die Stautentstehung vermeiden oder diesen vorhersehen und somit den entstandenen Stau umfahren.¹¹⁵ Die Berechnung der Routen kann während der Erkennung der Verkehrshindernisse angepasst werden, sodass eine Alternativroute eingeschlagen werden kann. Erste Systeme namens „Traffic Message Channel“ (TMC) sind dafür schon in der Entwicklung und im Einsatz, um eine dynamische Routenführung zu ermöglichen.

Ein weiterer ökologischer Vorteil der Einführung von vollautomatischen Straßengüterfahrzeugen, ist die Reduzierung von Unfällen in Folge des fahrerlosen Fahrens. Durch die autonomen Fahrzeuge sollen weniger Unfälle durch den Wegfall menschlicher Fehler entstehen. Dieser Effekt geht mit der Reduzierung von Autowracks in Folge von Unfällen einher, was außerdem zur Folge hat, dass die durch Unfälle hervorgerufene Anzahl von Altfahrzeugen bzw. kaputten Fahrzeugteilen sinkt. Diese Fahrzeuge oder Fahrzeugteile unterlaufen einem Wiederverwendungsprozess, welcher trotz eines breit angelegten Recyclingprozesses nicht alle Materialien zur Wiederverwendung nutzen kann und somit ökologische Spuren hinterlässt.¹¹⁶ Insbesondere die in Fahrzeugen enthaltenen Kunststoffe können nicht zu 100% wiederverwendet werden. Außerdem gibt es noch Optimierungspotenziale im Recycling des Fahrzeugglases und der Edelmetalle sowie Sondermetalle. Die Massenmetalle weisen hingegen sehr große Rückgewinnungsquoten in den Aufbereitungsprozessen auf.¹¹⁷

Die ökologischen Auswirkungen der Einführung des autonomen Straßengüterverkehrs beziehen sich auf die Kraftstoffeinsparungen der Fahrzeuge für Zuliefererunternehmen und dem daraus resultierenden Einsparungspotenzial des CO₂-Ausstoßes. Des Weiteren wird die Entsorgung von Fahrzeugen und deren Teile

¹¹⁴ Vgl. Dallmeyer, J. 2013, S. 14ff.

¹¹⁵ Vgl. Kagermann, H. 2017, S. 397.

¹¹⁶ Vgl. Sander, K. et al. 2015, S. 305ff.

¹¹⁷ Vgl. Bulach, W. et al. 2020, S. 12.

in Folge von Unfällen reduziert. Dadurch wird der ökologische Fußabdruck der Zuliefererunternehmen durch die Nutzung autonomer Lkw sich verringern.

7. Fazit und Ausblick

Der Mercedes-Benz Actros gibt einen ersten Eindruck, wie weit das Unternehmen der Daimler AG von einem vollständig automatisierten Lkw entfernt ist. Der Eindruck wird durch die Ankündigung des Future Trucks 2025 verstärkt, welcher nur wenige Jahre nach dem Markteintritt des neuesten Actros-Modells bereit für die Straßenzulassung sein soll. Aus der Literaturübersicht wird deutlich, dass die Technologie theoretisch soweit ist, im öffentlichen Verkehr angewendet zu werden. Gleichzeitig werden damit auch viele Voraussetzungen in Bezug auf Infrastruktur und Anwender in Verbindung gebracht. Der Stand der Logistikunternehmen wirkt hingegen noch unvorbereitet, da in vieler Hinsicht diese Voraussetzungen auf Anwenderseite nicht erfüllt werden können. In der Analyse zur Beantwortung der ersten UFF in Kapitel 5 wird ersichtlich, dass die aktuellen Softwares nicht den Anforderungen der zukünftigen Komplexität des Konsumentenverhaltens und dem Verkehrsaufkommen gerecht werden. Das Einbeziehen von Ampelschaltungen und Wetterinformationen scheint noch ein weniger relevanter Punkt zu sein, der wenig Einfluss auf das Voraussehen von Stauentstehung und Unfallvermeidung hat. Für diese Funktionen fehlt ein adäquates Mittel, um Informationen in Echtzeit aufnehmen und verarbeiten zu können. Mit dem Einsatz von netzübergreifenden Transportsystemen mithilfe der V2X-Communication (vgl. Kapitel 5), könnte dies einen Wandel in der Tourenplanung bedeuten. Das 5G Mobilfunknetz ist dafür ein essenzieller Bestandteil, weil es für die Möglichkeit der Echtzeit-Datenübertragung sorgt und nur damit die erforderliche Menge an Informationen gleichzeitig empfangen, verarbeitet und gesendet werden kann. Durch den Einsatz des Physical Internet kann in Folge der Vernetzung der Transportnetzwerke mehrerer Unternehmen zu einer Systemplattform, eine effektive Tourenplanung entstehen. Der Wegfall des Fahrers und damit der Ruhezeiten der Fahrer kann zusätzlich zur Effizienzsteigerung führen. Schon heute sind erste Anzeichen des Outsourcings der Transportplanung zu sehen, weil sich in Folge der vernetzten Transportnetzwerke der Einsatz von externen Speditionsunternehmen als Kostengünstiger darstellt. Auf der letzten Meile scheint es die Entwicklung zum Outsourcen des Transports und damit auch der Planung schon länger zu geben, da sich über das Prinzip der Crowd

Logistics Plattformen wie UBERCargo der überwiegend innerstädtischen Transportplanung angenommen haben.

Während der Literaturrecherche hat sich der Eindruck entwickelt, dass die Hersteller und die Logistikunternehmen noch nicht vollständig von der Rolle des Fahrzeugführers absehen wollen. In der Recherche wird deutlich, dass der Prozess der Autonomisierung über die Automatisierungsstufen stets mit dem Fahrer im Fahrerhaus geplant wird. Dazu wird häufig die Fahrtätigkeit bei vollständiger Automatisierung in eine Tätigkeit zur Systemüberwachung umgewandelt. Der Hersteller beschreibt den Arbeitsplatz des Fahrzeugführers im Future Truck 2025 als Büro, in dem er logistische Planungsaufgaben übernehmen kann. Somit sind sich die Hersteller und Logistikunternehmen einig, dass in Folge der Autonomisierung eine Schwerpunktverschiebung der Arbeit des Fahrers vorgenommen wird, er jedoch hinsichtlich anderer Aufgabenbereiche außer der des Fahrens selbst nicht gänzlich ersetzt werden kann.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen in Folge der Einführung der Autonomie wurden in dieser Arbeit weitestgehend auf Kostenreduzierungspotenziale bezogen. Bezüglich der Anschaffungskosten wird deutlich, dass die Kosten zur Anschaffung eines vollständig ausgestatteten, autonom fahrenden Lkw zum Anfang, relativ hoch sein werden. Da noch keine marktfähige Technologie zur vollständigen Automatisierung veröffentlicht wurde, wird diesbezüglich noch mit ungenauen Schätzwerten gerechnet. Grundsätzlich wird allerdings davon ausgegangen, dass die Technologiekosten pro Jahr sinken werden und damit nach einigen Jahren auch für mittelständische Unternehmen finanzierbar sein werden. In der Berechnung der Gesamtkosten gehen Studien davon aus, dass eine Reduzierung von bis zu 35% möglich sein wird, da der Personalkostenanteil durch den Wegfall der Fahrzeugführung verringert wird. Allerdings scheint dieser Wegfall in der Berechnung problematisch, da die Tätigkeiten des Fahrzeugführers nicht nur die Steuerung des Fahrzeugs beinhalten.

Der sicherste Kosteneinsparungseffekt liegt wohl in der gesteigerten Effizienz der Fahrzeuge. Durch die Kombination der technologischen Vorteile des Mercedes-Benz Actros und dem Prinzip des Platoonings wird ersichtlich, dass erhebliche Einsparungspotenziale im Kraftstoffverbrauch möglich sind. Die Verbindung der beiden Einsparungseffekte ergibt in den Berechnungen dieser Arbeit ein

Gesamteinsparungspotenzial des Kraftstoffs von 23%. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die Hersteller bis zur Marktreife der beiden Technologien weitere technologische Fortschritte erzielen können.

Die ökologischen Auswirkungen der Autonomisierung beziehen sich in erster Linie auf die Kraftstoffeinsparungen in der Fahrzeugoptimierung und den daraus entstehenden Reduzierungspotenzialen im CO₂-Austoß. Da sich diese Arbeit ausschließlich auf die Verbrennungsmotoren der Straßengüterverkehrsbranche bezieht, wird die Entwicklung des Mercedes-Benz eActros (der Elektrovariante des Actros) außen vor gelassen und daher mit den Optimierungspotenzialen der verbleibenden Technologien gerechnet. Diese beinhalten die Potenziale des Mercedes-Benz Actros und die des Platooning. Dazu wurde eine Studie des Platooning-Projekts aus Japan betrachtet, weil dort ein besonderes Augenmerk auf die Einsparungspotenziale des CO₂-Austoßes gelegt wurde. In der Kombination mit dem Mercedes-Benz Actros ist hierfür ein Einsparungspotenzial von 4,14 Mio. Tonnen Kraftstoff und 2,5 Mio. Tonnen CO₂ ausgerechnet worden, was ein erheblicher Fortschritt in Richtung der Vollendung des Green Logistics-Konzeptes wäre.

Ein weiterer ökologischer Aspekt, welcher in der Betrachtung der zukünftigen Technologien wenig Beachtung findet, ist die Entsorgung und Aufbereitung von alten Fahrzeugen oder Restmaterialien, die in Folge von Verkehrsunfällen entstehen. Die Einführung der Autonomie könnte durch die Installation der vorgesehenen Sensoren-Technologien die Unfallzahl reduzieren und somit die Anzahl der Materialien im Entsorgungsprozess stark verringern.

Der Ausblick auf die kommenden Technologien in der Automobilbranche birgt viele Potenziale, von denen ein Teil in dieser Arbeit vorgestellt wurden. Sie sind ein erster Ansatz auf das was folgen könnte, wenn die Technologien am Markt platziert und in den darauffolgenden Jahren weiter optimiert werden. Eine breite Markteinführung wird sich aufgrund der stagnierenden Entwicklungen in vielen Bereichen der Logistikbranche noch hinauszögern. Es ist jedoch durch die voranschreitende Entwicklung der führenden Unternehmen für alle Marktteilnehmer relevant, sich hinsichtlich dieser Technologien zu wandeln, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Das Einbeziehen der Elektroantriebe wird viele neue Einsparungspotenziale eröffnen, welche die in dieser Arbeit berechneten Zahlen zu aller Wahrscheinlichkeit

noch steigern werden. Neben den positiven Potenzialen gibt es auch Themen, welche die Entwicklung hemmen, wie zum Beispiel die in dieser Arbeit nicht behandelte Ethik-Debatte. Diese scheint in den letzten Jahren in europäischen Ländern eine unüberwindbare Hürde zu sein, den Markteintritt des autonomen Straßenverkehrs möglich zu machen.

IV. Literaturverzeichnis

- Alnasser, A./Sun, H./Jiang, J. (2019):** Cyber Security Challenges and Solutions for V2X Communications: A Survey In: *Computer Networks*, 151: 52–67, DOI: 10.1016/j.comnet.2018.12.018.
- Ballarin, C. (2016):** Der Lkw auf dem Weg zum autonomen Transportmittel In: *ATZextra*, 21 (8): 36–41, DOI: 10.1007/s35778-016-0025-5.
- Bäumler, I.** Entwicklungspfade intelligenter Transportsysteme für den Straßengüterverkehr In: : 195.
- Benderius, O./Berger, C./Malmsten Lundgren, V. (2018):** The Best Rated Human–Machine Interface Design for Autonomous Vehicles in the 2016 Grand Cooperative Driving Challenge In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19 (4): 1302–1307, DOI: 10.1109/TITS.2017.2749970.
- Bratzel, S./Thömmes, J. (2018):** Alternative Antriebe, Autonomes Fahren, Mobilitätsdienstleistungen: neue Infrastrukturen für die Verkehrswende im Automobilssektor Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- Bulach, W./Schüler, D./Sellin, G./Elwert, T. et al. (2020):** Elektrofahrzeugrecycling 2020 In: : 17.
- Coppola, R./Morisio, M. (2016):** Connected Car: Technologies, Issues, Future Trends In: *ACM Computing Surveys*, 49 (3): 1–36, DOI: 10.1145/2971482.
- Crainic, T.G./Montreuil, B. (2016):** Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics In: *Transportation Research Procedia*, 12: 383–398, DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.074.
- Dallmeyer, J. (2013):** Staus vermeiden, Abgase reduzieren In: *Forschung Frankfurt*: 14–17.
- Deckert, C.(hrsg) (2015):** CSR und Logistik: Spannungsfelder Green Logistics und City-Logistik Berlin Heidelberg: Springer Gabler.
- Dirks, T. (2015):** Die Zukunft der Automobilindustrie In: : 28.
- Fend, L./Hofmann, J.(hrsg) (2018):** Digitalisierung in Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen: Konzepte - Lösungen - Beispiele Wiesbaden: Springer Gabler.
- Festag, A. (2015):** Standards for Vehicular Communication—from IEEE 802.11p to 5G In: *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 132 (7): 409–416, DOI: 10.1007/s00502-015-0343-0.
- Fischer, E. (2017):** Mobilfunk als Kommunikation für automatisierte Fahrfunktionen In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 119 (5): 50–55, DOI: 10.1007/s35148-017-0021-0.
- Glaser, C. (2017):** Wettbewerbsfaktor Vertrieb bei Finanzdienstleistern: ein ganzheitliches Konzept zur Sales Excellence, 2. Auflage Wiesbaden: Springer Gabler.
- Göpfert, I.(hrsg) (2019):** Logistik der Zukunft - Logistics for the Future =: Logistics for the future, 8., aktualisierte und erweiterte Auflage Wiesbaden: Springer Gabler.
- Hampel, J./Kropp, C./Zwick, M.M. (2018):** Zur gesellschaftlichen Wahrnehmung des voll autonomen Fahrens und seiner möglichen nachhaltigkeitsbezogenen Implikationen: In: *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 27 (2): 38–45, DOI: 10.14512/tatup.27.2.38.

- Hilgers, M./Hilgers, M. (2017):** Kraftstoffverbrauch und Verbrauchsoptimierung Wiesbaden s.l: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Hobert, L./Festag, A./Llatser, I./Altomare, L. et al. (2015):** Enhancements of V2X communication in support of cooperative autonomous driving In: *IEEE Communications Magazine*, 53 (12): 64–70, DOI: 10.1109/MCOM.2015.7355568.
- Jakobi, T./Stevens, G./Seufert, A.-M. (2018):** Privacy-By-Design für das Connected Car: Architekturen aus Verbrauchersicht In: Reihe DuD Datenschutz und Datensicherheit: 704–707.
- Kagermann, H. (2017):** CSR und Digitalisierung: der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft Berlin: Springer Gabler.
- Klumpp, M. (2016):** To Green or Not to Green: A Political, Economic and Social Analysis for the Past Failure of Green Logistics In: *Sustainability*, 8 (5): 441, DOI: 10.3390/su8050441.
- Kopfer, H./Krajewska, M.A.** Inter- und intraspeditionelle Auftragsdisposition In: : 7.
- Krail, M.** Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr In: : 219.
- Krauß, C./Waidner, M. (2015):** IT-Sicherheit und Datenschutz um vernetzen Fahrzeug In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD*: 383–387.
- Lex, C./Jäger, F.** Analyse zum Stand und Aufzeigen von Handlungsfeldern beim vernetzten und automatisierten Fahren von Nutzfahrzeugen In: .
- Malleck, H./Mecklenbräuker, C. (2018):** Auf dem Weg zu 5G, der 5. Generation des Mobilfunks In: *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 135 (7): 437–438, DOI: 10.1007/s00502-018-0651-2.
- Maurer, M./Gerdes, J.C./Lenz, B./Winner, H.(hrsg) (2015):** Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte Berlin: Springer Vieweg.
- Miucic, R. (2018):** Connected vehicles: intelligent transportation systems New York, NY: Springer Science+Business Media, LLC.
- Pan, S./Ballot, E./Huang, G.Q./Montreuil, B. (2017):** Physical Internet and Interconnected Logistics Services: Research and Applications In: *International Journal of Production Research*, 55 (9): 2603–2609, DOI: 10.1080/00207543.2017.1302620.
- Pehlke, D./Angenendt, B./Bantz, R. (2018):** SicherheitsProfi 4/2018 - Güterkraftverkehr/Logistik In: Reihe Sicher & Gesund: 32.
- Pflaum, A./Schwemmer, M./Gundelfinger, C./Naumann, V. (2017):** Transportlogistik 4.0 In: : Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain services scs.
- Proff, H. (2018):** Mobilität und digitale Transformation: technische und betriebswirtschaftliche Aspekte Wiesbaden: Springer Gabler.
- Radke, S./Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur/DVV Media Group GmbH (2018):** Verkehr in Zahlen 2018/2019.
- Reif, K.(hrsg) (2010):** Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme, 1. Aufl Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

- Roos, M./Siegmann, M. (2018):** Gesamtwirtschaftliche Kosteneinsparpotenziale durch das automatisierte Fahren: In: *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 27 (2): 23–30, DOI: 10.14512/tatup.27.2.23.
- Sander, K./Kohlmeyer, R./Rödig, L./Wagner, L. (2015):** Altfahrzeuge – Verwertungsquoten 2015 und Hochwertigkeit der Verwertung In: : 23.
- Schellmann, M. (2018):** 5G als Triebkraft für vernetztes autonomes Fahren In: : 11.
- Schnieder, L./Hosse, R.S. (2018):** Leitfaden Automotive Cybersecurity Engineering: Absicherung vernetzter Fahrzeuge auf dem Weg zum autonomen Fahren Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Schön, I./Schützle, A. (2017):** Zukünftige Herausforderungen im Bereich des autonomen Fahrens In: Kotzab, H. (Hrsg): .
- Schopka, K. (2018):** Tourenplanung kooperierender Spediteure unter Aspekten des dynamischen Teilladungsverkehrs In: : 198.
- Schröder, E.-J.** Entwicklung und Strukturwandel des Güterverkehrs In: 4.
- Solsbach, A./Wohlgemuth, V./Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (2019):** Smart Cities - Smart Regions: Technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Innovationen; Konferenzband zu den 10. BUIS-Tagen.
- Tempelmeier, H.(hrsg) (2018):** Planung logistischer Systeme Berlin, Germany: Springer Vieweg.
- Ten Hompel, M./Kerner, S. (2015):** Logistik 4.0 - Die Vision vom Internet der autonomen Dinge In: *Informatik Spektrum*: 176–182.
- Tsugawa, S./Jeschke, S./Shladover, S.E. (2016):** A Review of Truck Platooning Projects for Energy Savings In: *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1 (1): 68–77, DOI: 10.1109/TIV.2016.2577499.
- Vogel-Heuser, B./Bauernhansl, T./Ten Hompel, M.(hrsg) (2017):** Handbuch Industrie 4.0. Bd. 4: Allgemeine Grundlagen, 2. Auflage Berlin: Springer Vieweg.
- Voß, P.H.(hrsg) (2020):** Logistik - die unterschätzte Zukunftsindustrie Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0.
- Wendt, O./Stockheim, T./Weiss, K. (2005):** Intelligente Tourenplanung mit DynaRoute In: Reihe WI - Innovatives Produkt (47): 135–140.
- Wiehen, C. (2014):** Innovationen durch Lkw In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 116 (1): 90–90, DOI: 10.1007/s35148-014-0023-0.
- Wiesche, M./Sauer, P./Krimmling, J./Krcmar, H./Jähnichen, S.(hrsg) (2018):** Management digitaler Plattformen: Konzeption und Realisierung eines offenen Ökosystems für intelligente Mobilitätsdienste in der Smart City Wiesbaden: Springer Gabler.
- Wittenbrink, P. (2014):** Transportmanagement: Kostenoptimierung, Green Logistics und Herausforderungen an der Schnittstelle Rampe, 2., vollst. neu bearb. und erw. Aufl Wiesbaden: Springer Gabler.

- Wittenbrink, P. (2015):** Green Logistics: Konzept, aktuelle Entwicklungen und Handlungsfelder zur Emissionsreduktion im Transportbereich Wiesbaden: Springer Gabler.
- Zentes, J.(hrsg) (2012):** Handbuch Handel: Strategien - Perspektiven - internationaler Wettbewerb, 2., vollst. überarb. Aufl Wiesbaden: Springer Gabler.
- BMJV (2020):** § 1 GüKG - Einzelnorm. Online im Internet: https://www.gesetze-im-internet.de/g_kg_1998/__1.html, Stand: 10.08.2020.
- Daimler Truck AG (2020a):** Der neue Actros: Truck of the Year 2020 – Mercedes-Benz Lkw – Trucks you can trust. Online im Internet: https://www.mercedes-benz-trucks.com/de_DE/models/new-actros/other-facts/truck-of-the-year.html, Stand: 19.09.2020.
- Daimler Truck AG (2020b):** Der neue Actros: Hohe Sicherheit – Mercedes-Benz Lkw – Trucks you can trust. Online im Internet: https://www.mercedes-benz-trucks.com/de_DE/models/new-actros/greater-safety.html, Stand: 19.09.2020.
- Fraedrich, E./Kröger, L./Bahamonde-Birke, F.J./Frenzel, I. et al. (2017):** Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen. Online im Internet: <https://elib.dlr.de/117868/>, Stand: 15.07.2020.
- Geller, K./Evangelinos, C./Hesse, C./Püschel, R./Obermeyer, A. (2012):** Potentiale und Wirkungen des EuroCombi in Deutschland: Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr. Online im Internet: <https://www.econstor.eu/handle/10419/56064>, Stand: 16.08.2020.
- Kamali, M./Dennis, L./MacAree, O./Fisher, M./Veres, S.M. (2017):** Formal Verification of Autonomous Vehicle Platooning | Elsevier Enhanced Reader. Online im Internet: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0167642317301168?token=BC062D71F14185578F7C0A685039362178889363C99468F1EAAFCC05BEEDDDDD7D32E36B67F810E046F7BA595D3C7DA3>, Stand: 16.09.2020, DOI: 10.1016/j.scico.2017.05.006.
- Minne, A. (2018):** Weltpremiere des Flaggschiffs von Mercedes-Benz Trucks in Berlin: Der neue Actros mit Active Drive Assist: Mercedes-Benz Lkw bringt teilautomatisiertes Fahren in Serie. Online im Internet: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Weltpremiere-des-Flaggschiffs-von-Mercedes-Benz-Trucks-in-Berlin-Der-neue-Actros-mit-Active-Drive-Assist-Mercedes-Benz-Lkw-bringt-teilautomatisiertes-Fahren-in-Serie.xhtml?oid=41067111>, Stand: 02.10.2020.
- o.A. (o.J.):** Tourenplanung für Vertrieb und Außendienst: EasyVisit. Online im Internet: <https://www.easyvisit.info/>, Stand: 22.09.2020.
- o.A. (2018):** J3016B: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - SAE International. Online im Internet: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/, Stand: 19.08.2020.
- Ordreich, P. (2015):** Unheimlich: Riesige Muldenkipper ohne Fahrer unterwegs - ingenieur.de. Online im Internet: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verkehr/unheimlich-riesige-muldenkipper-fahrer-unterwegs/>, Stand: 15.10.2020.
- Pfeifler, C. (2020):** Schneeräumen auf dem Flugfeld: Automatisierte Mercedes-Benz Arocs machen den Weg frei. Online im Internet:

<https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Schneeraeumen-auf-dem-Flugfeld-Automatisierte-Mercedes-Benz-Arocs-machen-den-Weg-frei.xhtml?oid=29890415>, Stand: 18.09.2020.

Proff, H.(hrsg) (2020): Neue Dimensionen der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online im Internet: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-29746-6>, Stand: 14.07.2020, DOI: 10.1007/978-3-658-29746-6.

Thomas, P. (2020): The Long-Haul Truck of the Future. Online im Internet: <https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/autonomous/the-long-haul-truck-of-the-future/>, Stand: 29.09.2020.

Wadud, Z. (2017): Fully Automated Vehicles: A Cost of Ownership Analysis to Inform Early Adoption | Elsevier Enhanced Reader. Online im Internet: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S096585641630739X?token=B19F8A7290410B207B44A931DFBE6F27D6E5AE84BDA80B8CE767D496B4B465C882C70D595CB54A267DD18C41F3F785BE>, Stand: 28.09.2020, DOI: 10.1016/j.tra.2017.05.005.

Weiß, C. (2011): V2X Communication in Europe - From Research Projects towards Standardization and Field Testing of Vehicle Communication Technology | Elsevier Enhanced Reader. Online im Internet: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1389128611001198?token=A3A90B1F26DB0C9C5DCF17B5C19DB508453A36F7F9672840EF87281C3A2D65BBD8DD9C4B3F007053B8F9A060AD034A05>, Stand: 20.08.2020, DOI: 10.1016/j.comnet.2011.03.016.

V. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den.....

.....

Felix Siekmann

VI. Einverständniserklärung

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass ein Exemplar meiner Bachelor-Thesis in die Bibliothek des Fachbereichs aufgenommen wird; Rechte Dritter werden dadurch nicht verletzt.

Hamburg, den.....

.....

Felix Siekmann